



UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA:

**DISEÑO DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO AUTOMATIZADO PARA
PRODUCCIÓN DE TILAPIA Y VEGETALES**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial

Autor(a)

Chávez Montesdeoca Alexander Fernando

Tutor(a)

MSc. Topón Visarrea Blanca Liliana

QUITO– ECUADOR
2025

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Yo Chávez Montesdeoca Alexander Fernando, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular con el nombre “Diseño de un sistema acuapónico automatizado para producción de Tilapia y vegetales”, como requisito para optar al grado de Ingeniería Industrial y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los 07 días del mes de Octubre de 2025, firmo conforme:

Autor: Chávez Montesdeoca Alexander Fernando

Firma:

Número de Cédula: 1726743519

Dirección: Pichincha, Quito, La Ferroviaria, San Patricia.

Correo Electrónico: achavez10@indoamerica.edu.ec

Teléfono: 0962377000

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Integración Curricular “DISEÑO DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO AUTOMATIZADO PARA PRODUCCIÓN DE TILAPIA Y VEGETALES” presentado por Chávez Montesdeoca Alexander Fernando, para optar por el Título Ingeniería Industrial.

CERTIFICO

Que dicho Trabajo de Integración Curricular ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte los Lectores que se designe.

Quito, 07 de Octubre del 2025

.....
MSc. Blanca Liliana Topón Visarrea

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Integración Curricular, como requerimiento previo para la obtención del Título de Título de Ingeniería Industrial, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Quito, 07 de Octubre 2025

.....
Chávez Montesdeoca Alexander Fernando
1726743519

APROBACIÓN DE LECTORES

El Trabajo de Integración Curricular ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: **DISEÑO DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO AUTOMATIZADO PARA PRODUCCIÓN DE TILAPIA Y VEGETALES**, previo a la obtención del Título de Ingeniería Industrial, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del Trabajo de Integración Curricular.

Quito, 07 de Octubre de 2025

.....

MSc. Segura D´Rouville Juan Joel
PRINCIPAL LECTOR

.....

MSc. Guevara Arteaga Adriana Daniela
LECTOR

DEDICATORIA

Dedico este logro a mi familia, que ha sido mi refugio y principal fuente de motivación. Gracias por su amor, comprensión y respaldo incondicional en cada etapa de este proceso. A mi madre, quien representa mi mayor inspiración y esperanza, por su ejemplo de fortaleza y entrega. Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, de una u otra forma, creyeron en mí y me ofrecieron su apoyo durante este camino.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por su esfuerzo, amor incondicional y enseñanzas que han sido el pilar de mi formación.

A mis hermanos por su compañía, apoyo y palabras de aliento en los momentos más exigentes. Extiendo también mi sincero agradecimiento a la MSc. Liliana Topón, mi tutora, por su guía, confianza y compromiso durante el desarrollo de este proyecto.

INDICE DE CONTENIDOS

DISEÑO DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO AUTOMATIZADO PARA PRODUCCIÓN DE TILAPIA Y VEGETALES	i
AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
APROBACIÓN DE LECTORES	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN EJECUTIVO.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
CAPÍTULO I	1
Introducción	1
Antecedentes	7
Marco teórico.....	11
Justificación.....	14
Objetivos	16
Objetivo general:	16
Objetivos Específicos:	16
CAPÍTULO II.....	17
Ingeniería del Proyecto.....	17
Diagnóstico de la situación actual de la empresa:	17
Ubicación geográfica.....	23
Parámetros Tilapia roja (<i>Oreochromis mossambicus</i>).....	25
Parámetros de los vegetales	27
Área de estudio:	31
Modelo operativo	32
CAPÍTULO III.....	35
Propuesta y Resultados Esperados	35
Desarrollo de la propuesta:	35

La identificación de componentes.....	40
Selección de microcontrolador	41
Selección de sensores	43
Selección de actuadores.....	49
Selección del dashboard.	53
Diseño del sistema.....	55
Modelado del sistema físico	57
Integración de componentes electrónicos.....	74
Resultados esperados:	75
Verificación de los parámetros	75
Visualización del dashboard.....	76
Cronograma de actividades para la aplicación de la propuesta.....	79
Análisis de costos	82
CAPÍTULO IV	88
Conclusiones y Recomendaciones	88
Conclusiones:.....	88
Recomendaciones:.....	89
BIBLIOGRAFIA	90
ANEXOS	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tasa de mortalidad en la producción de tilapias	10
Tabla 2 Parámetros físico-químicos del agua para tilapias rojas.	26
Tabla 3 Parámetros biológicos para tilapias rojas.....	27
Tabla 4 Clasificación de Plantas en Acuaponía	28
Tabla 5 Parámetros físico-químicos de las diferentes verduras.	29
Tabla 6 Parámetros biológicos clave para cultivos	31
Tabla 7 Características de los diferentes tipos de intensidad de Tilapias.	37
Tabla 8 Programa detallado de alimentación	40
Tabla 9 Características del microcontrolador ESP32 para sistemas acuapónicos.	43
Tabla 10 Características del sensor DFRobot Gravity pH.	45
Tabla 11 Características del sensor analógico de oxígeno.....	46
Tabla 12 Características sensor de NH ₃ de gas amoniacó MQ-137.....	47
Tabla 13 Características del sensor SEN0240	48
Tabla 14 Características del sensor AO-500-16	49
Tabla 15 Características de la bomba seleccionada.	50
Tabla 16 Características del Blower	52
Tabla 17 Relación entre el diámetro de una tubería con su velocidad.....	56
Tabla 18 Tabla de materiales de tanque de filtración.	59
Tabla 19 Proceso para el armado del tanque de filtración.	61
Tabla 20 Tabla de materiales para las camas de cultivos.	65
Tabla 21 Proceso para el armado de las camas de cultivo.	67
Tabla 22 Identificación de materiales para biofiltro.	70

Tabla 23 Proceso para el armado del biofiltro.	72
Tabla 24 Tabla de costo de materiales para elaboración del sistema acuapónico.	82
Tabla 25 Cronograma con sus valores a largo de la aplicación.	84
Tabla 26 Cuadro comparativo de la situación actual con respecto a la propuesta.	85
Tabla 27 Análisis Costo-Beneficio	86
Tabla 28 Tabla del tiempo de recuperación de la inversión.	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Diagrama interactivo de los fundamentos biológicos de un sistema acuapónico.	4
Figura 2	Representación gráfica de la comparación entre sistemas NFT y SRF.....	6
Figura 3	Boceto textual detallado de una interfaz de usuario móvil para el monitoreo técnico de un sistema acuapónico automatizado.....	13
Figura 4	Estadística que representa el impacto ambiental de la producción de tilapia sobre distintos aspectos de la biodiversidad.	18
Figura 5	Estadística de los consumidores de frutas y verduras, orgánicas y cultivadas con pesticidas.....	21
Figura 6	Visitas realizadas a los diferentes emprendedores.	22
Figura 7	Ubicación de la empresa donde se realizará el diseño acuapónico.	24
Figura 8	Ubicación del lote donde se realizará el diseño, sacado de Google maps.....	24
Figura 9	Tilapia roja (<i>Oreochromis mossambicus</i>)	25
Figura 10	Diagrama de bloques.....	33
Figura 11.	Medidas de la piscina de tilapias	35
Figura 12	Medidas del Volumen de la piscina de Tilapias.....	36
Figura 13	Tarjeta de desarrollo ESP32.....	42
Figura 14	Medidor de pH analógico con salida.....	44
Figura 15	Sensor analógico de oxígeno disuelto X - SEN0237-A.	45
Figura 16	MÓDULO SENSOR DE AMONÍACO MQ-137.....	46
Figura 17	Sensor de Nitritos	47
Figura 18	AO-500-16 Sensor de Iones de Nitrato	48
Figura 19	Bomba sumergible Hsbao FP-20000 Econ Lake Jumbo.....	50

Figura 20 Blower 2RB 110-7HA21	52
Figura 21 Imagen representativa de la interacción entre las diferentes aplicaciones.	53
Figura 22 Relación entre velocidad y área de tuberías.	57
Figura 23 Funcionamiento del tanque de filtración.	58
Figura 24 Representación del sistema de sifón.....	64
Figura 25 Representación del funcionamiento del biofiltro.	68
Figura 26 Diseño del sistema acuapónico.....	73
Figura 27 Estructura del diseño acuapónico.	74
Figura 28 Sistema eléctrico de los sensores.....	75
Figura 29 Diagrama de conexión para los actuadores.	76
Figura 30 Diagrama del dashboard para control del sistema acuapónico.....	74
Figura 31 Alertas recibidas al telegram.	75
Figura 32 Visualización del dashboard.....	76
Figura 33 Identificación de sensores y actuadores.	77
Figura 34 Puntos donde se realizará el plantado de los diferentes vegetales.	78
Figura 35 Cronograma de tareas.....	79

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A	95
Anexo B	95
Anexo C	96
Anexo D	96
Anexo E	97
Anexo F	97
Anexo G	98

UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA: DISEÑO DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO AUTOMATIZADO PARA PRODUCCIÓN DE TILAPIA Y VEGETALES

AUTOR(A): Chávez Montesdeoca Alexander Fernando

TUTOR (A): MSc. Blanca Liliana Topón Visarrea

RESUMEN EJECUTIVO

La investigación se desarrolló en una unidad productiva dedicada al cultivo de Tilapias y vegetales, donde se identificó un problema de contaminación ambiental que afecta a los ríos utilizados para el abastecimiento de las piscinas de cría. Por lo antes expuesto es necesario diseñar un sistema acuapónico automatizado, mediante la integración de sensores, actuadores y un dashboard de monitoreo, que permita optimizar la producción simultánea de Tilapia y vegetales en condiciones controladas. La metodología se basa en tres fases: identificación de componentes, diseño del sistema y resultados. La primera fase consiste en la selección de un microcontrolador, sensores, actuadores y el dashboard, la segunda fase consta del modelado del sistema físico e integración de los componentes, la última fase consta de la verificación de los parámetros y la visualización del dashboard. Se diseñó un sistema con una capacidad total de 20 227,5 litros de agua y orientado a sostener una biomasa de 202,3 kg de Tilapia, garantizando una recirculación constante del agua y su depuración a través de filtros mecánicos, biofiltros y camas de cultivo. Asimismo se integraron sensores conectados a un microcontrolador ESP32 para el monitoreo automatizado de parámetros específicos: pH (6.5–7.5), oxígeno disuelto (mínimo 5 mg/L), temperatura (24–30 °C), amoníaco (<0.05 mg/L), nitritos (<0.1 mg/L) y nitratos (<100 mg/L), valores definidos como críticos para la supervivencia y crecimiento de la Tilapia y las plantas. La información capturada se transmite a Firebase y se visualiza en un dashboard creado con Flutter/Dart, el cual también envía notificaciones a través de Telegram si los valores se desvían. El sistema requiere un suministro de oxígeno estimado de 0.843 g/min, para lo cual se emplea un blower de 2 500 LPM. Se concluye en base a la propuesta una reducción de la mortalidad de las Tilapias en un 19%, representando \$114.85 respecto a los costos totales semestrales constituyendo una solución técnica, viable, replicable y ambientalmente responsable para la producción limpia y eficiente de alimentos.

DESCRIPTORES: acuaponía, automatización, control, sistema

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

FACULTY OF ENGINEERING

INDUSTRIAL ENGINEERING CAREER

**TEMA: DESIGN OF AN AUTOMATED AQUAPONIC SYSTEM FOR TILAPIA
AND VEGETABLE PRODUCTION**

AUTOR(A): Chávez Montesdeoca Alexander Fernando

TUTOR (A): MSc. Blanca Liliana Topón Visarrea

ABSTRACT

The research was conducted in a production unit dedicated to the cultivation of Tilapia and vegetables, where an environmental pollution problem was identified, affecting the rivers used to supply the breeding ponds. In view of this issue, it is necessary to design an automated aquaponic system that integrates sensors, actuators, and a monitoring dashboard, to optimize the simultaneous production of Tilapia and vegetables under controlled conditions. The methodology is structured in three phases: component identification, system design, and results. The first phase involves selecting a microcontroller, sensors, actuators, and the dashboard. The second involves modeling the physical system and integrating its components. The final phase focuses on parameter verification and dashboard visualization. A system was designed with a total capacity of 20,227.5 liters of water, oriented to sustain a biomass of 202.3 kg of Tilapia, ensuring constant water recirculation and purification through mechanical filters, biofilters, and grow beds. Sensors connected to an ESP32 microcontroller were integrated for automated monitoring of specific parameters: pH (6.5–7.5), dissolved oxygen (minimum 5 mg/L), temperature (24–30 °C), ammonia (<0.05 mg/L), nitrites (<0.1 mg/L), and nitrates (<100 mg/L), which are defined as critical for the survival and growth of Tilapia and plants. The collected data is transmitted to Firebase and displayed on a dashboard developed with Flutter/Dart, which also sends notifications via Telegram when values deviate. The system requires an estimated oxygen supply of 0.843 g/min, provided by a 2,500 LPM blower. Based on the proposal, a 19% reduction in Tilapia mortality was achieved, representing \$114.85 in savings compared to total semiannual costs. This constitutes a technical, viable, replicable, and environmentally responsible solution for the clean and efficient production of food.

KEYWORDS: Aquaponics, Automation, Control, System

CAPÍTULO I

Introducción

Hoy en día, el planeta enfrenta una serie de desafíos, como la crisis ambiental, la inseguridad alimentaria y la escasez de recursos naturales. En este contexto, la acuaponía emerge como una opción prometedora para una producción alimentaria sostenible, eficiente y resistente. Este sistema combina la cría de peces (acuicultura) con el cultivo de plantas (agricultura) en un ambiente interdependiente, lo que permite reducir hasta un 90% del consumo de agua en comparación con la agricultura convencional y minimizar el uso de productos químicos que dañan el suelo y los ecosistemas.

En el modelo acuapónico, el alimento proporcionado a los peces actúa como la fuente de energía para el sistema, proporcionando los nutrientes necesarios para su crecimiento y supervivencia. Al igual que cualquier ser vivo, los peces absorben lo que requieren del alimento y excretan tanto los excesos como los productos generados por su metabolismo.

Los desechos y los restos no consumidos por los peces se convierten en el medio del cual bacterias, hongos y microalgas obtienen los nutrientes esenciales para su proliferación. Esta interacción permite transformar sustancias tóxicas, como el nitrito de amonio, en nitratos, que las plantas pueden utilizar para crecer, desarrollarse, generar biomasa y producir frutos nutritivos, que es el objetivo principal de un sistema acuapónico.

Estos procesos de conversión energética dependen de un control adecuado de los parámetros físicos y químicos que garanticen el bienestar de todos los organismos presentes en el sistema. Una de las ventajas de los sistemas acuapónicos es la adaptabilidad a las diferentes condiciones del lugar, garantizando la calidad y rendimiento de la cosecha (Gómez et al., 2022).

A nivel global, la acuaponía ha cobrado gran importancia debido a sus múltiples beneficios, generando un impacto significativo en la agricultura. Durante la pandemia, aumentó el interés por la jardinería en el hogar y la producción de alimentos a pequeña escala. La demanda de productos frescos impulsó el crecimiento de sistemas hidropónicos y acuapónicos domésticos.

Aunque surgieron diversos retos, algunas empresas vieron en esta situación una oportunidad para innovar, apostando por la tecnología y desarrollando nuevos modelos de negocio que fortalecieran su capacidad de adaptación (Martínez, 2023). En 2023, el mercado global de acuaponía fue estimado en 1.048,32 millones de dólares. Se espera que este sector experimente un crecimiento constante, alcanzando los 2.399,96 millones de dólares para el año 2032, con una tasa de crecimiento anual compuesta del 9,68 % entre 2024 y 2032. Durante 2023, América del Norte lideró este mercado con una participación del 42,38 %.

El auge de la industria se atribuye al aumento del interés por la agricultura sostenible, local y orgánica. Este modelo resulta especialmente prometedor en entornos urbanos, donde el espacio disponible es limitado y la seguridad alimentaria se ha vuelto una prioridad. Además, los avances en tecnología de filtración, manejo de nutrientes y sistemas de monitoreo han contribuido a consolidar su viabilidad (Espinoza, 2023).

En un escenario global marcado por la escasez de recursos hídricos, la degradación ambiental y la creciente demanda de alimentos, se vuelve prioritario promover modelos de producción que sean sostenibles y eficientes. La acuaponía, al integrar la cría de peces y el cultivo de plantas en un circuito cerrado de recirculación de agua, representa una alternativa prometedora que minimiza el impacto ambiental y optimiza el uso de insumos.

Investigaciones recientes (Taha et al., 2022), resaltan que la incorporación de tecnologías automatizadas y sensores inteligentes en estos sistemas no solo mejora su

eficiencia operativa, sino que también fortalece su viabilidad ambiental al permitir un monitoreo preciso de variables críticas. Por su parte, (Basumatary et al., 2023) identifican un notable incremento en la producción científica vinculada a la acuaponía, lo que evidencia un interés creciente por su potencial en contextos de sostenibilidad. En conjunto, estos estudios respaldan la relevancia de continuar innovando en el diseño y gestión de sistemas acuapónicos como respuesta a los desafíos ecológicos y alimentarios contemporáneos.

Esta actividad productiva que involucra el manejo de especies acuáticas, vegetales y recursos hídricos, no está exenta de regulaciones. Diversas leyes y tratados internacionales tienen un impacto directo en su desarrollo, desde normativas ambientales y de biodiversidad, hasta regulaciones sobre comercio, seguridad alimentaria y sostenibilidad. Comprender este marco legal es esencial para garantizar que los sistemas acuapónicos operen de manera responsable, ética y conforme a las exigencias globales.

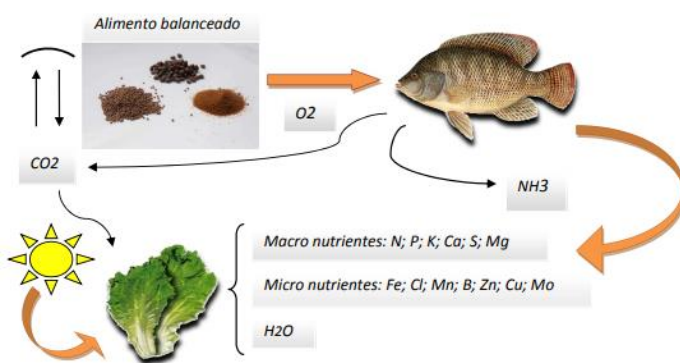
Según el Convenio sobre la Diversidad Biológica, tiene como objetivo la conservación de la biodiversidad, el uso sostenible de sus componentes y la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados del uso de los recursos genéticos. En el contexto de la acuaponía, podría haber regulaciones sobre el uso de especies de peces, plantas y microorganismos para evitar la invasión de especies no nativas o la pérdida de biodiversidad (Nakamura & Kuemlangan, 2022).

En caso de que se empleen especies o plantas protegidas es necesario cumplir procedimientos dirigidos por Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES). Por otro lado, tenemos la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, quien se encarga de implementar las directrices sobre acuicultura sostenible, las cuales incluyen buenas prácticas en la gestión de sistemas acuáticos, que podrían aplicarse a la parte acuícola de un sistema acuapónico.

Según FAO en su publicación “Los Estados deberían fomentar el desarrollo y uso de sistemas de producción acuícola apropiados que respeten el medio ambiente y la salud humana.”, se enfatiza el uso de guías para la seguridad alimentaria y la prevención de enfermedades en los animales acuáticos, que son relevantes para la acuaponía, como se muestra en la siguiente **Figura 1**.

Figura 1

Diagrama interactivo de los fundamentos biológicos de un sistema acuapónico.



Nota. En el gráfico se representa como interactúan los fundamentos biológicos en los sistemas acuapónicos, recuperado de (LA CALIDAD DEL AGUA EN ACUAPONÍA).

América Latina la acuaponía han ganado terreno como una alternativa innovadora frente a los problemas de escasez de agua y sostenibilidad alimentaria. Algunos países, como México, Colombia, Chile y Argentina, han comenzado a implementar estos sistemas mediante el uso de tecnologías como sensores ambientales, microcontroladores y plataformas de monitoreo digital.

Aunque la mayoría de los proyectos se encuentra en etapas piloto o a pequeña escala, han sido impulsados por instituciones académicas, organizaciones sociales y emprendedores que buscan soluciones eficientes y ecológicas. No obstante, su implementación aún enfrenta obstáculos importantes, como los elevados costos iniciales, la falta de marcos normativos adecuados y la limitada formación técnica disponible.

Aun así, el potencial de crecimiento es considerable, especialmente en contextos urbanos y rurales que buscan modelos de producción más sostenibles y autosuficientes. En Colombia Instituciones como el SENA y varias universidades han impulsado proyectos que combinan el cultivo de peces y plantas con tecnologías de automatización, incorporando sensores, sistemas de control electrónico y fuentes de energía limpias (Arbeláez et al, 2021).

Estos sistemas se han aplicado principalmente en contextos educativos y rurales, con el objetivo de fomentar la producción responsable y el aprendizaje práctico sobre agricultura sostenible. Aunque la implementación aún es limitada, cada vez hay más interés por parte de comunidades y emprendedores que ven en la acuaponía una oportunidad viable (Rozo & Quintero, 2021).

En Ecuador, el interés por la acuaponía como una alternativa sostenible para la producción de alimentos ha ido en aumento. No obstante, la falta de información actualizada ha dificultado su expansión y puesta en marcha efectiva en el país. Afortunadamente, quienes deseen iniciar un proyecto de acuaponía pueden acceder a diversas fuentes de apoyo. El Municipio de Quito ha publicado el "Manual de acuaponía casera para uso de la ciudadanía", (Yunda Machado & Rafael Carrasco Quintero, 2021), el cual proporciona pautas sobre cómo establecer estos sistemas a nivel doméstico.

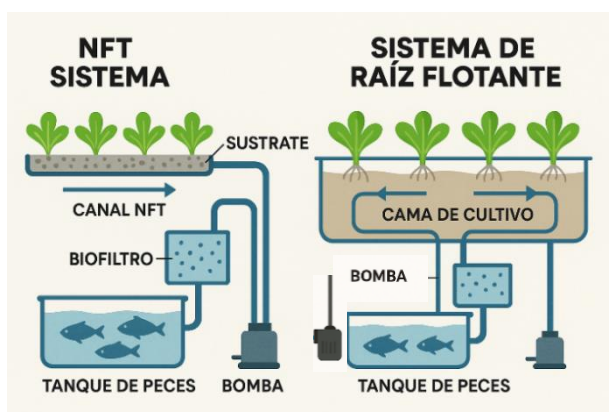
La universidad Técnica Estatal de Quevedo esta realizando un proyecto para el análisis de variables relacionadas con el desempeño zootécnico, nutricional, fisiológico y bioquímico en Tilapias y langostas de agua dulce, considerando la incorporación parcial de subproductos no tradicionales en su alimentación. Además, se identificarán indicadores de crecimiento, desarrollo, productividad y aspectos bioquímicos en hortalizas cultivadas orgánicamente, seleccionadas por su valor comercial y su capacidad para absorber eficientemente los nutrientes presentes en los desechos del sistema acuícola (Llerena et al., n.d.).

En la Universidad Pontificia del Ecuador se ha desarrollado un prototipo en pequeña escala como alternativa sostenible de producción agropecuaria donde el objetivo es producir estos sistemas al más bajo costo mediante el modelo SRF (Vallecilla, 2023). También se han desarrollado comparativos de los dos diferentes tipos de sistemas que se pueden implementar en la acuaponía con el fin de conocer cuál es el más conveniente, donde se identificó que ambos sistemas de producción acuapónica, NFT y SRF permiten el cultivo eficiente tanto de *Oreochromis niloticus* (Tilapia del Nilo) como de *Lactuca sativa* (lechuga).

Cada sistema posee características distintivas que influyen en su desempeño **Figura 2** el sistema NFT facilita una oxigenación adecuada gracias a la circulación continua del agua y a sus múltiples puntos de caída, mientras que el SRF favorece la estabilidad térmica, lo cual resulta particularmente beneficioso en condiciones climáticas cálidas, reflejándose en una mayor eficiencia productiva de las especies involucradas. Se considero, parámetros fisicoquímicos monitoreados, como la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto, el amonio no ionizado y el nitrito, donde se mantuvieron dentro de los rangos aceptables, permitiendo condiciones óptimas para la supervivencia y desarrollo de los organismos en el sistema (Limón, 2024).

Figura 2

Representación gráfica de la comparación entre sistemas NFT y SRF.



Nota. Imagen elaborada por el autor del trabajo (2025).

Actualmente, la búsqueda de métodos de producción más sostenibles ha impulsado la exploración de alternativas que integren la producción alimentaria de manera eficiente y respetuosa con el medio ambiente. La acuaponía, un sistema que combina la acuicultura y la hidroponía en un ciclo cerrado y recirculante, ha emergido como una opción prometedora para optimizar el uso de recursos y reducir los impactos negativos de estas prácticas cuando se realizan por separado.

En este sentido, su aplicación en empresas acuícolas podría representar una innovación significativa, especialmente en áreas rurales con alto potencial productivo, como el sector de Tandapi (Parroquia Manuel Cornejo Astorga), en el cantón Mejía, provincia de Pichincha – Ecuador. No obstante, la implementación de un sistema acuapónico en una empresa dedicada a la producción de Tilapias en esta región podría enfrentar varios obstáculos.

Entre ellos, se destacan la necesidad de adaptar las instalaciones actuales, lo que requeriría una inversión inicial considerable para incorporar elementos como biofiltros, sistemas de cultivo para plantas y dispositivos para el monitoreo ambiental. Además, la carencia de personal especializado en el manejo de estos sistemas, junto con las condiciones climáticas variables propias de la zona andina, podrían influir negativamente en el rendimiento del sistema y la salud de los organismos.

A esto se añade la escasa disponibilidad de insumos técnicos adecuados y la limitada experiencia local en acuaponía, factores que podrían dificultar la implementación y sostenibilidad a largo plazo de esta tecnología.

Antecedentes

La implementación de sistemas acuapónicos en empresas acuícolas ha demostrado ser una opción viable para la producción sostenible de alimentos, ya que permite la integración

de la acuicultura y la hidroponía en un solo ciclo productivo, lo que optimiza el uso de recursos naturales como el agua y los nutrientes. Empresas en diversas partes del mundo han adoptado esta tecnología con resultados positivos en términos de eficiencia productiva y reducción de costos operativos. Según un informe de la FAO (2018), las empresas acuícolas que implementan acuaponía logran una disminución significativa en el uso de agua, lo cual es especialmente relevante en zonas donde el recurso es limitado.

En Ecuador, algunos emprendedores han comenzado a explorar la acuaponía como modelo de negocio dentro del sector agrícola y acuícola. Un estudio sobre empresas ecuatorianas que aplican técnicas sostenibles señala que el modelo acuapónico ha sido adoptado principalmente por pequeñas y medianas empresas en áreas rurales, que buscan diversificar sus fuentes de ingresos y mejorar la productividad.

Las empresas que han intentado implementar este modelo enfrentan barreras significativas, tales como la falta de capacitación técnica especializada y la necesidad de realizar fuertes inversiones iniciales para adaptar las instalaciones y adquirir los sistemas adecuados para el manejo de la recirculación del agua y el cultivo de plantas.

Adicionalmente, estudios realizados por la Cámara de Acuicultura del Ecuador (Zambrano, 2025) muestran que, si bien las empresas acuícolas en el país están abiertas a la innovación, las restricciones tecnológicas y la disponibilidad limitada de insumos especializados continúan siendo desafíos clave. Además, las condiciones climáticas variables de las zonas rurales de Ecuador, en específico de Tandapi pueden afectar la estabilidad de los sistemas acuapónicos, lo que requiere una planificación rigurosa y el uso de tecnologías adaptativas para garantizar la viabilidad del modelo empresarial.

La automatización en los sistemas acuapónicos desempeña un papel fundamental para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de este modelo de producción integrado. El uso de

tecnologías automatizadas permite el monitoreo continuo de parámetros esenciales como la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto, los niveles de nutrientes y el flujo de agua, asegurando condiciones óptimas para las especies acuáticas y las plantas. Adicionalmente, la automatización facilita una gestión más eficiente de los recursos, reduciendo el consumo de insumos y la necesidad de mano de obra, lo que resulta en una disminución de los costos operativos a largo plazo.

El control automatizado de estos elementos ayuda a prevenir fallos en el sistema, promoviendo su estabilidad y minimizando el riesgo de pérdidas productivas. En el ámbito empresarial, la automatización no solo incrementa la rentabilidad al optimizar los procesos, sino que también permite gestionar sistemas más grandes y complejos con mayor facilidad, favoreciendo su expansión y sostenibilidad a lo largo del tiempo.

La empresa, localizada en la parroquia Manuel Cornejo Astorga y dedicada a la producción de Tilapias y diversas hortalizas como lechuga, espinaca, acelga, col rizada, mostaza verde y repollo chino, ha identificado la viabilidad de implementar sistemas acuapónicos dentro de sus piscinas destinadas al cultivo de Tilapias. Esta iniciativa surge como una alternativa sostenible que permite integrar la acuicultura con la producción vegetal, optimizando el uso del agua y los nutrientes generados por los desechos de los peces.

Además, el entorno climático favorable de la zona y la experiencia previa en el manejo de especies vegetales y acuáticas representan una ventaja para el desarrollo eficiente de este sistema productivo combinado, cabe recalcar que se ha visualizado una alta tasa de mortalidad en la producción de Tilapias *Tabla 1* debido a diferentes factores relacionados a los parámetros del agua como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 1*Tasa de mortalidad en la producción de Tilapia*

Mes / Características	Peces sembrados	Peces muertos	Peces sobrevivientes	Tasa de mortalidad (%)	Observaciones
Septiembre	1000	230	770	23	Falta de oxígeno disuelto
Octubre	1000	246	754	24,6	Acumulación de amoníaco
Noviembre	1000	234	766	23,4	Brote de enfermedad bacteriana
Diciembre	1000	241	759	24,1	Filtración deficiente
Enero	1000	237	763	23,7	Falta de oxígeno disuelto
Febrero	1000	260	740	26	Acumulación de amoníaco

Nota. Tabla elaborada por el autor del trabajo (2025).

Uno de los principales desafíos en la producción, particularmente en la producción intensiva de Tilapias, es la gestión de los desechos generados por los peces, como los excrementos y los restos de alimento no consumido. La acumulación de nutrientes como el amoníaco y los nitritos en el agua puede provocar una disminución en la calidad del agua, afectando tanto a las especies acuáticas nativas como a la biodiversidad del entorno.

El exceso de nutrientes es un factor clave en la eutrofización, un proceso que fomenta el crecimiento desmedido de algas, reduce el oxígeno disponible en el agua y deteriora las condiciones de vida para otras especies acuáticas. Así, la falta de un manejo adecuado de los desechos de la acuicultura no solo pone en riesgo la salud de los ecosistemas acuáticos cercanos, sino que también contribuye al desequilibrio de los recursos naturales y al deterioro de la calidad del agua, lo que afecta la fauna y flora local (Restrepo, 2022).

Al utilizar los desechos de los peces como fuente de nutrientes para las plantas, se elimina la necesidad de fertilizantes químicos y pesticidas, lo que contribuye a una producción más limpia.

Su implementación en espacios reducidos o no agrícolas, como zonas urbanas o interiores, y la posibilidad de automatizar el control de variables como el pH, la temperatura y los niveles de nutrientes, permiten una producción eficiente durante todo el año. En este sentido, la acuaponía representa una solución innovadora frente a los desafíos actuales de la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola (Albuja et al., 2021).

Marco teórico

La automatización en los sistemas acuapónicos desempeña un papel fundamental para garantizar la eficiencia operativa y la estabilidad del ecosistema integrado. A través del monitoreo y control constante de parámetros físicos y químicos como el pH, la temperatura, el oxígeno disuelto y la concentración de compuestos nitrogenados (amonio, nitritos y nitratos), es posible mantener condiciones óptimas tanto para la salud de los peces como para el desarrollo adecuado de las plantas.

Un control deficiente de estas variables puede provocar estrés en los organismos acuáticos, reducir la absorción de nutrientes por parte de las plantas y generar desequilibrios en el sistema biológico. Por esta razón, es indispensable seleccionar sensores precisos y confiables que permitan una supervisión continua y automatizada, facilitando la toma de decisiones oportunas y mejorando la sostenibilidad del sistema en el largo plazo.

Los actuadores, también conocidos como dispositivos de acción, cumplen un rol clave en los sistemas acuapónicos automatizados, ya que se encargan de ejecutar acciones físicas en función de los datos proporcionados por los sensores. Estos elementos permiten ajustar diversas condiciones del sistema, como la distribución de nutrientes, la oxigenación del agua,

el funcionamiento de las bombas, la regulación térmica y el control de luz o ventilación (Jaimes Fernández & Agudelo Pinto, 2020).

Entre los actuadores más utilizados se encuentran las bombas peristálticas para dosificar líquidos, las electroválvulas para manejar el paso del agua, los sistemas de calefacción o enfriamiento para mantener una temperatura estable, y los compresores de aire para asegurar niveles adecuados de oxígeno. Su integración con una unidad de control, como un microcontrolador o un controlador lógico programable (PLC), permite automatizar procesos críticos, optimizar recursos y mejorar el rendimiento del sistema acuapónico.

En los sistemas acuapónicos con automatización, tanto los microcontroladores como los controladores lógicos programables (PLC) tienen una función esencial, ya que se encargan de coordinar y gestionar las señales recibidas por los sensores y las acciones que deben ejecutar los actuadores. Estos dispositivos permiten supervisar constantemente parámetros como el pH, la temperatura del agua, los niveles de oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica, procesando dicha información para mantener un entorno favorable para el desarrollo de peces y plantas.

Mientras los PLC son preferidos en instalaciones de gran escala por su resistencia y fiabilidad, los microcontroladores como Arduino o ESP32 se utilizan frecuentemente en sistemas pequeños o de tipo experimental por su bajo costo y facilidad de programación (Pereira et al., 2022.). Al implementar estas tecnologías se optimiza el funcionamiento general del sistema, se disminuyen los errores humanos y se facilita la incorporación de herramientas como almacenamiento de datos, notificaciones automáticas y control remoto mediante tecnologías del Internet de las Cosas (IoT).

Las interfaces de usuario son elementos fundamentales en la automatización de sistemas acuapónicos, ya que permiten que el operario se comunique directamente con el

sistema de control. A través de estas plataformas, es posible observar en tiempo real las mediciones de variables como el pH, la temperatura, el nivel de oxígeno disuelto o el volumen de agua, así como realizar ajustes en los parámetros de funcionamiento y recibir notificaciones sobre fallos o condiciones fuera de lo normal.

Estas interfaces pueden estar integradas en pantallas físicas (HMI) o desarrollarse como aplicaciones móviles o sitios web, facilitando el acceso local o remoto mediante redes de comunicación o servicios en la nube (Wood, 2022). Una interfaz clara y funcional contribuye significativamente a la eficiencia del sistema como se muestra **Figura 3**, simplifica su operación, minimiza errores y permite una supervisión constante, incluso desde ubicaciones externas.

Figura 3

Boceto textual detallado de una interfaz de usuario móvil para el monitoreo técnico de un sistema acuapónico automatizado.

Sistema Acuapónico Automatizado (Logo)		
Temperatura del Agua:	25.3°C	
Nivel de Agua:	80%	
Oxígeno Disuelto:	6.8 mg/L	
pH del Agua:	6.4	
Amoníaco (NH ₃):	0.2 ppm	
Intensidad de Luz:	540 lux	
Humedad Ambiental:	68%	
Temperatura Ambiental:	28.7°C	
[Ver Gráficas]	[Actualizar]	[Ajustes]

Nota. Imagen elaborada por el autor del trabajo, basada en una interfaz de usuario móvil para el monitoreo (2025).

La metodología de esta investigación se enmarca en un enfoque aplicado, ya que busca generar conocimiento útil y práctico para optimizar el uso de sistemas acuapónicos en contextos reales de producción agrícola. Se adopta un diseño cuantitativo y experimental, lo que permite establecer relaciones de causa y efecto entre las variables involucradas. En

particular, se implementará un sistema acuapónico a escala piloto para evaluar de manera controlada los beneficios en términos de eficiencia hídrica, crecimiento vegetal y aprovechamiento de nutrientes derivados de los desechos de los peces.

La recolección y análisis de datos cuantitativos permitirá contrastar los resultados obtenidos con sistemas de cultivo tradicionales, aportando evidencia empírica sobre la viabilidad y ventajas del enfoque acuapónico.

Justificación

La **importancia** de este proyecto radica en que la acuaponía se presenta como una alternativa innovadora para enfrentar los retos de sostenibilidad, seguridad alimentaria y escasez de recursos hídricos. Al diseñar un sistema acuapónico automatizado, se integra la producción de peces y vegetales en un ciclo cerrado, reduciendo significativamente el consumo de agua y la dependencia de insumos químicos, lo que lo convierte en un modelo productivo alineado con las necesidades actuales del sector agrícola y ambiental.

El **impacto** de implementar un sistema acuapónico automatizado se refleja tanto en el ámbito productivo como en el ambiental. A nivel empresarial, mejora el rendimiento y reduce la tasa de mortalidad de la Tilapia, optimizando el uso de recursos. A nivel ecológico, disminuye la contaminación de ríos y suelos al reutilizar los nutrientes generados por los peces, fortaleciendo así un modelo de economía circular que contribuye a la conservación del entorno natural.

La **utilidad** de este sistema se evidencia en la capacidad de automatizar procesos críticos como el control del pH, la oxigenación, la temperatura del agua y la alimentación de los peces, lo cual reduce la dependencia de supervisión manual y minimiza errores humanos. Además, el uso de un dashboard para el monitoreo remoto brinda una herramienta práctica

que permite gestionar el sistema en tiempo real, facilitando la toma de decisiones oportunas y aumentando la confiabilidad de la producción.

Los **beneficios** del proyecto se proyectan en diferentes niveles: para el productor, representa mayor rentabilidad y estabilidad en la producción; para los trabajadores, la posibilidad de adquirir nuevas competencias tecnológicas; para la comunidad, acceso a alimentos frescos y libres de químicos; y para el medio ambiente, una significativa reducción del impacto negativo derivado de la acuicultura y la agricultura tradicionales.

Se considera **factible** la investigación, pues se cuenta con la autorización por parte de la alta directiva de la organización en la cual se va a realizar. Además, el diseño se sustenta en la disponibilidad de tecnologías accesibles como microcontroladores, sensores y plataformas de monitoreo en la nube, que ya han demostrado su eficacia en otros sectores de la agricultura de precisión. Asimismo, el proyecto se adapta a las condiciones climáticas y productivas de la zona de estudio, lo que garantiza su implementación práctica y su potencial de replicabilidad en otras regiones del país.

Objetivos

Objetivo general:

Diseñar un sistema acuapónico automatizado, mediante la integración de sensores, actuadores y un dashboard de monitoreo, para la optimización de la producción simultánea de Tilapia y vegetales en condiciones controladas.

Objetivos Específicos:

- Analizar la problemática actual en la producción acuapónica, mediante la revisión de fuentes científicas y casos prácticos, para la identificación de las limitaciones técnicas y operativas que afectan su eficiencia.
- Identificar los componentes tecnológicos necesarios para un sistema acuapónico automatizado, a través de la caracterización de sensores, dispositivos de control y parámetros de cultivo, con el fin de definir los requerimientos funcionales del sistema.
- Diseñar el sistema acuapónico automatizado, mediante la integración de tecnologías IoT, encaminado a un funcionamiento eficiente y una producción estable de peces y vegetales.

CAPÍTULO II

Ingeniería del Proyecto

Diagnóstico de la situación actual de la empresa:

La acuicultura específicamente la producción de Tilapia, se ha consolidado como una actividad económica rentable en diversas regiones del Ecuador, incluida la provincia de Pichincha más específicamente en Tandapi donde ejecuta esta actividad, aunque la temperatura no es la más óptima es factible la producción debido a su ubicación geográfica. No obstante, diversos estudios evidencian que esta actividad, cuando no se gestiona de manera sostenible, puede ocasionar importantes daños ambientales.

Un caso representativo se documenta en la provincia de Pastaza, donde el vertimiento directo de residuos provenientes de los estanques de cultivo ha contribuido a la degradación de la calidad del agua de los ríos locales, afectando la biodiversidad acuática (Nuestras Riquezas, 2023). Este fenómeno plantea preocupaciones similares para Tandapi, donde los productores en muchos casos no cuentan con sistemas adecuados de tratamiento de efluentes.

Adicionalmente, una revisión académica realizada por la Universidad Técnica de Machala destaca los impactos ecológicos del cultivo de Tilapia en jaulas, entre ellos la contaminación de sedimentos, la transmisión de enfermedades y el escape de peces hacia cuerpos de agua naturales (Vanessa & Santacruz, 2023). Esta última problemática es especialmente relevante para Tandapi, dado que las fuertes precipitaciones pueden provocar desbordamientos y la consecuente liberación de Tilapia en ambientes no controlados.

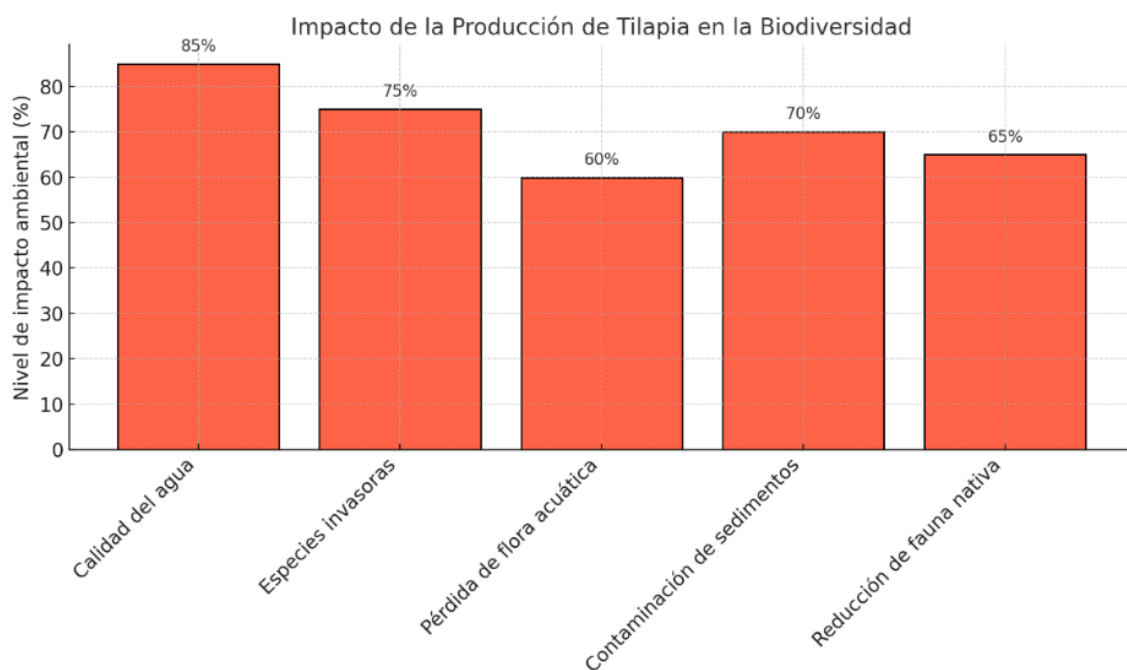
La introducción de especies exóticas representa una amenaza directa a la biodiversidad acuática nativa y al equilibrio ecológico de los sistemas hídricos locales. La Tilapia, reconocida como especie invasora en múltiples ecosistemas, se encuentra frecuentemente fuera del alcance de regulaciones ambientales estrictas en Ecuador. En la provincia de Pichincha, donde existen humedales y cuerpos de agua con especies endémicas,

la expansión no planificada de esta actividad podría derivar en un daño irreversible al patrimonio natural.

El estudio realizado en el distrito de Nauta en la región de Loreto, Perú, pone de manifiesto los efectos ambientales negativos derivados del mal manejo de la piscicultura (Bocanegra & Huanaquiri, 2023). Dichos impactos incluyen la contaminación del suelo, deterioro de la calidad del agua y pérdida de flora y fauna circundante como se visualiza en **Figura 4**. La situación descrita guarda similitud con ciertas prácticas observadas en Tandapi, donde la escasa implementación de sistemas de gestión ambiental incrementa la probabilidad de ocurrencia de impactos similares.

Figura 4

Estadística que representa el impacto ambiental de la producción de Tilapia sobre distintos aspectos de la biodiversidad.



Nota. Imagen elaborada por el autor del trabajo (2025).

El análisis de la calidad del agua utilizada en la piscina de cultivo de Tilapia en Tandapi reveló condiciones ambientales desfavorables que requieren intervención urgente. Se detectó un pH ácido de 5,8, niveles bajos de oxígeno disuelto (3,1 mg/L) y concentraciones elevadas de nitritos (1,2 mg/L), nitratos (72 mg/L) y amonio (0,68 mg/L), todos fuera de los rangos óptimos para la cría de Tilapia. Estos valores indican una contaminación significativa, posiblemente causada por descargas orgánicas no tratadas o escasa renovación del agua.

La calidad actual compromete la salud de los peces y puede generar mortalidades, por lo que se recomienda implementar sistemas de tratamiento, aireación y monitoreo continuo para restaurar las condiciones adecuadas del ecosistema acuático. El uso extensivo de pesticidas en la producción de hortalizas ha generado una creciente preocupación debido a sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente. Estudios han demostrado que la exposición continua a estos compuestos, ya sea por contacto directo en zonas agrícolas o por el consumo de alimentos contaminados, está relacionada con trastornos neurológicos, hormonales y enfermedades crónicas como el cáncer (Paula et al., 2022).

Además, su presencia en frutas y verduras de consumo diario representa un riesgo para la seguridad alimentaria, dado que frecuentemente se detectan residuos de pesticidas en productos frescos (García et al., 2021). A esto se suma el impacto ecológico sobre comunidades rurales, donde la salud de los agricultores se ve afectada por el uso intensivo de agroquímicos, lo que también compromete el equilibrio ambiental y social del territorio (Aberkani et al., 2022). Esta situación evidencia la necesidad de replantear las prácticas productivas, fomentar alternativas sostenibles y reforzar la vigilancia sanitaria y ambiental.

El uso generalizado de pesticidas en la producción agrícola ha desencadenado múltiples consecuencias en la salud humana y el medio ambiente. Estudios recientes

evidencian que estos compuestos no solo contaminan cuerpos de agua dulce, sino que también se bioacumulan en los organismos acuáticos y terminan afectando a comunidades rurales cercanas, generando riesgos como enfermedades crónicas y daños a la biodiversidad (García et al., 2025).

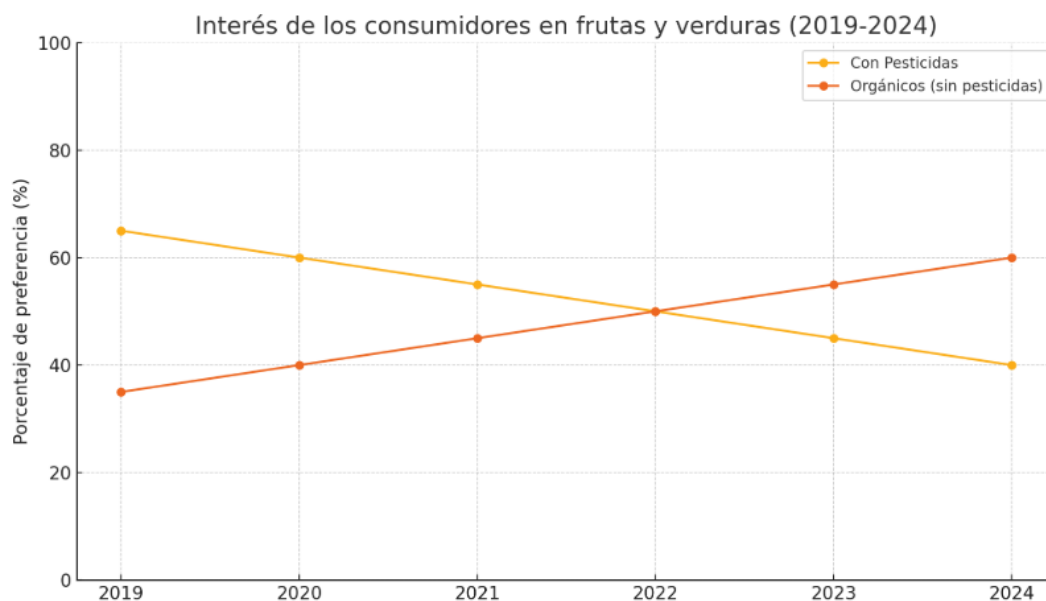
Desde una perspectiva de salud ocupacional, la exposición prolongada a pesticidas en trabajadores agrícolas se ha vinculado con patologías cardiovasculares graves, como hipertensión, infartos agudos de miocardio y arritmias, debido a la acción tóxica de sustancias como el clorpirifós, el carbofurano o el DDT sobre el sistema nervioso y circulatorio (Ávila-Camargo et al., n.d.).

A nivel alimentario, los residuos de pesticidas presentes en hortalizas frescas representan una amenaza latente, ya que muchas veces exceden los límites máximos permisibles y no son eliminados completamente por los procesos convencionales de tratamiento, comprometiendo así la seguridad alimentaria de la población (Liseth & Chillogalli, n.d.). Esta problemática refleja una urgente necesidad de fortalecer la regulación, el monitoreo y las prácticas agrícolas sostenibles que prioricen la salud pública y el equilibrio ecológico.

Como se muestra en la **Figura 5** el consumo de alimentos orgánicos ha aumentado considerablemente, impulsado por una creciente conciencia de los consumidores sobre la salud, la sostenibilidad ambiental y la seguridad alimentaria. Se realizó una proyección de las ventas de productos orgánicos a nivel mundial hasta el año 2024, basada en los datos obtenidos y en la tendencia observada, lo que evidencia un cambio de preferencia hacia prácticas agrícolas libres de pesticidas (Willer et al., 2024).

Figura 5

Estadística de los consumidores de frutas y verduras, orgánicas y cultivadas con pesticidas.



Nota. Imagen elaborada por el autor del trabajo (2025), basada en el interés por los productos orgánicos (sin pesticidas) frente a una disminución en la preferencia por frutas y verduras cultivadas con pesticidas.

La empresa desarrolla diversas actividades económicas, entre las que se destacan el cultivo de frutas y hortalizas, la producción y comercialización de Tilapia, así como la producción de leche. En lo que respecta a la acuicultura, se cuenta con un total de nueve piscinas destinadas al cultivo de Tilapia, las cuales permiten la clasificación de los peces según su tamaño y especie, lo que facilita un manejo técnico más eficiente como se ve **Figura 6**. No obstante, durante la evaluación del proceso productivo se identificaron prácticas que generan impactos negativos sobre el medio ambiente.

En particular, se observó que las aguas residuales provenientes del cultivo de Tilapia son descargadas directamente en el río sin tratamiento previo, lo que representa un riesgo de contaminación para los ecosistemas acuáticos. Asimismo, se constató el uso de pesticidas en el cultivo de vegetales, lo cual no solo compromete la salud del suelo y el agua, sino también la inocuidad de los productos alimenticios.

Figura 6

Visitas realizadas a los diferentes emprendedores.



Nota. Evidencia de las diferentes visitas que se realizó a los emprendedores de Tandapi, para evidenciar los procesos actuales en la producción de Tilapia elaborado por el autor (2025).

Con el objetivo de analizar alternativas sostenibles para mitigar estos impactos, y con el apoyo de la vicepresidenta del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) parroquial de Tandapi, Cristina Jiménez, se llevó a cabo una visita técnica a diversos emprendimientos locales. Durante estas visitas se evidenció que las problemáticas ambientales identificadas en la empresa son comunes en otras unidades productivas de la zona. Ante esta situación, el GAD parroquial ha manifestado su interés en fomentar la adopción de sistemas productivos sostenibles entre los emprendedores locales.

Una de las propuestas planteadas es la implementación de un sistema acuapónico piloto en una de las piscinas existentes, el cual servirá como modelo replicable para otras

iniciativas productivas de la región. Este sistema permitiría integrar de manera eficiente la producción de peces y vegetales, reduciendo el uso de insumos químicos y promoviendo la reutilización del agua, en concordancia con los principios de la economía circular y la sostenibilidad ambiental.

Ubicación geográfica

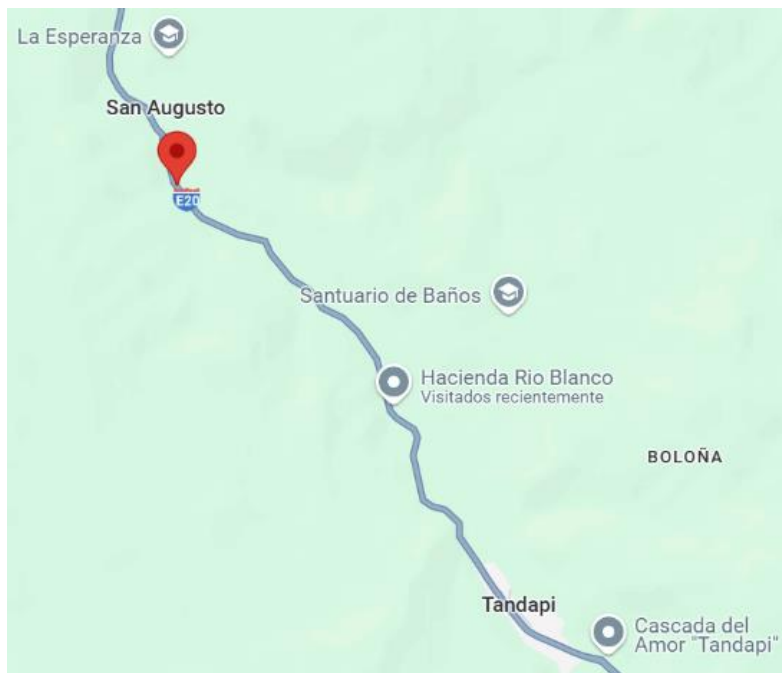
Tandapí está ubicada en la ladera occidental de la Cordillera de los Andes, a unos 70 kilómetros al sur de la ciudad de Quito, sobre la carretera E20, al encontrarse en una franja de transición entre la Sierra y la Costa presenta un clima subtropical húmedo el cual permite la producción de Tilapia, es necesario considerar que el tiempo de producción tiene un incremento de 28% a 48% ya que el clima no es el más óptimo para la producción de Tilapia, esta actividad está tomando impulso, pero actualmente se desarrolla sin una gestión adecuada de los residuos generados.

Las aguas residuales cargadas con restos de alimento, materia orgánica, son descargadas directamente en ríos cercanos, lo que evidencia una falta de tratamiento ambiental. Esta situación ha generado diversos impactos negativos como la contaminación del agua, disminución del oxígeno disuelto, eutrofización, afectación de la biodiversidad acuática y riesgo sanitario para las comunidades locales **Figura 7** que dependen de estas fuentes hídricas, sostenible, diversificada y rentable, posicionando a Tandapí como una comunidad modelo en producción agroecológica con bajo impacto ambiental en especial la empresa donde se realizara la propuesta **Figura 8**

Ubicación del lote donde se realizará el diseño, sacado de Google maps.**Figura 8.**

Figura 7

Ubicación de la empresa donde se realizará el diseño acuapónico.



Nota. Imagen de la ubicación geográfica de la empresa donde se realizará el diseño acuapónico. Fuente: Google maps.

Figura 8

Ubicación del lote donde se realizará el diseño, sacado de Google maps.



Nota. Imagen de la el área de la empresa donde se realizará el diseño acuapónico. Fuente: Google maps.

Finalmente se concluye que, si bien la producción de Tilapia ha contribuido significativamente al desarrollo económico de los pequeños emprendedores, esta actividad

requiere de una transformación hacia modelos sostenibles. La falta de capacitación técnica y de regulaciones específicas agrava los riesgos ambientales asociados. Por ende, resulta imprescindible que las autoridades promuevan políticas públicas que incentiven el uso de tecnologías limpias, el monitoreo de la calidad del agua, y la formación de los productores en prácticas responsables. Solo así podrá garantizarse un equilibrio entre el aprovechamiento económico y la protección del entorno natural.

Parámetros Tilapia roja (*Oreochromis mossambicus*)

La Tilapia roja representa una de las opciones más adecuadas para su implementación en sistemas acuapónicos, ya que en comparación con otras subespecies presenta una mayor tasa de crecimiento y un alto porcentaje de supervivencia **Figura 9**. Además, es una especie ideal para la cría en cautiverio debido a su resistencia a enfermedades, elevada productividad, capacidad para desarrollarse en condiciones de alta densidad poblacional, tolerancia a bajos niveles de oxígeno disuelto en el agua y su dieta flexible, que le permite alimentarse de una amplia variedad de fuentes (Sabando & Amador, n.d.).

Figura 9

*Tilapia roja (*Oreochromis mossambicus*)*



Nota. Importancia del cumplimiento de parámetros para el crecimiento de la Tilapia roja (2025).

El manejo adecuado de los parámetros fisicoquímicos del agua es esencial para el éxito al cultivar Tilapia roja, ya que estos influyen directamente en la salud, el crecimiento y

la supervivencia de los peces. Factores como la temperatura, el oxígeno disuelto, el pH y las concentraciones de compuestos nitrogenados (amoníaco, nitritos y nitratos) deben mantenerse dentro de rangos óptimos para evitar condiciones de estrés, enfermedades y mortalidad.

Estudios recientes han demostrado que variaciones significativas en estos parámetros pueden afectar negativamente el metabolismo y la eficiencia alimenticia de la Tilapia *Tabla 2*, reduciendo así la productividad del cultivo. Por lo tanto, el monitoreo constante y la implementación de buenas prácticas de manejo son fundamentales para garantizar una producción acuícola sostenible y rentable (René González et al., 2023).

Tabla 2

Parámetros físico-químicos del agua para Tilapia rojas.

Parámetro	Valor óptimo	Observaciones
Temperatura	26–30 °C	Por debajo de 20 °C se reduce el crecimiento; por encima de 35 °C puede ser letal.
Oxígeno disuelto	≥ 5 mg/L	Valores por debajo de 3 mg/L causan estrés y pueden provocar mortalidad.
pH	6.5–8.5	Tilapias son tolerantes, pero fuera de este rango pueden afectarse procesos metabólicos.
Amoníaco (NH₃)	< 0.05 mg/L (ionizado)	Altamente tóxico; controlar carga orgánica y mantener buen oxigenado.
Nitritos (NO₂⁻)	< 0.1 mg/L	Tóxicos para los peces; se debe vigilar el ciclo del nitrógeno.
Nitratos (NO₃⁻)	< 50 mg/L	Menos tóxicos, pero en exceso indican desbalance en el sistema.

Nota. Importancia del cumplimiento de parámetros para la producción de Tilapia roja, tabla generada por el autor.

En la acuaponía con Tilapia roja, el manejo adecuado de los parámetros biológicos es esencial para optimizar el crecimiento y la salud de los peces. Factores como la densidad de siembra, la alimentación, la tasa de conversión alimenticia (FCR) y el fotoperiodo deben ser cuidadosamente controlados. Una densidad de siembra apropiada evita el estrés y la competencia por recursos, mientras que una alimentación balanceada, ajustada al tamaño y etapa de desarrollo de los peces, mejora la eficiencia del FCR **Tabla 3**. Además, el fotoperiodo influye en el comportamiento y la reproducción de la Tilapia, por lo que su regulación puede ser utilizada para estimular el crecimiento o controlar la madurez sexual (González, 2025).

Tabla 3

Parámetros biológicos para Tilapias rojas.

Parámetro	Valor óptimo	Observaciones
Densidad de siembra	20–40 peces/m ² (en sistemas intensivos)	Depende del sistema (estanques, jaulas, RAS, acuaponía, etc.)
Alimentación	Balanceado con 28–32% de proteína	Raciones 2–4 veces al día; ajustar según tamaño y temperatura.
Tasa de conversión (FCR)	1.5–2.0	Menor FCR = mejor eficiencia en uso del alimento.
Renovación del agua	5–10% diario (según sistema)	Importante en sistemas abiertos; en acuaponía, menor tasa.
Fotoperiodo	12–16 horas de luz	Afecta el crecimiento y reproducción.

Nota. Tabla elaborada por el autor del trabajo (2025).

Parámetros de los vegetales

En los sistemas hidropónicos y acuapónicos, se pueden cultivar una amplia variedad de plantas, siempre que sus requerimientos nutricionales y de humedad sean compatibles con

las condiciones del sistema. Las hortalizas de hoja como la lechuga, la espinaca, la albahaca y la acelga son especialmente populares debido a su rápido crecimiento y baja demanda de nutrientes.

También es posible cultivar especies de frutos como el tomate, el pimiento y el pepino, aunque estas requieren un mayor aporte nutricional y mayor estabilidad en el sistema (Salas, 2020). Algunas plantas aromáticas y medicinales, como el cilantro, el perejil y la menta, también se desarrollan bien en acuaponía **Tabla 4**, lo que permite diversificar la producción y aprovechar al máximo el espacio disponible.

Tabla 4

Clasificación de Plantas en Acuaponía

Categoría	Ejemplos de Plantas	Demanda Nutricional	Ciclo de Crecimiento Aproximado	Recomendación
Crecimiento rápido	Lechuga, Espinaca, Rúcula, Albahaca, Mostaza verde, Berro, Cilantro	Baja	3–5 semanas	Ideal para sistemas nuevos o en etapa inicial.
Crecimiento medio	Acelga, apio, col rizada	Moderada	6–8 semanas	Requieren sistema más maduro.
Crecimiento lento	Tomate, pimiento, pepino	Alta	8–12 semanas o más	Solo en sistemas bien establecidos y estables.

Nota. Podemos identificar las diferentes características de los crecimientos de las plantas para la elección de uno de estos.

La producción eficiente de vegetales en acuaponía requiere el control preciso de diversos factores físico-químicos y biológicos del sistema. Es esencial mantener un equilibrio entre el pH, la temperatura del agua, el oxígeno disuelto y los compuestos nitrogenados como

el amoníaco, los nitritos y los nitratos, ya que afectan directamente la salud de los peces, las plantas y las bacterias nitrificantes.

Además, aspectos como la densidad de peces, el tipo de cultivo, la iluminación y la calidad del agua influyen en el rendimiento general del sistema (Flores et al., 2021). Un manejo adecuado de estos parámetros que se muestra **Tabla 5** permite optimizar la producción vegetal de manera sostenible, asegurando un entorno estable y saludable para todos los organismos involucrados.

Tabla 5

Parámetros físico-químicos de las diferentes verduras.

Planta	pH óptimo	Temp . agua (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Nitratos (NO ₃ ⁻)	Nitritos (NO ₂ ⁻)	Amoníaco (NH ₃ /NH ₄ ⁺)	Observaciones
Lechuga	6.0 – 7.0	18 – 24	> 5.0	40 – 100 mg/L	< 1.0	< 0.5 mg/L	Ideal para sistemas en clima templado.
Espinaca	6.0 – 7.0	16 – 22	> 5.0	40 – 80 mg/L	< 1.0	< 0.5 mg/L	Prefiere temperaturas más frescas.
Rúcula	6.0 – 7.0	18 – 24	> 5.0	30 – 60 mg/L	< 1.0	< 0.5 mg/L	De rápido crecimiento, tolera condiciones variables.
Albahaca	6.0 – 7.5	20 – 28	> 5.0	60 – 100 mg/L	< 1.0	< 0.5 mg/L	Ideal en climas cálidos.
Mostaza verde	6.0 – 7.0	18 – 24	> 5.0	40 – 80 mg/L	< 1.0	< 0.5 mg/L	Sensible al exceso de calor, fácil de cultivar.

Berro	6.5 – 7.5	15 – 22	> 5.0	30 – 60 mg/L	< 1.0	< 0.5 mg/L	Ideal para ambientes húmedos y bien oxigenados.
Cilantro	6.2 – 7.2	18 – 24	> 5.0	40 – 80 mg/L	< 1.0	< 0.5 mg/L	Crece mejor en climas frescos; sensible al calor.
Rangos necesita dos	6.5 – 7.0	20 – 22	> 5.0	60 mg/L	< 1.0	< 0.5 mg/L	Estos rangos permiten tener todos los vegetales.

Nota. Tabla elaborada por el autor del trabajo (2025).

La **Tabla 6** resume los principales parámetros biológicos de ocho cultivos de hoja comúnmente utilizados en sistemas hidropónicos y acuapónicos: lechuga, espinaca, rúcula, albahaca, mostaza verde, berro, cilantro y acelga baby. Estos parámetros comprenden el rango óptimo del tiempo estimado hasta la cosecha, el requerimiento de luminosidad diaria y el espaciamiento entre plantas. La comprensión y control de estos factores resulta fundamental para maximizar la eficiencia productiva y garantizar el desarrollo saludable de los cultivos. En particular, en sistemas acuapónicos, donde el ambiente de cultivo depende de la interacción entre peces y plantas, el manejo preciso de estas variables permite alcanzar un equilibrio biológico adecuado. Además, esta información es esencial para la planificación del diseño del sistema, la selección de especies compatibles y la implementación de prácticas de manejo integradas que optimicen el uso de recursos y favorezcan la sostenibilidad del sistema.

Tabla 6*Parámetros biológicos clave para cultivos*

Cultivo	Días a Cosecha	EC (cm)	Luminosidad (h/día)	Espaciamiento (cm)
Lechuga	30-45	0.8 - 1.2	12-16	20 - 25
Espinaca	35-50	1.8 - 2.3	10-14	10-15
Rúcula	25-35	0.8 - 1.2	10-14	10-15
Albahaca	45-60	1.0 - 1.6	14 - 16	20 - 25
Mostaza verde	30-40	1.5 - 2.0	10-14	15 - 20
Berro	30-45	0.4 - 1.0	10-14	10-15
Cilantro	45-70	1.2 - 1.8	10-14	10-15
Acelga baby	30-40	1.5 - 2.5	10-14	15 - 20

Nota. Evidencia de los diferentes vegetales que se van a utilizar en el sistema acuapónico elaborado por el autor (2025).

Área de estudio:

Dominio: Tecnología y sociedad

Línea de investigación: Automatización y redes

Sub Línea de investigación: Diseño e implementación de sistemas electromecánicos, eléctricos/electrónicos, para satisfacer necesidades del sector productivo y de servicios mediante herramientas automatizadas.

Campo: Ingeniería Industrial

Área: Automatización

Aspectos: Diseño de un sistema acuapónico automatizado para producción de peces y verduras

Objeto de estudio: Provincia de Manabí

Periodo: abril- agosto 2025

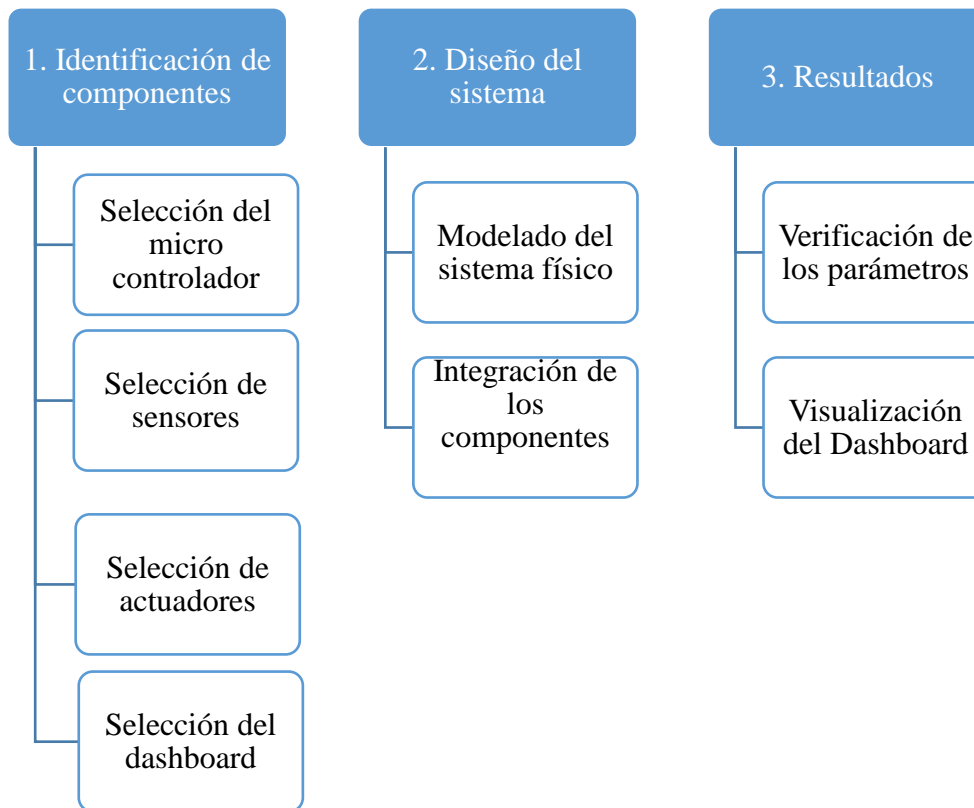
Modelo operativo

La elección del modelo operativo diagrama de *Figura 10* , responde a la necesidad de estructurar de manera sistemática y coherente el proceso de desarrollo de un sistema automatizado. A través de una secuencia lógica que abarca desde la identificación de los componentes hasta la obtención de resultados, se garantiza una integración ordenada entre los elementos de hardware y software.

Esta metodología no solo permite establecer una base técnica sólida para la implementación del sistema, sino que también facilita la evaluación progresiva de cada etapa, lo cual resulta fundamental en proyectos de carácter experimental. De este modo, se asegura que el sistema no solo funcione correctamente, sino que también cumpla con los objetivos planteados en el marco de la investigación, contribuyendo así a la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos. Selección de sensores

Figura 10

Diagrama de bloques.



Una vez identificado las necesidades del sistema **Identificación de componentes** se enfoca en seleccionar los elementos fundamentales que conformarán el sistema automatizado. Se parte por definir qué sensores serán necesarios para medir las variables críticas del entorno, como temperatura, nivel de agua o pH. Luego, se identifican los actuadores que permitirán ejecutar acciones correctivas o de control, como activar bombas o abrir válvulas. A continuación, se elige un microcontrolador que pueda gestionar la información de entrada y salida de forma eficiente, asegurando compatibilidad con los dispositivos seleccionados.

Se procede al **diseño del sistema**, comenzando con el modelado físico, que permite representar de forma estructurada la disposición y flujo de los elementos dentro del sistema. Posteriormente, se lleva a cabo la integración de sensores, actuadores y el microcontrolador,

garantizando que funcionen de manera sincronizada. En esta etapa también se programa el microcontrolador, configurando las instrucciones necesarias para que pueda interpretar los datos obtenidos y actuar en consecuencia. Este diseño asegura que el sistema opere de forma autónoma y eficaz, respondiendo adecuadamente a los cambios en las condiciones del entorno.

La última etapa consiste en validar los **resultados** mediante el funcionamiento del sistema automatizado. Para ello se realiza una verificación de los parámetros medidos por los sensores, asegurando que los datos sean precisos y que las respuestas del sistema estén alineadas con los valores esperados. Además, se evalúa el desempeño del dashboard, revisando que la visualización de los datos sea clara, precisa y útil para el usuario. Esta etapa permite comprobar que el sistema cumple con sus objetivos de monitoreo y control, aportando información valiosa para su posible optimización o implementación a mayor escala

CAPÍTULO III

Propuesta y Resultados Esperados

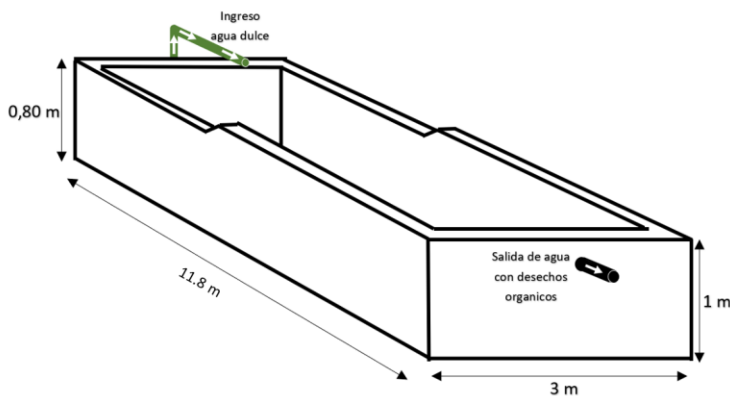
Desarrollo de la propuesta:

Para el diseño del sistema acuapónico, es fundamental considerar diversos factores técnicos, entre los cuales destacan el volumen de agua requerido y la densidad de peces por metro cúbico. Estos parámetros son determinantes para dimensionar adecuadamente los diferentes tanques que conforman el sistema, garantizando así un funcionamiento eficiente y sostenible.

En la piscina actualmente utilizada se pueden identificar las dimensiones visualizadas en *Figura 11*, así como el funcionamiento operativo del sistema **Anexo A**. Este consiste en un flujo constante de agua, en el cual el recurso hídrico es captado directamente del río e ingresado a la piscina, mientras que el agua residual, cargada con los desechos generados por las Tilapia, es descargada nuevamente al río sin ningún tipo de tratamiento previo. Esta práctica representa un riesgo ambiental debido a la posible contaminación de cuerpos de agua naturales.

Figura 11.

Medidas de la piscina de Tilapia

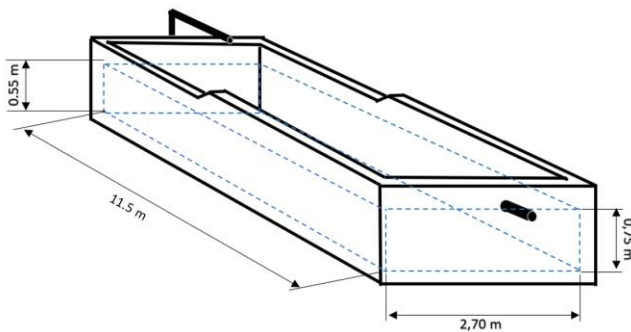


Nota. Imagen elaborada por el autor del trabajo (2025).

Para calcular el volumen del tanque fue necesario identificar con precisión las dimensiones internas correspondientes al área de almacenamiento de agua. Este análisis permitió obtener un valor exacto del volumen útil, el cual es fundamental para el diseño eficiente del sistema acuapónico y el dimensionamiento adecuado de los componentes hidráulicos.

Figura 12

Medidas del Volumen de la piscina de Tilapia



Nota. Imagen elaborada por el autor del trabajo (2025).

Cálculo Volumen:

$$V = \text{Largo} \times \frac{(\text{Altura frontal} + \text{Altra trasera})}{2} \times \text{Ancho} \quad (1)$$

$$V = 11.5 \text{ m} \times \frac{(0.55 \text{ m} + 0.75 \text{ m})}{2} \times 2.70 \text{ m}$$

$$V = 20.2275 \text{ m}^3$$

Conversión a litros:

$$202275 \text{ m}^3 \times 1000 = 20227.5 \text{ Litros}$$

Para determinar la capacidad de almacenamiento del tanque utilizado en el sistema acuapónico, se procedió al análisis geométrico de su estructura. El tanque presenta una forma de prisma trapezoidal, cuyas dimensiones son: 11,5 metros de largo, 2,70 metros de ancho, una altura menor de 0,55 metros y una altura mayor de 0,75 metros. Aplicando la fórmula correspondiente para el cálculo del volumen de un prisma con base trapezoidal, se obtuvo un volumen total aproximado de 202275 metros cúbicos, lo que equivale a 20227.5 litros de capacidad útil. Este valor es fundamental para estimar la densidad de carga de peces, así como para dimensionar los componentes hidráulicos y de filtrado del sistema.

La **densidad** de peces es un parámetro clave en el diseño y operación de un sistema acuapónico, ya que influye directamente en la producción de nutrientes y en el equilibrio del ecosistema acuático. Para garantizar un funcionamiento estable del sistema, se recomienda mantener una densidad de entre 6 y 10 kilogramos de biomasa por metro cúbico de agua, especialmente en sistemas que cuentan con monitoreo automatizado de parámetros fisicoquímicos. Este rango permite una adecuada conversión de los desechos orgánicos en nutrientes **Tabla 7**

Características de los diferentes tipos de intensidad de Tilapia. para las plantas sin sobrecargar los procesos de filtración biológica ni comprometer la calidad del agua.

Tabla 7

Características de los diferentes tipos de intensidad de Tilapia.

Tipo de sistema	Densidad recomendada	Requiere:
Baja intensidad (doméstico)	5–8 kg/m ³	Poco manejo, mínimo filtrado y aireación.
Media intensidad (controlado)	10–15 kg/m ³	Aireación, filtración mecánica/biológica, sensores.
Alta intensidad (intensivo)	20–30 kg/m ³	Oxigenación constante, filtración avanzada, control diario.

Nota. Tabla elaborada por el autor del trabajo (2025).

Dado que el sistema acuapónico propuesto es de reciente implementación, se ha considerado adecuado trabajar con una densidad de cultivo de media intensidad en un rango aproximado de 10 kg/m³. Esta decisión responde a la necesidad de mantener un equilibrio entre la eficiencia productiva y la estabilidad del sistema durante su etapa inicial se muestra una densidad moderada permite observar el comportamiento de los peces, evaluar el desempeño de los componentes automatizados y ajustar los parámetros de control sin generar una sobrecarga en los mecanismos de filtración y oxigenación.

Facilita el proceso de capacitación y adaptación operativa, reduciendo riesgos sanitarios o ambientales que podrían comprometer el éxito del proyecto. A medida que el sistema se estabilice y se validen las condiciones óptimas de funcionamiento, se podrá considerar un incremento gradual de la biomasa cultivada, es necesario considerar el peso promedio de la Tilapia al momento de su cosecha es de 0.5 kg.

Calculo de la densidad o biomasa:

Variables:

B = biomasa

V = volumen identificado en **(1)**

D = densidad **Tabla 7**

P = peso por Tilapia

$$\text{Biomasa} = (V \times D) \quad (2)$$

$$\text{Biomasa} = 20.2275 \text{ m}^3 \times 10 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Biomasa} = \mathbf{202,30 \text{ kg de tilapia}}$$

Si cada Tilapia roja pesa en promedio 0,5 kg:

$$202,30 \div 0,5 = \mathbf{404,6 \text{ tilapias aprox.}}$$

Una vez identificada la población realizo una proyección del programa de alimentación basado en datos obtenidos de anteriores producciones, se ha determinado que la fase de engorde será la base operativa del cultivo, dado que en esta etapa los peces alcanzan su mayor ritmo de crecimiento y se consolida la mayor biomasa dentro del sistema, la elección responde a que los ejemplares ya han superado las fases iniciales de alevinaje y pre-engorde, lo que reduce significativamente los riesgos asociados a la mortalidad temprana y permite un manejo más estable y eficiente de la población.

Como se visualiza en **Tabla 8** el engorde representa el escenario de máxima demanda en términos de alimentación, oxigenación y filtración biológica, factores que son determinantes para evaluar la capacidad real de carga del sistema. De esta manera, concentrar el diseño y las pruebas en la etapa de engorde permite garantizar la sostenibilidad técnica del sistema acuapónico y optimizar los recursos necesarios para mantener la calidad del agua y el bienestar de los peces.

El programa de alimentación proyectado abarca 31 semanas de cultivo identifica a lo largo de estas etapas un crecimiento progresivo tanto en el peso individual de los peces como en la biomasa total del sistema. Particularmente, durante la fase de engorde, que se extiende desde la semana 17 hasta la 31, se registra un notable incremento en la biomasa, pasando de 115,26 kg a 202,30 kg.

El crecimiento sostenido está acompañado por un aumento en el requerimiento alimenticio, alcanzando un consumo diario de hasta 6,07 kg de alimento en la última semana la tabla también permite visualizar la eficiencia en la conversión alimenticia, al ajustar el número de raciones y la cantidad por ración según la etapa del cultivo. de los peces.

Tabla 8*Programa detallado de alimentación*

# Sem	Etapas	Peso In (gr)	Peso Fi (gr)	Gan Peso	Biomasa Total (kg)	Raciones /día	Por ración (kg)	Total día (kg)	Total sem (kg)
1	Alevinaje	1	3	2	1,21	6	0,02	0,15	1,02
2	Alevinaje	3	5	2	2,02	6	0,04	0,24	1,69
3	Alevinaje	5	9	4	3,63	6	0,07	0,44	3,05
4	Alevinaje	9	13	4	5,24	6	0,10	0,63	4,40
5	Alevinaje	13	17	4	6,85	6	0,14	0,82	5,75
6	Alevinaje	17	25	8	10,08	6	0,20	1,21	8,46
7	Alevinaje	25	33	8	13,30	6	0,27	1,60	11,17
8	Alevinaje	33	45	12	18,14	6	0,36	2,18	15,23
9	Pre-engorde	45	63	18	25,39	3	0,51	1,52	10,66
10	Pre-engorde	63	81	18	32,64	3	0,65	1,96	13,71
11	Pre-engorde	81	105	24	42,32	3	0,85	2,54	17,77
12	Pre-engorde	105	133	28	53,60	3	1,07	3,22	22,51
13	Pre-engorde	133	161	28	64,88	3	1,30	3,89	27,25
14	Pre-engorde	161	190	29	76,57	3	1,53	4,59	32,16
15	Pre-engorde	190	219	29	88,26	3	1,77	5,30	37,07
16	Pre-engorde	219	250	31	100,75	3	2,02	6,05	42,32
17	Engorde	250	286	36	115,26	3	1,92	5,76	40,34
18	Engorde	286	325	39	130,98	3	1,31	3,93	27,50
19	Engorde	325	364	39	146,69	3	1,47	4,40	30,81
20	Engorde	364	387	23	155,96	3	1,56	4,68	32,75
21	Engorde	387	407	20	164,02	3	1,64	4,92	34,44
22	Engorde	407	421	14	169,66	3	1,70	5,09	35,63
23	Engorde	421	435	14	175,31	3	1,75	5,26	36,81
24	Engorde	435	445	10	179,34	3	1,79	5,38	37,66
25	Engorde	445	455	10	183,37	3	1,83	5,50	38,51
26	Engorde	455	465	10	187,40	3	1,87	5,62	39,35
27	Engorde	465	475	10	191,43	3	1,91	5,74	40,20
28	Engorde	475	483	8	194,65	3	1,95	5,84	40,88
29	Engorde	483	490	7	197,47	3	1,97	5,92	41,47
30	Engorde	490	495	5	199,49	3	1,99	5,98	41,89
31	Engorde	495	500	5	202,30	3	2,02	6,07	42,48

Nota. Tabla elaborada por el autor del trabajo (2025).

La identificación de componentes

Es una etapa fundamental en el desarrollo de un sistema automatizado, ya que de ella depende la funcionalidad, eficiencia y viabilidad técnica del proyecto. Este proceso implica un análisis detallado de los requerimientos operativos del sistema y la posterior evaluación de las características técnicas, económicas y de compatibilidad de cada elemento. En el caso del sistema automatizado de acuaponía, se consideraron parámetros clave para la selección de sensores, actuadores, microcontrolador y dashboard, tales como el rango de operación, precisión, tipo de señal, consumo energético, resistencia a condiciones ambientales, facilidad de integración y disponibilidad en el mercado local.

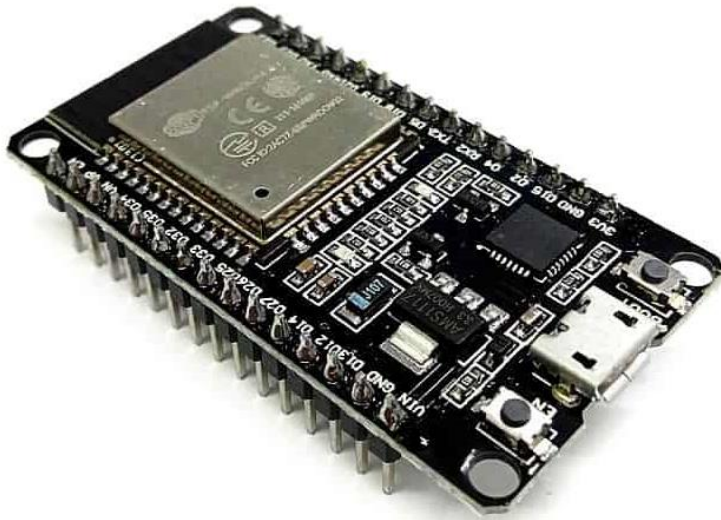
Selección de microcontrolador

La identificación del microcontrolador adecuado para el sistema automatizado de acuaponía implica analizar una serie de parámetros técnicos que garanticen el control eficiente de sensores, actuadores y la comunicación con interfaces de monitoreo. Uno de los principales criterios es la cantidad y tipo de pines de entrada/salida (GPIO), los cuales deben ser suficientes para conectar todos los dispositivos del sistema, considerando señales analógicas, digitales y de comunicación.

Se debe evaluar la capacidad de procesamiento y velocidad del reloj, ya que influyen directamente en el tiempo de respuesta del sistema. La memoria interna (Flash y RAM) es otro parámetro clave, especialmente si se utilizarán librerías complejas o almacenamiento de datos local. También es fundamental considerar la compatibilidad con protocolos de comunicación como I2C, SPI, UART o Wi-Fi, siendo este último esencial en sistemas con monitoreo remoto. Otros aspectos relevantes son el consumo energético, la tensión de operación, el soporte en entornos de desarrollo (IDE) y la documentación técnica disponible, siendo la mejor el ESP32 *Figura 13*.

Figura 13

Tarjeta de desarrollo ESP32.



Nota. El ESP32 WROOM-32D es un potente módulo de microcontrolador con 30 pines, ideal para proyectos IoT y aplicaciones de conectividad (Tarjeta de Desarrollo ESP32).

La elección del microcontrolador ESP32 dentro del sistema automatizado de acuaponía se fundamenta en su versatilidad, alto rendimiento y capacidad de integración con múltiples dispositivos y plataformas **Tabla 9**. Este componente resulta fundamental para garantizar el monitoreo y control en tiempo real de variables críticas como el pH, la temperatura, el nivel de oxígeno disuelto y otros parámetros de calidad del agua.

Su conectividad Wi-Fi integrada permite la transmisión continua de datos hacia un dashboard remoto, facilitando la supervisión del sistema desde cualquier ubicación. Es una opción altamente funcional y eficiente por su bajo consumo energético, facilidad de programación mediante entornos accesibles como Arduino IDE y la disponibilidad de recursos técnicos, consolidan su elección como el microcontrolador ideal para este proyecto, permitiendo una solución económica, escalable y confiable adaptada a las necesidades del entorno acuapónico.

Tabla 9*Características del microcontrolador ESP32 para sistemas acuapónicos.*

Parámetro	Descripción	Aplicación en acuaponía
Procesador	Doble núcleo a 240 MHz	Permite ejecutar tareas simultáneas (lectura de sensores y control)
Conectividad	Wi-Fi 802.11 b/g/n y Bluetooth 4.2	Transmisión de datos en tiempo real al dashboard o aplicación móvil
GPIO disponibles	Más de 30 pines configurables como entrada/salida	Conexión de múltiples sensores y actuadores
Entradas analógicas (ADC)	Hasta 18 canales ADC de 12 bits	Lectura precisa de sensores como pH, temperatura o niveles de agua
Salidas PWM	Pines con salida PWM	Control de bombas, válvulas o sistemas de iluminación
Protocolos de comunicación	Soporta I2C, SPI, UART, PWM, ADC	Integración con sensores digitales y módulos de expansión
Memoria	520 KB de SRAM y 4 MB de Flash	Capacidad suficiente para procesamiento, registro y almacenamiento básico
Voltaje de operación	3.3V	Compatible con la mayoría de sensores electrónicos modernos
Modos de bajo consumo	Deep Sleep, Light Sleep	Ideal para sistemas alimentados con energía limitada
Entornos de desarrollo compatibles	Arduino IDE, PlatformIO, Micro Python, Espressif IDF	Fácil programación y acceso a librerías de control
Comunidad y soporte	Amplia documentación y comunidad activa	Acceso a ejemplos, soluciones y tutoriales

Nota. Tabla elaborada por el autor del trabajo (2025).

Selección de sensores

Para la correcta identificación y selección de los sensores adecuados dentro del diseño del sistema automatizado de acuaponía es fundamental considerar una serie de parámetros técnicos y operativos que garanticen la funcionalidad, precisión y compatibilidad del sistema. Entre los principales criterios se incluyen el rango de medición, que debe cubrir los valores

típicos del parámetro a monitorear la precisión y resolución, que determinan la calidad de los datos obtenidos también es indispensable considerar el tipo de señal de salida (analógica, digital o serial), que debe ser compatible con el microcontrolador utilizado.

Sensor de pH

El sensor de pH de tipo Gravity de DFRobot *Figura 14*

Medidor de pH analógico con salida. es una alternativa confiable para medir el nivel de acidez o alcalinidad del agua, una variable esencial en sistemas acuapónicos. Su funcionamiento preciso y calibración sencilla lo hacen adecuado para controlar el pH, lo cual es crucial para el bienestar tanto de las Tilapias como de las plantas. Al ser compatible con el ESP32 mediante una salida analógica *Tabla 10*

Características del sensor DFRobot Gravity pH..

Figura 14

Medidor de pH analógico con salida.



Nota. Sensor analógico de pH recuperado de (DFRobot Gravity - PH Analog Sensor/Meter Botland - Robotic Shop)*

Tabla 10*Características del sensor DFRobot Gravity pH.*

Sensor	Tipo de señal	Compatibilidad con ESP32	Alimentación	Rango de medición	Precisión
DFRobot Gravity pH Kit	Analógica (0–3.0 V)	Sí (ADC1 – GPIO34–39)	3.3 V – 5 V	0 – 14 pH	±0.1 – 0.2

Nota. Tabla elaborada por el autor del trabajo (2025).

Sensor de Oxígeno disuelto

Este sensor está diseñado para registrar la concentración de oxígeno en el agua, una variable vital en la cría intensiva de Tilapias. El modelo SEN0237 **Figura 15** proporciona señales analógicas estables que pueden ser interpretadas directamente por el ESP32, permitiendo un monitoreo constante. Su resistencia al ambiente acuático y su facilidad de integración lo hacen ideal para activar automáticamente sistemas de aireación cuando los niveles de oxígeno caen por debajo del umbral recomendado **Tabla 11**, garantizando así una correcta oxigenación del sistema sin intervención manual.

Figura 15

Sensor analógico de oxígeno disuelto X - SEN0237-A.**Nota.** Sensor analógico de oxígeno disuelto compatible con Arduino recuperado de (Płyta Główna HB5 Botland - Robotic Shop).

Tabla 11*Características del sensor analógico de oxígeno*

Sensor	Tipo de señal	Compatibilidad con ESP32	Alimentación	Rango de medición	Precisión
DFRobot DO Sensor Kit (Gravity)	Analógica (0–3.0 V)	Sí	5 V	0 – 20 mg/L	±0.2 – 0.3 mg/L

Nota. Tabla elaborada por el autor del trabajo (2025).**Sensor de Amoníaco (NH₃)**

El MQ-137 *Figura 16* es un sensor económico diseñado originalmente para detectar amoníaco en el aire, pero que puede adaptarse para identificar la presencia de este gas en sistemas acuapónicos como señal de descomposición orgánica o acumulación de residuos. Aunque requiere una calibración inicial y tratamiento digital de los datos para mejorar su precisión, su integración con el ESP32 es sencilla *Tabla 12*. Este sensor permite automatizar respuestas ante niveles peligrosos de amoníaco, como el recambio de agua o la activación de sistemas de filtración.

Figura 16*Módulo sensor de amoníaco MQ-137.***Nota.** Sensor de gas especialmente diseñado para detectar gases como (NH₃)(CO) recuperado de (MÓDULO SENSOR DE AMONÍACO).

Tabla 12

Características sensor de NH₃ de gas amoníaco MQ-137.

Sensor	Tipo de señal	Compatibilidad con ESP32	Alimentación	Rango de medición	Precisión
MQ-137	Analógica (~0.1–2.5 V)	Sí	5 V	~5 – 200 ppm	Variable

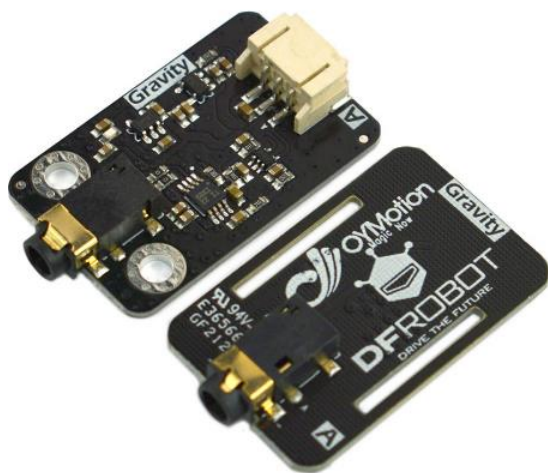
Nota. Tabla elaborada por el autor del trabajo (2025).

Sensor de Nitritos

El sensor SEN0240 *Figura 17* de tipo electroquímico, detecta concentraciones de nitrito, un compuesto altamente tóxico derivado del amoníaco. Gracias a su señal analógica, puede conectarse directamente al ESP32, lo que facilita la lectura constante de esta variable *Tabla 13*. Su precisión y fiabilidad lo convierten en un componente clave dentro de un sistema automatizado, ya que permite activar medidas correctivas inmediatas ante niveles que puedan poner en riesgo la salud de los peces.

Figura 17

Sensor de Nitritos



Nota. Sensor de Nitritos imagen recuperada de (SEN0240 de DFRobot).

Tabla 13

Características del sensor SEN0240

Sensor	Tipo de señal	Compatibilidad con ESP32	Alimentación	Rango de medición	Precisión
DFRobot SEN0240	Analógica (0–3.0 V)	Sí (mejor con amplificador)	5 V	0 – 100 mg/L	±2.5%

Nota. Tabla elaborada por el autor del trabajo (2025).

Sensor de Nitratos

Este sensor profesional de nitratos emplea una señal de corriente estándar de 4–20 Ma *Figura 18*, que se puede convertir fácilmente en voltaje para ser leída por el ESP32 usando una resistencia. Es una solución robusta y precisa para detectar la acumulación de nitratos en el sistema, lo cual es importante para prevenir estrés en los peces y mantener el equilibrio biológico. Su capacidad para funcionar de forma continua y precisa lo hace ideal para sistemas automatizados que necesitan controlar la calidad del agua de forma constante y confiable *Tabla 14*.

Figura 18

AO-500-16 Sensor de Iones de Nitrato



Nota. Sensor de Nitratos imagen recuperada de (AO-500-16 Sensor de Iones de Nitrato (NO₃-)).

Tabla 14*Características del sensor AO-500-16*

Sensor	Tipo de señal	Compatibilidad con ESP32	Alimentación	Rango de medición	Precisión
AO-500-16 (4–20 mA a 1–5 V)	Analógica (via resistencia)	Sí (con resistencia de 250 Ω)	12 V – 24 V DC	0.1 – 1000 ppm	$\pm 2.5\%$

Nota. Tabla elaborada por el autor del trabajo (2025).

Selección de actuadores

La selección adecuada de los actuadores en un sistema automatizado de acuaponía requiere el análisis de diversos parámetros técnicos que aseguren su correcto funcionamiento y adaptación al entorno operativo, entre los aspectos más relevantes se encuentra la potencia de operación, que debe ser suficiente para activar válvulas, bombas o sistemas de dosificación sin sobrecargar el sistema eléctrico es fundamental evaluar el voltaje y corriente nominal de trabajo, así como la señal de control requerida (Portilla et al., 2021). Otros parámetros clave incluyen la velocidad de respuesta, la frecuencia de operación, y la resistencia a la humedad o a la corrosión, dado que el entorno acuático representa un desafío adicional para la durabilidad de los componentes.

Bomba sumergible

Para garantizar una circulación eficiente del agua en el sistema acuapónico, se seleccionó una bomba sumergible con una capacidad mínima de 20 000 litros por hora, dado que es necesario que todo el volumen de agua de la piscina recircule continuamente a través del sistema. En este contexto, el consumo energético se vuelve un factor determinante, ya que debe asegurar eficiencia operativa en sistemas de mediana a gran escala.

La bomba seleccionada destaca por su diseño compacto, funcionamiento silencioso y alta durabilidad, cualidades fundamentales para mantener un flujo hidráulico constante que favorezca la adecuada distribución de oxígeno disuelto y nutrientes entre los módulos de cultivo y el tanque de peces **Figura 19**. Su naturaleza sumergible permite además una instalación directa y segura dentro del reservorio, optimizando el espacio disponible. Para satisfacer el caudal requerido de 20 180 L/h, esta bomba representa una solución adecuada tanto desde el punto de vista técnico como energético **Tabla 15**.

Figura 19

Bomba sumergible Hsbao FP-20000 Econ Lake Jumbo



Nota. Bomba seleccionada para el sistema acuapónico recuperado de (Bomba Hsbao).

Tabla 15

Características de la bomba seleccionada.

Modelo	Tipo de señal / control	Compatibilidad con ESP32	Alimentación	Caudal máx	Altura máx (head)	Consumo
Hsbao FP-20000 Econ Lake Jumbo	Analógica (control por voltaje/variador externo o manual)	Parcial (mediante relé o variador con control PWM o relé ON/OFF)	110 V – 127 V AC (±10%)	20 000 L/h (≈333 L/min)	4.5 – 7 metros	150 W (máx)

Nota. Tabla elaborada por el autor del trabajo (2025).

Aireador

La elección de un buen aireador es fundamental en sistemas acuapónicos, ya que de ello depende el suministro adecuado de oxígeno disuelto, un elemento vital para la supervivencia de los peces y el funcionamiento eficiente del biofiltro. Un equipo mal dimensionado puede generar deficiencias en la oxigenación, lo que compromete el crecimiento de la biomasa y el equilibrio biológico del sistema.

En este caso, se optó por una bomba regenerativa tipo blower debido a su capacidad para proporcionar un caudal constante de aire, presión suficiente para vencer la columna de agua y aire limpio sin contaminantes, tal como se sugiere en estudios sobre aireación en piscicultura realizados en Ecuador (Lenin et al., n.d.). Según (Yadav et al., 2024) se recomienda 1 LPM de aire por cada 10 litros de agua para sistemas de engorde con alta carga de biomasa en sistemas a acuicultura.

$$\text{LPM} = \frac{\text{Volumen del sistema}}{\text{Litros por cada 1 L de aire}} \quad (3)$$

$$\text{LPM} = \frac{20227.5 \text{ L}}{10 \text{ L}}$$

$$\text{LPM} = 2022.75 \text{ LPM}$$

La elección de una bomba de aire adecuada en un sistema acuapónico intensivo no solo cumple la función de oxigenar el agua, sino que es fundamental para mantener niveles óptimos de oxígeno disuelto (OD), especialmente superiores a 5 mg/L, requeridos por especies como la Tilapia roja para garantizar su salud y crecimiento. Un caudal estimado de 1 LPM por cada 10 litros de agua ha demostrado ser una referencia práctica efectiva, ya que no solo satisface la demanda metabólica de los peces, sino que también asegura el suministro de oxígeno al biofiltro aeróbico, promoviendo una nitrificación eficiente.

Este flujo de aire favorece la mezcla homogénea del sistema *Figura 21*, evitando zonas muertas y acumulación de residuos, y permite reutilizar el aire en otros componentes del sistema, como tanques secundarios o cámaras de biofiltración, optimizando así el rendimiento energético y funcional del sistema acuapónico en su conjunto *Tabla 16*.

Figura 20

Blower 2RB 110-7HA21



Nota. Aireador seleccionado para el diseño acuapónico recuperado de (Blower Aeration).

Tabla 16

Características del Blower

Modelo	Tipo de señal / control	Compatibilidad con ESP32	Alimentación	Caudal máximo	Presión máx. (head)	Consumo
Blower 2RB 220-7HA21	Analógica / control externo (encendido ON/OFF con relé trifásico)	Compatible con ESP32	220 V – 127 V AC (±10%)	2 500 LPM (≈150 000 L /h)	~250–270 mba r (≈2.5–2.7 m)	1.1 HP (≈820 W)

Nota. Tabla elaborada por el autor del trabajo (2025).

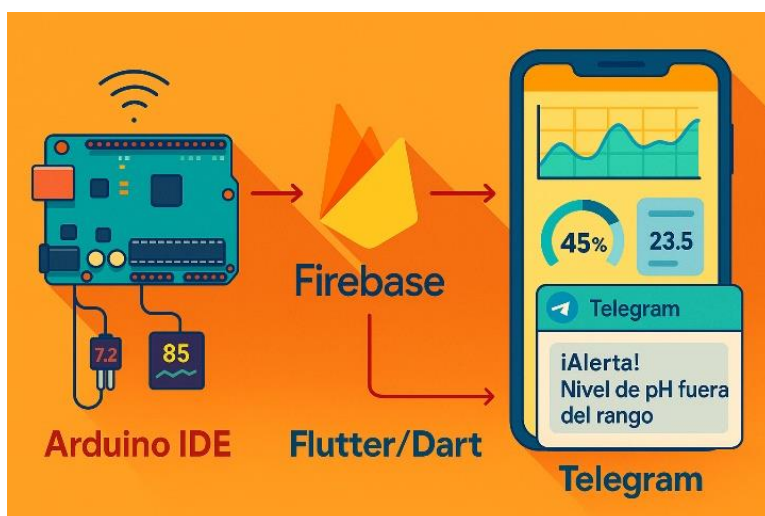
Se seleccionó el blower regenerativo de doble etapa 1.1 HP que proporciona un caudal estimado superior a 2500 LPM, cubriendo con margen el requerimiento de 2 022 LPM (superando con 19.12 % de lo necesario). Esta solución no solo asegura niveles mínimos de oxígeno disuelto (≥ 5 mg/L), sino que también soporta la aeración del biofiltro y la circulación homogénea del agua. Sus accesorios incluyen filtro, válvula de alivio y silenciador, y es compatible con control digital a través de ESP32 mediante relé trifásico.

Selección del dashboard.

Como parte del desarrollo del sistema acuapónico, se utilizará Arduino IDE para programar el ESP32, encargado de leer y enviar datos de los sensores. Esto permitirá implementar un monitoreo remoto de parámetros críticos como pH y oxígeno disuelto, automatizando procesos y reduciendo la intervención manual. Además, se integrará un sistema de alertas por Telegram para notificar desviaciones **Figura 21**. Para mejorar la experiencia del usuario, se desarrollará un dashboard en Flutter/Dart con Firebase como backend, que mostrará en tiempo real el estado del sistema y sus variables principales.

Figura 21

Imagen representativa de la interacción entre las diferentes aplicaciones.



Nota. Representación visual de la relación para el dashboard imagen realizada por el autor (2025).

Arduino IDE es una plataforma de desarrollo esencial para programar microcontroladores como el ESP32, permitiendo escribir, compilar y cargar código que gestiona la lectura de sensores y el control de actuadores. Su entorno amigable y su amplia compatibilidad con bibliotecas de comunicación facilita la recolección de datos en tiempo real. Esta herramienta es clave en proyectos de automatización, ya que actúa como el punto de partida para conectar el hardware físico con sistemas de monitoreo avanzados como dashboards personalizados (Shakirov et al., 2022).

Firebase, como plataforma en la nube desarrollada por Google, proporciona servicios como bases de datos en tiempo real, autenticación y alojamiento web, lo que lo convierte en un recurso ideal para integrar datos provenientes de dispositivos IoT. Al conectar Firebase con el microcontrolador programado en Arduino IDE, se logra una transferencia inmediata de datos hacia la nube, permitiendo que estos sean almacenados, consultados o enviados a aplicaciones móviles o web, facilitando así el monitoreo remoto y la toma de decisiones automatizada (Chougale et al., 2021).

Flutter es un framework de desarrollo de interfaces gráficas que, junto con el lenguaje Dart, permite crear aplicaciones móviles y web modernas, eficientes y visualmente atractivas. Su capacidad para conectarse directamente con servicios como Firebase lo hace perfecto para visualizar los datos provenientes del sistema IoT. Gracias a (Bhagat et al., 2022) se pueden construir dashboards interactivos que presenten de manera clara variables críticas como temperatura, pH u oxígeno disuelto, mejorando la experiencia del usuario en tiempo real y fortaleciendo la automatización del sistema.

Se tiene previsto integrar la plataforma Telegram como medio de alerta en el sistema acuapónico, con el fin de notificar al usuario cuando las variables monitoreadas se desvíen de los valores establecidos. Esta herramienta permitirá una comunicación inmediata y eficiente

entre el sistema y el operador, sin necesidad de supervisión física constante. A través del microcontrolador ESP32 y el uso de Firebase como puente de datos, se desarrollará una funcionalidad que enviará mensajes automáticos a una cuenta o grupo de Telegram previamente configurado.

Esta integración busca optimizar la respuesta ante posibles fallos o alteraciones en parámetros como el pH, la temperatura o el nivel de oxígeno, aportando mayor seguridad y control en tiempo real (Calva, 2020).

Diseño del sistema

Para iniciar el diseño del sistema de conducción de agua en el sistema acuapónico, es fundamental seleccionar adecuadamente el tipo y el diámetro de la tubería a utilizar. Esta decisión debe estar respaldada por cálculos hidráulicos que tomen en cuenta el caudal de trabajo requerido, el cual depende directamente de la capacidad de la bomba seleccionada. Según se indica en la **Tabla 15** la bomba tiene una capacidad de 20 000 litros por hora, por lo que la tubería debe ser dimensionada para transportar eficientemente.

Caudal en litros/ segundos:

$$20000 \frac{L}{h} \times \frac{1}{60} \frac{h}{min} \times \frac{1}{60} \frac{min}{s} = 5.56 L/S$$

Comparamos el caudal con las diferentes tuberías para seleccionar la más adecuada.

Variables:

V = velocidad

Q = caudal

A = área de la tubería

$$v = \frac{Q}{A} \tag{4}$$

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi * D^2}{4}}$$

Aplicamos la formula en los siguientes diámetros de tuberías para encontrar su velocidad **Tabla 17**.

Tabla 17

Relación entre el diámetro de una tubería con su velocidad.

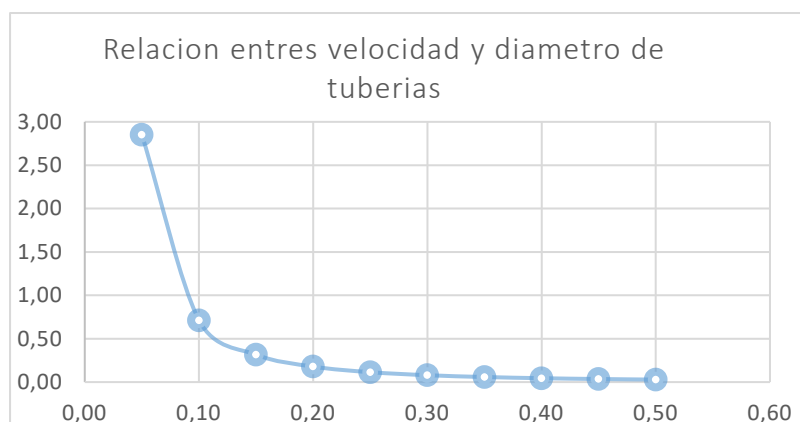
Diámetro (m)	Velocidad (m/s)	Área (m²)
0.05	2.85	0.00196
0.10	0.71	0.00785
0.15	0.32	0.01767
0.20	0.18	0.03142
0.25	0.11	0.04909
0.30	0.08	0.07068
0.35	0.06	0.09621
0.40	0.04	0.12566
0.45	0.04	0.15904
0.50	0.03	0.19635

Nota. Tabla comparativa de velocidad metros/segundos - diámetro del tubo en metros para elección de tubería en el sistema acuapónica.

Según (Alejandro et al., 2023) en sistemas por gravedad, una velocidad ideal está entre 0.3 a 0.6 m/s, así que, según tu tabla los diámetros entre 0.10 m y 0.20 m (4 a 8 pulgadas) serían adecuados para no tener velocidades muy altas **Figura 22**.

Figura 22

Relación entre velocidad y área de tuberías.



Nota. Esta figura representa la relación que existe entre velocidad y el área de la tubería, realizada por el autor.

Modelado del sistema físico

En un sistema acuapónico, el **filtro de sólidos** *Figura 23* desempeña un papel fundamental al retener los desechos físicos provenientes de la alimentación de los peces y del material orgánico en descomposición. Una correcta instalación y operación de este componente evita la acumulación de partículas que podrían obstruir las camas de cultivo, reducir el flujo de agua y generar zonas con deficiencia de oxígeno.

Al mantener una mayor transparencia en el agua, se favorece la acción de microorganismos benéficos y se garantiza un entorno más estable tanto para las plantas como para los peces, convirtiéndose así en un elemento clave para la eficiencia y sostenibilidad del sistema acuapónico (Chaverra, 2022).

En este proyecto se contempla la implementación de un filtro mecánico como etapa inicial de tratamiento, destinado a remover los sólidos en suspensión. Para ello, se utilizará una malla tipo sarán que permitirá retener de manera efectiva los sólidos, evitando la acumulación de materia orgánica en el circuito hidráulico de esta manera se previenen

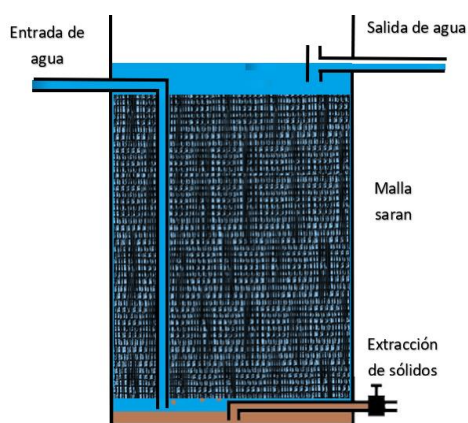
obstrucciones en las camas de cultivo y se mantiene una adecuada oxigenación en la zona radicular de las plantas.

Se incorporará un sistema de desfogue que permitirá retirar periódicamente el lodo sedimentado en la parte inferior del filtro, garantizando así su correcto funcionamiento y prolongando la vida útil de los demás componentes del sistema, para la parte de tubería hidráulica se consideró el uso de tubos de 4 pulgadas identificado en **Figura 22**.

También es necesario incorporar una conexión en Tee en la salida del agua, especialmente en sistemas por gravedad, ya que esta configuración permite evitar que residuos flotantes como restos de alimento, materia vegetal o grasas se desplacen hacia otras partes del sistema. Al instalar la Tee de forma vertical, el flujo principal del agua se toma desde una zona inferior del tanque o compartimento, lo que permite que las partículas en suspensión en la superficie queden retenidas. Esto mejora la calidad del agua, reduce el riesgo de obstrucciones en tuberías o válvulas, y contribuye a mantener la eficiencia y continuidad del sistema acuapónico.

Figura 23

Funcionamiento del tanque de filtración.



Nota. Representación visual del funcionamiento del tanque de filtración para comprensión del lector. Elaborado por el investigador, 2025.

Para el dimensionamiento de tanque donde se realizará la filtración de sólidos se recomienda el 5% a 10% del volumen total de agua dándonos como resultado:


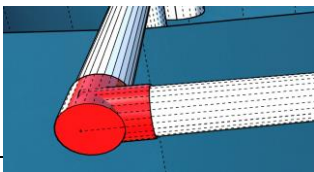
$$\text{litros de la piscina} \times 5\% =$$

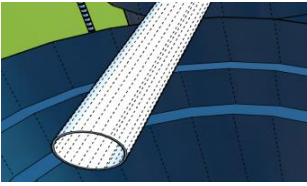
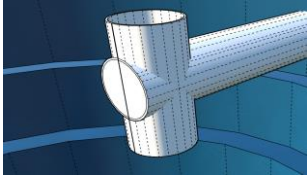
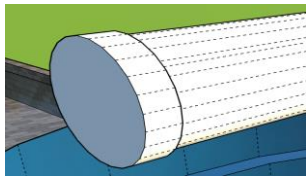
$$20227.50 \text{ litros} \times 0.05 = \mathbf{1011.38 \text{ litros}}$$

Una vez definido el diseño del sistema y determinada la capacidad de producción requerida, se procede a la identificación de los materiales necesarios para su construcción. Este paso es esencial para garantizar la funcionalidad, durabilidad *Tabla 18*.

Tabla 18

Tabla de materiales de tanque de filtración.

Material	Especificaciones	Cantidad	Precio unitario	Precio general
	Malla Sarán por Rollo de 4 x 100m al 50 %	\$ 1,00	\$ 240,00	\$ 240,00
	Tanque apilable estándar de 1000 Lts. Con kit 1/2	\$ 1,00	\$ 198,73	\$ 198,73
	Tubo PVC Roscable 6 metros 1"	\$ 1,00	\$ 27,02	\$ 27,02
	Codo roscable hembra de 1 pulgada en 90 grados	\$ 3,00	\$ 1,59	\$ 4,77

	Tubo pvc plastigama 4 pul 110mm x 3 m	\$ 1,00	\$ 11,89	\$ 11,89
	Tee para desagüe de 110 mm de PVC	\$ 1,00	\$ 5,25	\$ 5,25
	Tapón para desagüe de 110 mm de PVC	\$ 1,00	\$ 1,20	\$ 1,20
PRECIO				\$ 488,86

Nota. En la imagen se visualiza los diferentes materiales y la cantidad que se utilizó.

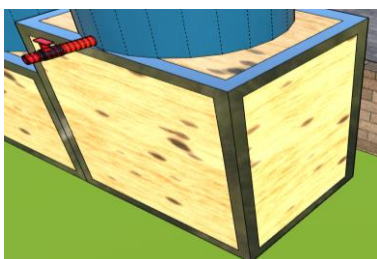
Para el armado del tanque de filtración el cual constituye una parte esencial dentro del proceso de depuración del agua en el sistema acuapónico, se diseñó una estructura que permitiera la retención eficiente de los sólidos suspendidos derivados principalmente de los desechos generados por los peces y materia orgánica en descomposición, el tanque fue construido con materiales resistentes y de fácil acceso, priorizando la durabilidad y funcionalidad del sistema *Tabla 19*.

Se dispuso una tubería de ingreso conectada directamente a la salida de la bomba principal, permitiendo una alimentación continua del flujo. En la parte inferior del tanque se incorporó una tubería de salida que facilita la extracción de los sólidos sedimentados, os cuales pueden ser recolectados y aprovechados posteriormente como compost o fertilizante orgánico, cerrando así el ciclo de nutrientes dentro del sistema.

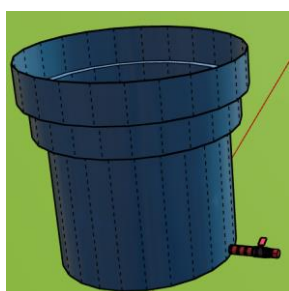
Tabla 19

Proceso para el armado del tanque de filtración.

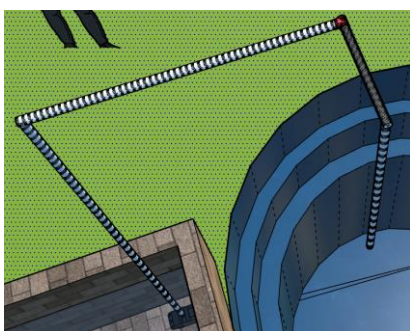
Armado de tanque de filtración



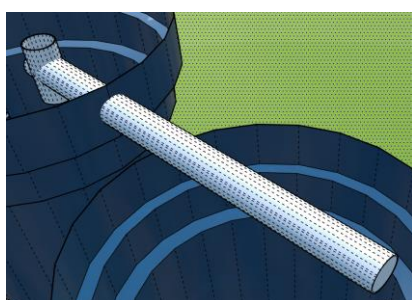
El armado del tanque para la extracción de sólidos comienza con la preparación de una estructura resistente, utilizando perfiles metálicos que aseguren la estabilidad y soporte del volumen de agua que tiene una altura de 1,30 m y con 1,30 por lado



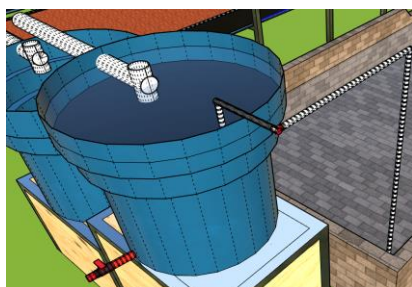
Armado del Tanque para la extracción de sólidos



Se instala una tubería de 1 pulgada de diámetro desde la salida de la bomba hasta el interior del tanque de extracción de sólidos. Esta tubería funciona como línea de ingreso de agua al sistema y debe fijarse firmemente para evitar fugas o desplazamientos. La entrada se posiciona estratégicamente para favorecer el flujo de agua y la sedimentación de los sólidos en el fondo del tanque.



Se instala una tubería de salida equipada con una conexión tipo Tee, en cuya sección inferior se practican pequeños orificios distribuidos de forma uniforme. Esta configuración permite un flujo de caída en forma de goteo, facilitando la transferencia gradual del agua hacia el siguiente filtro del sistema y favoreciendo así una filtración progresiva y eficiente.



Una vez realizados los pasos anteriores, se procede a colocar la malla sarán como capa final, completando así el armado del tanque de filtración.

Nota. En la imagen se visualiza el proceso de montaje del tanque de filtración.

El dimensionamiento de las **camas de cultivo** en un sistema acuapónico resulta un proceso esencial para garantizar el equilibrio funcional entre la producción vegetal y la actividad biológica generada por los peces. Un cálculo correcto permite determinar la superficie y profundidad necesarias para que las plantas absorban de manera eficiente los nutrientes provenientes de los desechos metabólicos, asegurando así la adecuada biofiltración y la depuración del agua antes de su retorno al tanque de cultivo.

En el manual técnico (Somerville) el cual es utilizado a nivel mundial como guía de diseño, se indica que la superficie de cultivo se puede dimensionar considerando aproximadamente 1 m² de cama de cultivo por cada 60–100 g de alimento suministrado al día, con una altura de 30 cm para garantizar la absorción de los nutrientes.

Para el cálculo del dimensionamiento de las camas de cultivo, se determinó que la relación más adecuada para el sistema acuapónico es de 1 m² de cama de cultivo por cada 80 gr de alimento suministrado diariamente. Con base en la presentada previamente, se obtuvo el promedio de consumo correspondiente a la etapa de engorde, lo que permitió establecer un requerimiento de 6050 gr de alimento por día para la población considerada.

$$\text{Dimensionamiento de las camas de cultivo} = \frac{\text{alimento suministrado día (gr)}}{\text{cama de cultivo por cada 80 (gr/m}^2\text{)}} \quad (5)$$

$$\frac{6050 \text{ gr}}{80 \text{ gr/m}^2} = 75,63 \text{ m}^2$$

Una vez identificada el área total destinada a las camas de cultivo, se procede al cálculo del volumen de grava requerido. En este caso, se utilizará piedra volcánica como sustrato, debido a su ligereza y propiedades filtrantes, con una densidad aproximada de 700 kg/m³. El diseño contempla una altura de sustrato de 0.30 metros. Este cálculo es esencial para asegurar un llenado adecuado de las camas, proporcionando un buen soporte físico para las plantas y favoreciendo un flujo eficiente del agua dentro del sistema acuapónico.

$$V = \text{Área} \times \text{Profundidad} \quad (6)$$

$$V = 75.63 \text{ m}^2 \times 0.30 \text{ m}$$

$$V = 22.69 \text{ m}^3$$

Con base en el volumen de grava calculado para cada cama de cultivo, se estima el peso total que soportará la estructura. Este valor es fundamental para proceder con el diseño estructural, asegurando que los materiales y soportes seleccionados resistan adecuadamente la carga generada por la piedra volcánica húmeda, el agua y el peso del cultivo.

$$\text{Peso que soportara} = V \times \text{Densidad de la piedra volcánica} \quad (7)$$

$$\text{Peso que soportara} = 22.69 \text{ m}^3 \times 700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Peso que soportara} = 15883 \text{ kg}$$

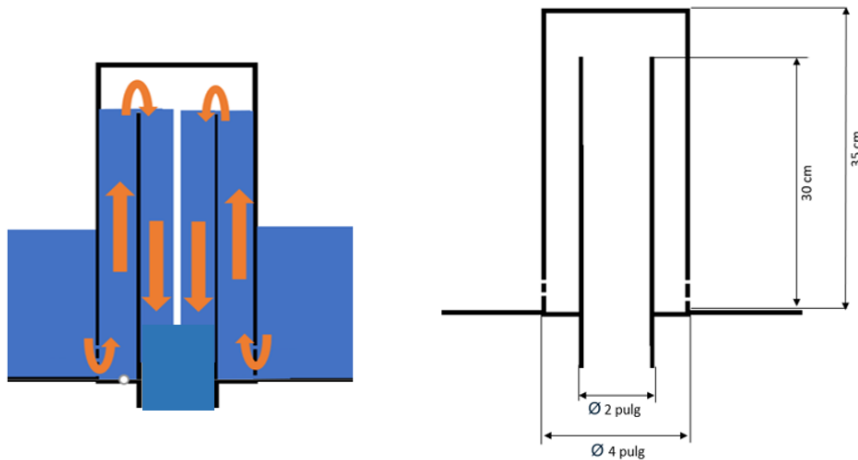
$$\text{Peso por cama} = 15883 \text{ kg}/3$$

$$\text{Peso por cama} = 5294.33 \text{ kg}$$

Para el diseño de las camas de cultivo se definieron dimensiones de 12,5 metros de largo por 2 metros de ancho, distribuidas en ocho unidades con una separación de 1,5 metros entre cada una. El ancho de 2 metros fue considerado adecuado, ya que permite un acceso cómodo para las labores de plantado y mantenimiento de los vegetales. Además, se decidió ubicar el sifón en el extremo opuesto al punto de ingreso del agua, con el fin de garantizar una circulación uniforme y eficiente a lo largo de toda la cama, mejorando así la oxigenación y evitando zonas muertas dentro del sistema.

Figura 24

Representación del sistema de sifón.



Nota. Identificación de las medidas que se van a implementar y su funcionamiento.

El sistema de sifón campana representado en la **Figura 24** cumple una función clave en la regulación del flujo intermitente dentro del lecho de cultivo acuapónico. Este mecanismo está compuesto por una tubería central de 2 pulgadas de diámetro y 30 cm de altura, encargada de evacuar el agua una vez alcanzado un nivel determinado. Dicha tubería se encuentra encapsulada por una campana externa de 4 pulgadas de diámetro y 35 cm de altura, la cual permite crear una diferencia de presión que activa el efecto sifón.

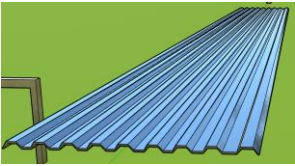
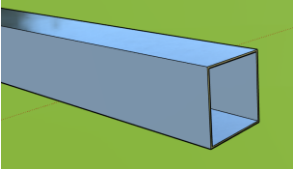
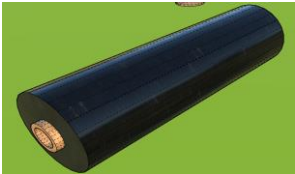
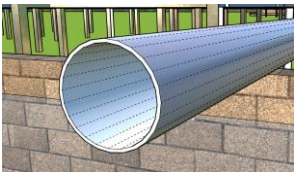


Esta configuración asegura un llenado progresivo y un vaciado rápido y completo del lecho, favoreciendo la oxigenación de las raíces y evitando zonas de anegamiento que podrían perjudicar el desarrollo de las plantas. La elección precisa de estas medidas permite optimizar el rendimiento del sistema, garantizando su funcionalidad hidráulica y la eficiencia en el ciclo de recirculación del agua dentro del sistema acuapónico.

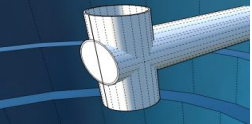

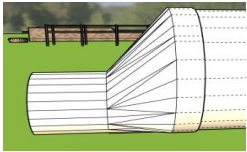

Una vez definido el diseño estructural del sistema acuapónico y establecida la capacidad productiva esperada, se procede a la identificación y selección de los materiales que conformarán las camas de cultivo **Tabla 20**, las camas deben construirse con materiales

resistentes a la humedad y a la corrosión, capaces de soportar el peso del sustrato, el agua y las plantas.

Tabla 20

Tabla de materiales para las camas de cultivos.

Material	Especificaciones	Cantidad x cama de cultivo %	Para 3 camas de cultivo	Precio unitario	Precio general
	Duratecho Pus 1,10 m x 0,25 mm x 6 m	4,8	15,00	\$ 28,67	\$ 430,05
	Tubo cuadrado de 75 mm x 2 mm x 6 m	11,5	35,00	\$ 33,50	\$ 1.172,50
	Tubo negro redondo de 1/2 pulg x 0,75 mm x 6 m	5	15,00	\$ 12,50	\$ 187,50
	Geomembrana EPDM m ²	58	174,00	\$ 9,00	\$ 1.566,00
	Cemento de contacto LLAMA ROJA	1,00	3,00	\$ 26,32	\$ 78,96
	Tubo pvc plastigama 4 pul 110mm x 3 m	4	4	\$ 11,89	\$ 47,56
	Tubo plastigama 2 pulg x 3 m	1	1	\$ 4,83	\$ 4,83

	Tee para desagüe de 110 mm de PVC	1	3	\$ 5,25	\$ 15,75
	Reductor para desagüe de 4 pulg a 2 pulg	1	3	\$ 3,25	\$ 9,75
	Soldadura para Tubos PVC Kalipega 946cc Plastigama	0,333	1	\$ 17,99	\$ 17,99
	Grava x kg	1764,78	5294,33	\$ 0,24	\$ 1.270,64
PRECIO TOTAL					\$ 4.801,53

Nota. En la imagen se visualiza los diferentes materiales y la cantidad que se utilizaran.

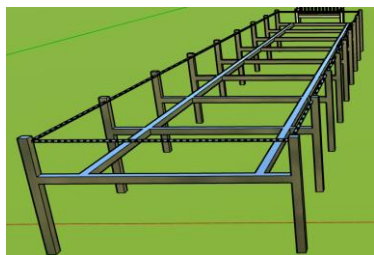
La construcción de las camas de cultivo constituye un componente fundamental en el desarrollo del sistema acuapónico, ya que sobre ellas se establecerán las plantas y se integrarán elementos clave para la filtración biológica **Tabla 21**. Este proceso requiere una planificación precisa y el uso de materiales adecuados que garanticen resistencia, impermeabilidad y un flujo de agua eficiente.

El diseño estructural debe considerar tanto la estabilidad física como la funcionalidad hidráulica, a continuación, se describen las etapas del armado, desde la instalación de la estructura metálica hasta la colocación del sustrato filtrante, con el propósito de asegurar condiciones óptimas para el desarrollo vegetal y el equilibrio del ecosistema acuapónico.

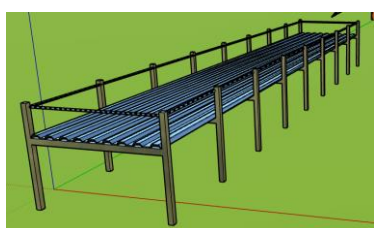
Tabla 21

Proceso para el armado de las camas de cultivo.

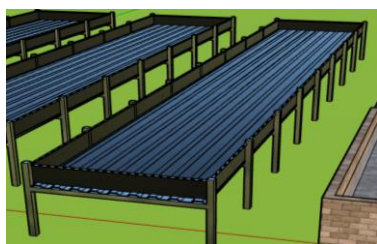
Armado de cama de cultivo



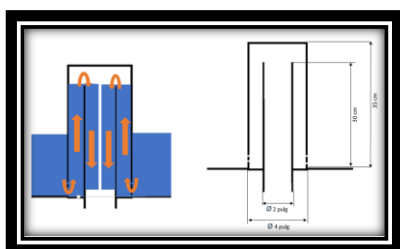
Realizamos el armado de la estructura. Para ello, se utilizan perfiles metálicos tubulares soldados, asegurando la resistencia necesaria para soportar el peso del sustrato, el agua y el cultivo. La estructura se nivela cuidadosamente para garantizar un flujo de agua uniforme y se refuerzan los puntos críticos de carga. Finalmente, se verifica la alineación de las camas y se prepara la base.



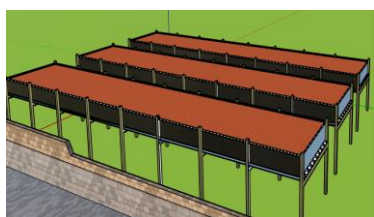
Como base para cada cama de cultivo, se procede a colocar planchas de sing duratecho sobre la estructura metálica previamente armada. Este material proporciona una superficie resistente, ligera y duradera, que actúa como soporte para el revestimiento impermeable y el sustrato. Las planchas se fijan firmemente a la estructura para evitar desplazamientos y asegurar la estabilidad durante la operación del sistema.



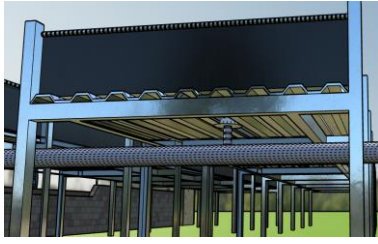
Una vez instalada la base de sing duratecho, se procede a colocar el revestimiento impermeable utilizando plástico tipo piolet. Este se extiende sobre la base y se fija a los tubos superiores que actúan como baranda, utilizando calor con una llama roja para lograr una correcta adherencia. Dado que el ancho del plástico es de 2 metros, es necesario unir dos secciones mediante termofusión para cubrir los 4 metros totales requeridos, garantizando así la impermeabilización completa de las camas donde se colocará la grava.



Se procede a la instalación del sifón tipo campana a una distancia de 75 cm del extremo final de cada cama de cultivo, centrado en el eje del ancho (1 metro desde cada lateral), de acuerdo con las dimensiones previamente establecidas (12,5 m x 2 m). Esta ubicación estratégica permite una evacuación eficiente del agua, favoreciendo la circulación completa a lo largo de la cama y evitando acumulaciones o zonas de estancamiento.



Después de instalar el sifón, se procede a colocar una reducción de 4 a 2 pulgadas en la salida, lo cual permite adaptar el caudal al sistema de retorno. A continuación, se instala una conexión tipo Tee que une esta salida con la tubería principal encargada de devolver el agua a la piscina, asegurando así la continuidad del flujo dentro del sistema acuapónico.



Una vez verificado que la estructura no presenta fugas, y que el sifón ha sido correctamente instalado y funciona de manera adecuada, se procede a la colocación del sustrato. En este caso, se utiliza grava (piedra volcánica) la cual se distribuye uniformemente sobre el plástico impermeabilizante. Esta capa actúa como medio de soporte para las plantas y como parte activa del sistema de filtración biológica.

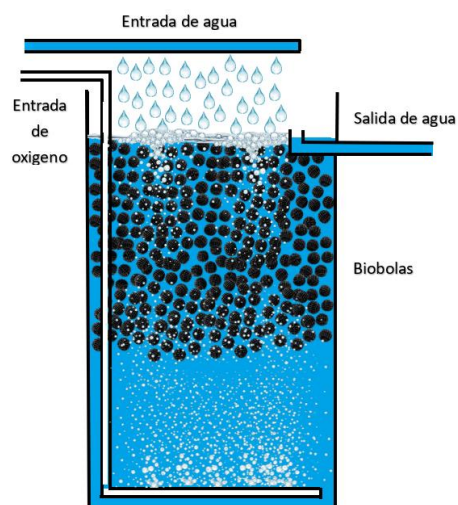
Nota. En la imagen se visualiza el proceso de montaje de las camas de cultivo.

El **biofiltro** es un elemento esencial dentro de un sistema acuapónico porque permite el tratamiento biológico del agua antes de que regrese a las camas de cultivo **Figura 25**, este componente se alojan comunidades de bacterias nitrificantes encargadas de transformar el amoníaco excretado por los peces en nitritos y, posteriormente, en nitratos, una forma de nitrógeno que las plantas pueden aprovechar como nutriente.

Gracias a este proceso, se reducen los compuestos tóxicos que podrían afectar la salud de los peces y se mantiene un equilibrio químico adecuado para el desarrollo vegetal. Su implementación garantiza la estabilidad del sistema, favorece el crecimiento saludable de los cultivos y mejora la eficiencia productiva de la unidad acuapónica (Serrano, 2022).

Figura 25

Representación del funcionamiento del biofiltro.



Nota. Visualización del funcionamiento del biofiltro realizado por el autor.

Para dimensionar correctamente un biofiltro en un sistema acuapónico, es esencial conocer la cantidad de amoníaco que se genera diariamente, la cual depende principalmente de la biomasa de peces y de su tasa de alimentación. Se estima que entre el 25% y 30% del nitrógeno total excretado por los peces se libera en forma de amoníaco, lo que establece la carga nitrogenada que el biofiltro debe transformar para mantener la calidad del agua.

Aunque las camas de cultivo actúan como filtros biológicos naturales, se ha considerado la incorporación de un biofiltro adicional. Esto se justifica por posibles fluctuaciones en la carga orgánica del sistema, y el biofiltro complementario contribuirá a estabilizar el proceso de nitrificación, asegurando un ambiente óptimo para los organismos acuáticos.

Factores:

La ración de alimento suministrada 5340 g obtenido **Tabla 8**

Proteína que contiene el alimento (30%) obtenido **Anexo B**

El contenido proteico del mismo (16%).

Nitrogeno = alimento suministrada x el contenido proteico x Proteína (8)

$$\text{Nitro total} = 5340 \text{ g} \times 0,30 \times 0.16$$

$$\text{Nitro total} = 256,32 \text{ gN}$$

El 30% de amoniaco excretado del total de nitrógeno es:

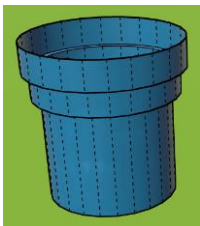



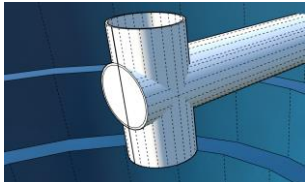
$$\text{N como amoníaco excretado} \approx 30\% = 76,90 \frac{\text{gN}}{\text{día}}$$

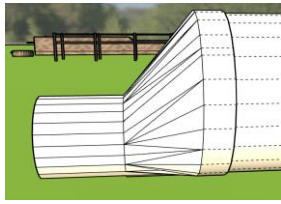
Para la implementación del biofiltro dentro del sistema acuapónico, se llevó a cabo un proceso de selección cuidadosa de los materiales necesarios, considerando tanto su funcionalidad como su durabilidad **Tabla 22**. El objetivo principal de este componente es

asegurar una filtración biológica eficiente, permitiendo el tratamiento adecuado del amoníaco producido por los peces y garantizando así la estabilidad de los parámetros del agua. Este biofiltro complementa el trabajo de las camas de cultivo, actuando como un respaldo adicional ante posibles variaciones en la carga nitrogenada del sistema.

Tabla 22

Identificación de materiales para biofiltro.

Material	Especificaciones	Cantidad	Precio unitario	Precio general
	Tanque apilable estándar de 1000 Lts. Con kit 1/2	\$ 1,00	\$ 198,73	\$ 198,73
	Tapas de botellas reciclables considerar que se cuenta con recicladas	5 kg	\$ 0,30	\$ 1,50
	Tubo pvc plastigama 4 pul 110mm x 3 m	\$ 4,00	\$ 11,89	\$ 47,56
	Tubo plastigama 2 pulg	\$ 1,00	\$ 4,83	\$ 4,83
	Tee para desagüe de 110 mm de PVC	\$ 4,00	\$ 5,25	\$ 21,00



Reductor para
desagüe de 4 pulg a
2 pulg

\$ 3,00 \$ 3,25 \$ 9,75



Difusor de
estanque grande
para burbujas al aire
libre

\$ 1,00 \$ 45,99 \$ 45,99



Manguera 3/4 por
metro

\$ 20,00 \$ 3,00 \$ 60,00

PRECIO

\$ 189,13

Nota. En la imagen se visualiza los diferentes materiales y la cantidad que se utilizaran para la elaboración del biofiltro.

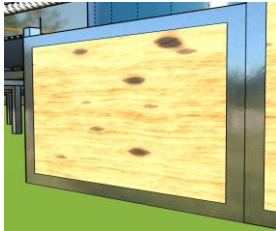
Montar un biofiltro en un sistema acuapónico es fundamental para mantener la estabilidad biológica y la calidad del agua que fluye entre los peces y las plantas, su presencia permite el establecimiento de comunidades bacterianas encargadas de transformar el amoníaco y los nitritos en nitratos, evitando así la acumulación de compuestos tóxicos que podrían afectar la salud de los organismos acuáticos *Tabla 23*. Sin este proceso, el agua se volvería rápidamente inadecuada para los peces, comprometiendo la eficiencia y sostenibilidad del sistema.

Al generar nitratos de manera natural, se proporcionan nutrientes esenciales a las plantas sin necesidad de fertilizantes artificiales, reforzando así el enfoque ecológico del modelo. Es importante destacar que este biofiltro no está diseñado para procesar toda la biomasa generada, sino que actúa como un complemento que ayuda a estabilizar el sistema en caso de fluctuaciones o variaciones inesperadas en la carga orgánica.

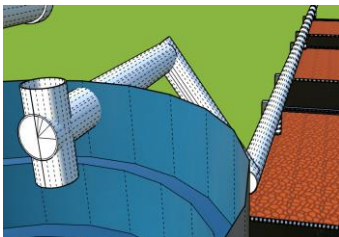
Tabla 23

Proceso para el armado del biofiltro.

Armado del biofiltro



El armado del tanque para la extracción de sólidos comienza con la preparación de una estructura resistente, utilizando perfiles metálicos que aseguren la estabilidad y soporte del volumen de agua que tiene una altura de 1,00 m y con 1,30 por lado.



Se instala una tubería de salida equipada con una conexión tipo Tee, la cual distribuye el flujo de agua hacia las diferentes camas de cultivo mediante un reductor que disminuye el diámetro de 4 a 2 pulgadas, garantizando un adecuado control del caudal en cada ramal.



Se procede a la instalación del aireador en el fondo del biofiltro, asegurando que esté centrado para garantizar una distribución homogénea del oxígeno en toda la unidad. Esta ubicación estratégica favorece la actividad de las bacterias nitrificantes, optimizando los procesos biológicos de conversión del amoníaco en nitritos y nitratos, esenciales para la salud del sistema acuapónico.



Colocar tapas plásticas recicladas dentro del tanque como medio de filtración adicional, aprovechando su capacidad para retener sólidos suspendidos. Para evitar que estas tapas salgan por la tubería de salida, se recomienda instalar una malla en el interior de la conexión tipo Tee. Esta malla actúa como barrera física, permitiendo el paso del agua, pero reteniendo el material plástico dentro del tanque.



Colocan tablas de soporte sobre los tubos estructurales para sustentar la tubería principal de distribución, la cual se encarga de repartir el agua hacia las diferentes camas de cultivo. Estas tablas proporcionan una base estable y segura, evitando el desplazamiento o deformación de la tubería, y garantizando una distribución uniforme del caudal en todo el sistema.

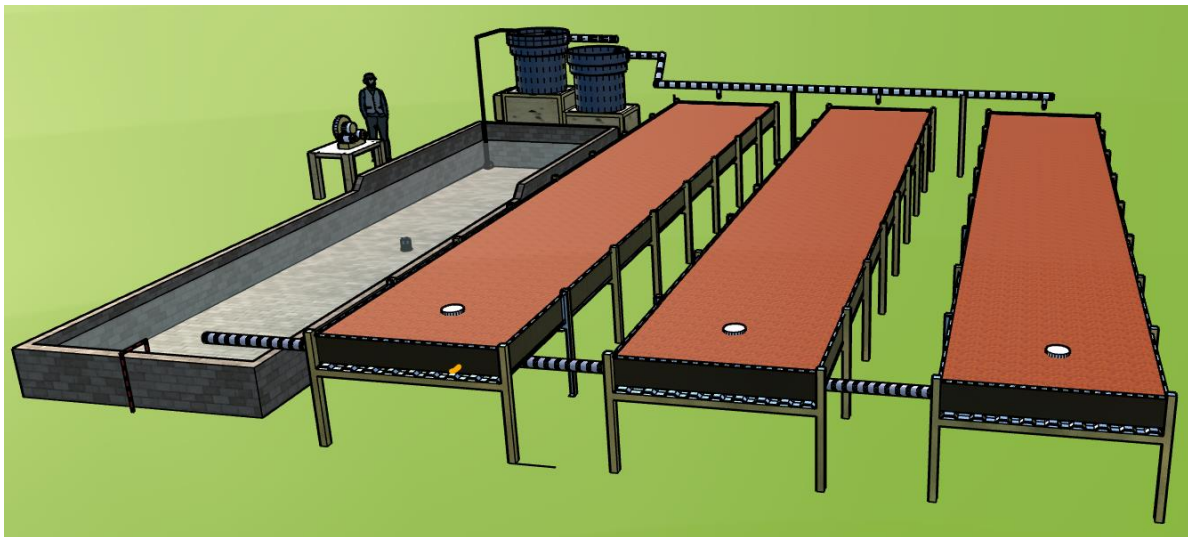
Nota. En la imagen se visualiza el proceso de montaje del biofiltro.

Se realizó el diseño **Anexo C** para proceder con el armado e instalados los diferentes componentes que conforman el sistema acuapónico incluyendo el tanque de extracción de

sólidos, los filtros, las camas de cultivo, la bomba y las tuberías de distribución y retorno, se procede a interconectarlos para conformar un sistema integral y funcional. Esta etapa asegura la circulación continua del agua, permitiendo la sinergia entre los procesos de filtración mecánica, biológica y el cultivo vegetal, consolidando así un sistema acuapónico completo y operativo como se muestra en **Figura 26**.

Figura 26

Diseño del sistema acuapónico.

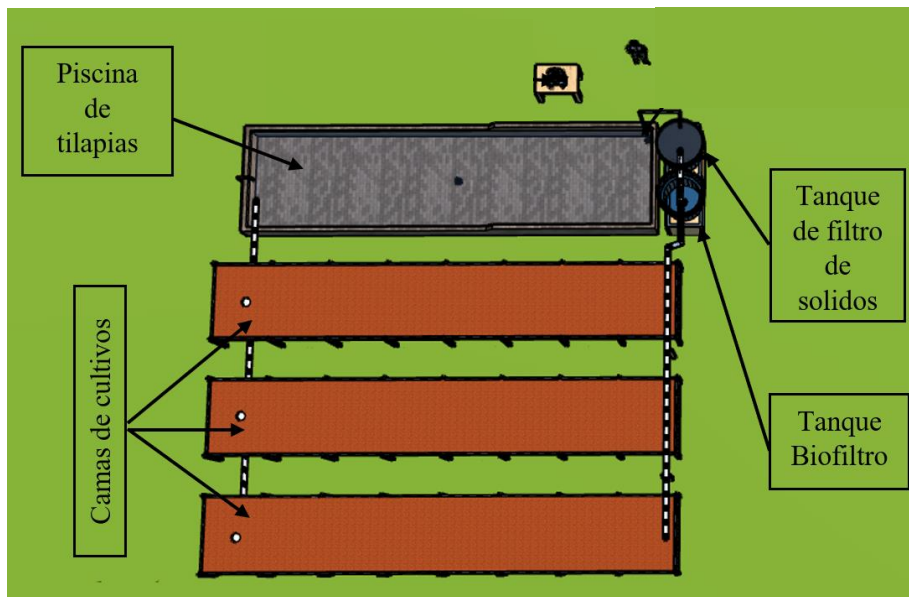


Nota. En la imagen se visualiza como quedaría el diseño final del sistema acuapónico diseñado en SketchUp, esta imagen fue realizada por el autor.

Para el diseño del sistema se consideró la altura de los filtros ya que de esta forma solo se necesitaría una bomba para elevar el agua y todo el sistema funcionaría por gravedad, otra consideración es el nivel del filtro de sólidos con respecto al biofiltro para descargar por goteo ya que es necesario tener oxigenado para supervivencia de las bacterias, con respecto a la cama de cultivos se consideró dejar un espacio de un metro entre cada una para facilitar la manipulación de los cultivos **Figura 27**, esto fue necesario para tener en cuenta el espacio necesario que se necesitara.

Figura 27

Estructura del diseño acuapónico.



Nota. En la imagen se visualiza como quedarían los diferentes componentes que conforman el sistema acuapónico diseñado en SketchUp, esta imagen fue realizada por el autor.

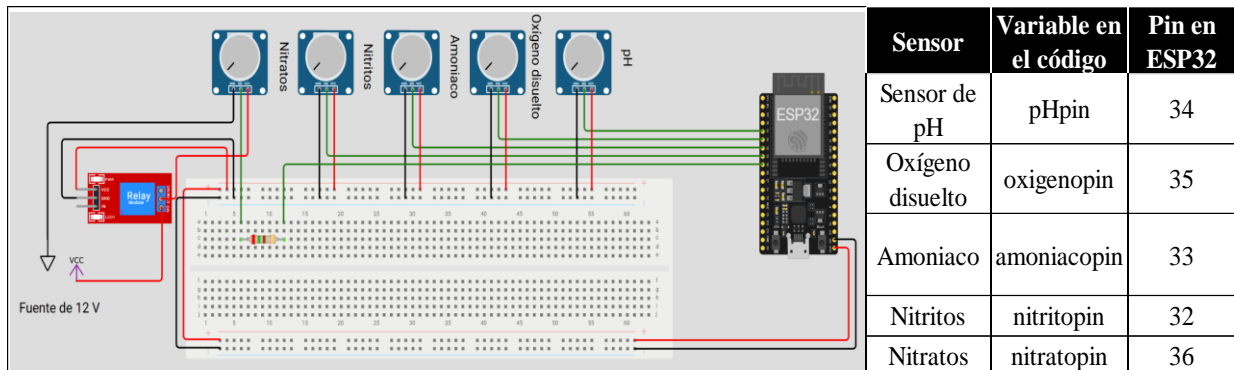
Integración de componentes electrónicos.

Durante la fase de pruebas del sistema se optó por el uso de potenciómetros como una solución práctica para simular las señales de los sensores reales. Esta estrategia permitió verificar la correcta lectura y procesamiento de datos en el prototipo del dashboard, facilitando el desarrollo y depuración del sistema sin depender de las condiciones reales del entorno acuapónico.

En particular el sensor de nitritos que requiere una alimentación específica, fue energizado mediante una batería de 12 voltios como se visualiza en **Figura 28** asegurando así su funcionamiento estable durante las pruebas. Esta configuración permitió simular distintos escenarios, validar la respuesta del sistema ante variaciones de parámetros y ajustar las alertas automáticas vía Telegram, asegurando una respuesta eficaz ante posibles eventos críticos antes de la implementación final en el sistema real.

Figura 28

Sistema eléctrico de los sensores.



Nota. En la imagen se visualiza las conexiones eléctricas que se implementaron en los diferentes sensores con su respectivo Pin, esta imagen fue realizada por el autor.

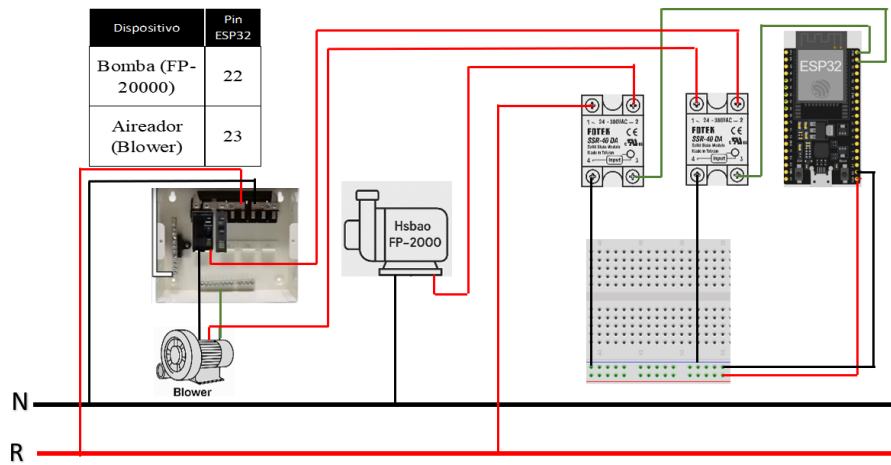
Para la integración de los actuadores se utilizo

Para el control automatizado de equipos de alta potencia dentro del sistema acupónico, como el blower modelo 2RB 220-7HA21 y la bomba Hsba0 FP-20000, se implementó relés de estado sólido (SSR) Fotek SSR-40 DA. Este dispositivo permite la conmutación de cargas en corriente alterna mediante una señal de bajo voltaje en corriente continua, lo cual lo hace totalmente compatible con la señal de salida digital del microcontrolador ESP32.

Su uso está justificado por la necesidad de manejar cargas eléctricas significativas como el blower de 820 W y la bomba de 150 W de forma segura, eficiente y sin desgaste mecánico, ya que el SSR no posee partes móviles **Figura 29**. Además, permite una respuesta rápida de encendido y apagado, ideal para integrar la operación de estos equipos dentro del sistema de automatización y monitoreo remoto, mejorando la confiabilidad operativa y reduciendo la intervención manual.

Figura 29

Diagrama de conexión para los actuadores.



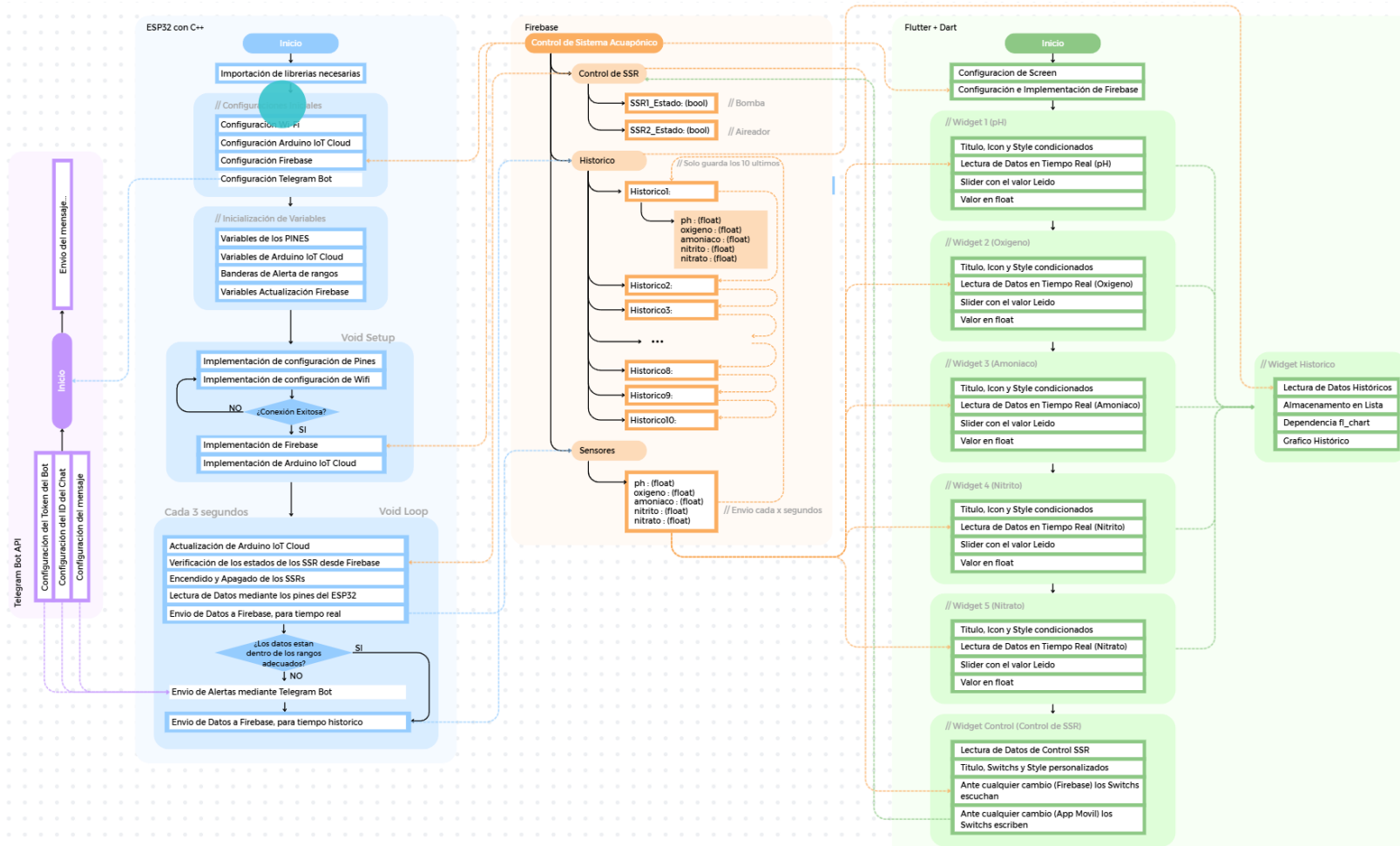
Nota. En la imagen se visualiza las conexiones eléctricas que se implementaron en los actuadores con su respectivo Pin, esta imagen fue realizada por el autor.

La verificación del funcionamiento automatizado del sistema se realizó bajo condiciones controladas, desarrollando por cuatro programas específicos para mejorar el control y supervisión de las distintas variables del sistema acuapónico.

Se utilizó el entorno de desarrollo Arduino IDE **Anexo D** para programar el microcontrolador ESP32, encargado del envío de señales desde los sensores hacia la nube para la gestión de datos en tiempo real, se integró Firebase **Anexo E**, que actúa como intermediario para recibir la información y transmitirla a la interfaz desarrollada en Flutter/Dart **Anexo F** esta aplicación permite visualizar, registrar y controlar los parámetros críticos del sistema de forma remota garantizando una respuesta rápida ante posibles alteraciones en el sistema como se visualiza en **Figura 30**

Figura 30

Diagrama del dashboard para control del sistema acuapónico.



Nota. En la imagen se visualiza como se desarrolló el dashboard mediante los programas que esta imagen fue realizada por el autor.

Resultados esperados:

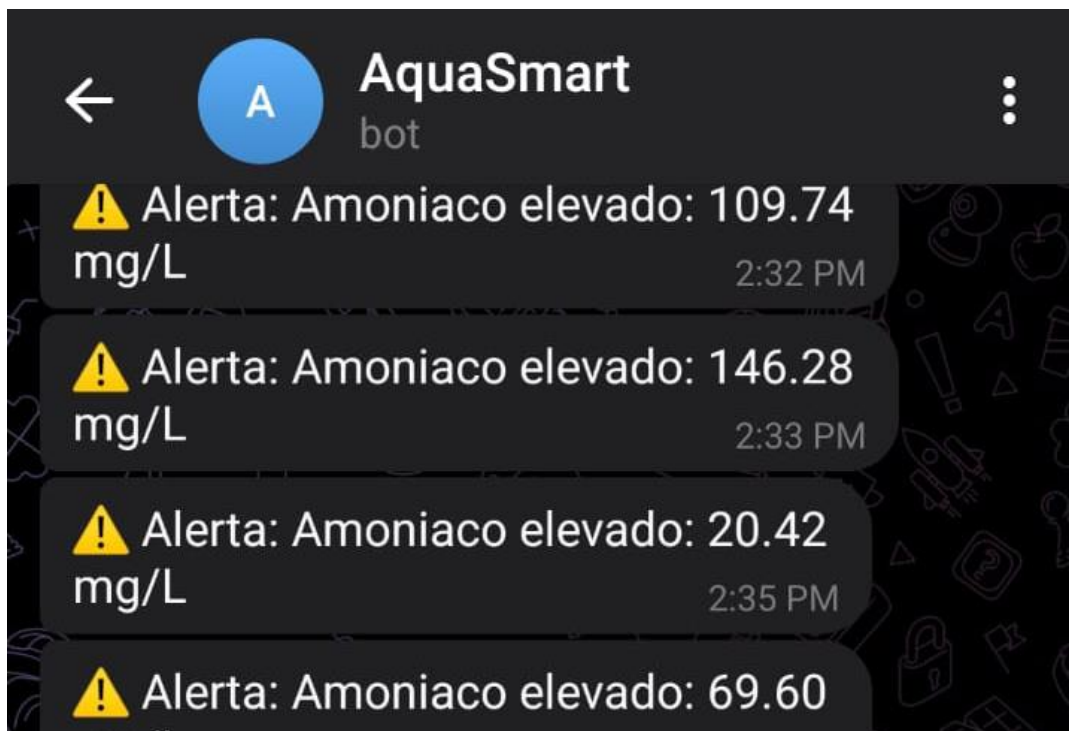
Verificación de los parámetros

Se proyecta que el sistema acuapónico automatizado sea capaz de monitorear y gestionar en tiempo real parámetros fundamentales como el pH, la temperatura, el oxígeno disuelto, y las concentraciones de amoníaco, nitritos y nitratos.

La vigilancia constante de estas variables permitirá crear un entorno estable para el crecimiento saludable de las Tilapias y el desarrollo eficiente de los cultivos vegetales, disminuyendo la probabilidad de estrés o mortalidad en los organismos. Además, el sistema contará con un mecanismo de alertas automáticas vía Telegram **Figura 31**, que notificará al usuario en caso de que algún parámetro salga del rango establecido, permitiendo una intervención rápida para evitar daños o pérdidas dentro del sistema.

Figura 31

Alertas recibidas al Telegram.



Nota. En la imagen se visualiza las alarmar que llegan al Telegram al momento de que los sensores detectar rangos fuera de los parámetros, imagen realizada por el autor (2025).

Visualización del dashboard

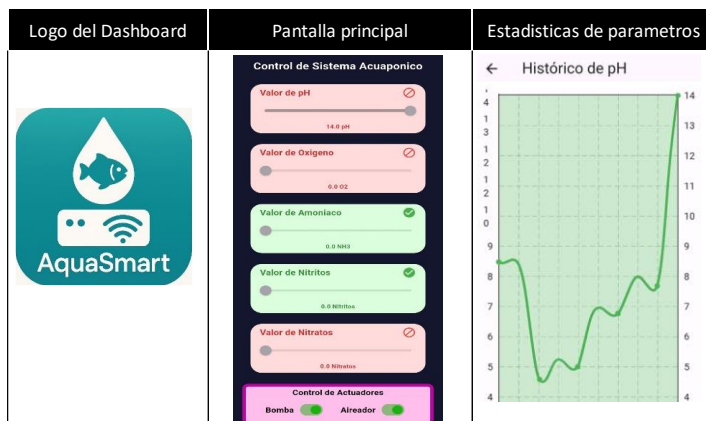
Como parte del diseño del sistema acuapónico automatizado, se desarrolló un dashboard interactivo para la visualización en tiempo real de las variables críticas del sistema, facilitando la toma de decisiones y el control remoto por parte del usuario. El dashboard fue implementado utilizando tecnologías compatibles con el microcontrolador ESP32, y permite la visualización de los parámetros.

El diseño del dashboard se basó en una interfaz intuitiva, accesible desde dispositivos móviles a través de conexión Wi-Fi. Las lecturas de los sensores son procesadas por el ESP32 y enviadas a la plataforma, donde se muestran mediante gráficos de tendencia, indicadores de color (verde y rojo) según los rangos óptimos, y alertas en caso de que se detecten valores fuera de los parámetros establecidos *Figura 32*.

Esta herramienta permite un monitoreo continuo sin necesidad de supervisión presencial, y su estructura modular permite agregar nuevos sensores o funciones en el futuro, como el control automático de válvulas, alarmas por correo electrónico o ajustes remotos de parámetros.

Figura 32

Visualización del dashboard.



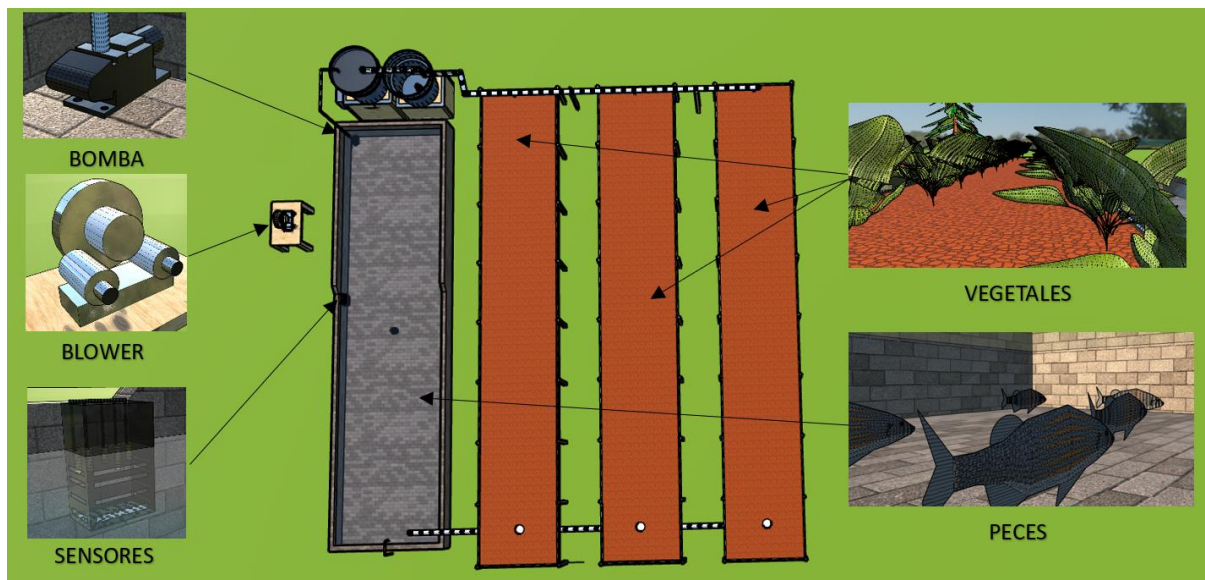
Nota. En la imagen se visualiza el funcionamiento y diseño del dashboard que se diseñó para el control de los parámetros en el sistema acuapónico.

Los sensores y actuadores se han ubicado cuidadosamente para garantizar una operación eficiente y un monitoreo preciso de las condiciones del agua. Los sensores, responsables de medir parámetros clave como pH, oxígeno disuelto, amoníaco, nitritos y nitratos, se instalaron directamente dentro del tanque de Tilapias, ya que este es el punto de mayor carga orgánica y donde es fundamental mantener la calidad del agua **Figura 33**.

La bomba sumergible se colocó en la parte inferior del tanque, permitiendo una succión directa del agua para su recirculación hacia las camas de cultivo y los filtros, optimizando el flujo sin necesidad de complejas estructuras externas. El blower, encargado de la oxigenación, se instaló en el área superior cercana al biofiltro, garantizando la difusión eficiente del aire.

Figura 33

Identificación de sensores y actuadores.



Nota. En la imagen se visualiza donde serán colocados los diferentes sensores y actuadores del sistema automatizado.

En el diseño del sistema acuapónico propuesto, se consideró una relación de 1:1 entre peces y plantas como punto de partida para establecer un equilibrio nutricional adecuado.

Esta proporción implica que por cada Tilapia cultivada se mantiene una planta, lo cual es

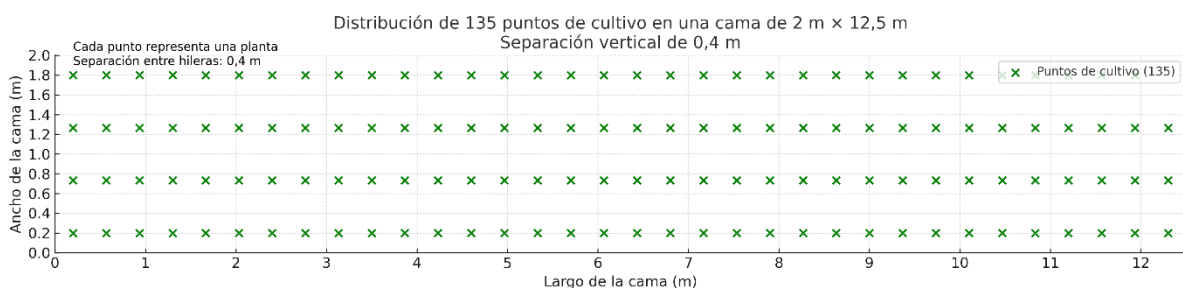
viable en sistemas de media intensidad como el desarrollado, especialmente cuando se cultivan hortalizas de hoja de baja demanda nutricional, tales como lechuga, espinaca o albahaca.

La relación 1:1 permite un manejo más controlado del sistema en etapas iniciales, reduciendo el riesgo de desbalances en la concentración de nutrientes y facilitando la evaluación del desempeño del biofiltro y los procesos de nitrificación. Además, esta configuración garantiza que los nutrientes derivados de los desechos de los peces sean suficientes para sostener el crecimiento vegetal, sin generar acumulaciones excesivas de compuestos nitrogenados.

A medida que el sistema se estabiliza y se ajusta la eficiencia de conversión, es posible incrementar gradualmente la densidad de plantas **Figura 34**, optimizando así el aprovechamiento de los recursos sin comprometer la calidad del agua ni la salud de los organismos involucrados.

Figura 34

Puntos donde se realizará el plantado de los diferentes vegetales.



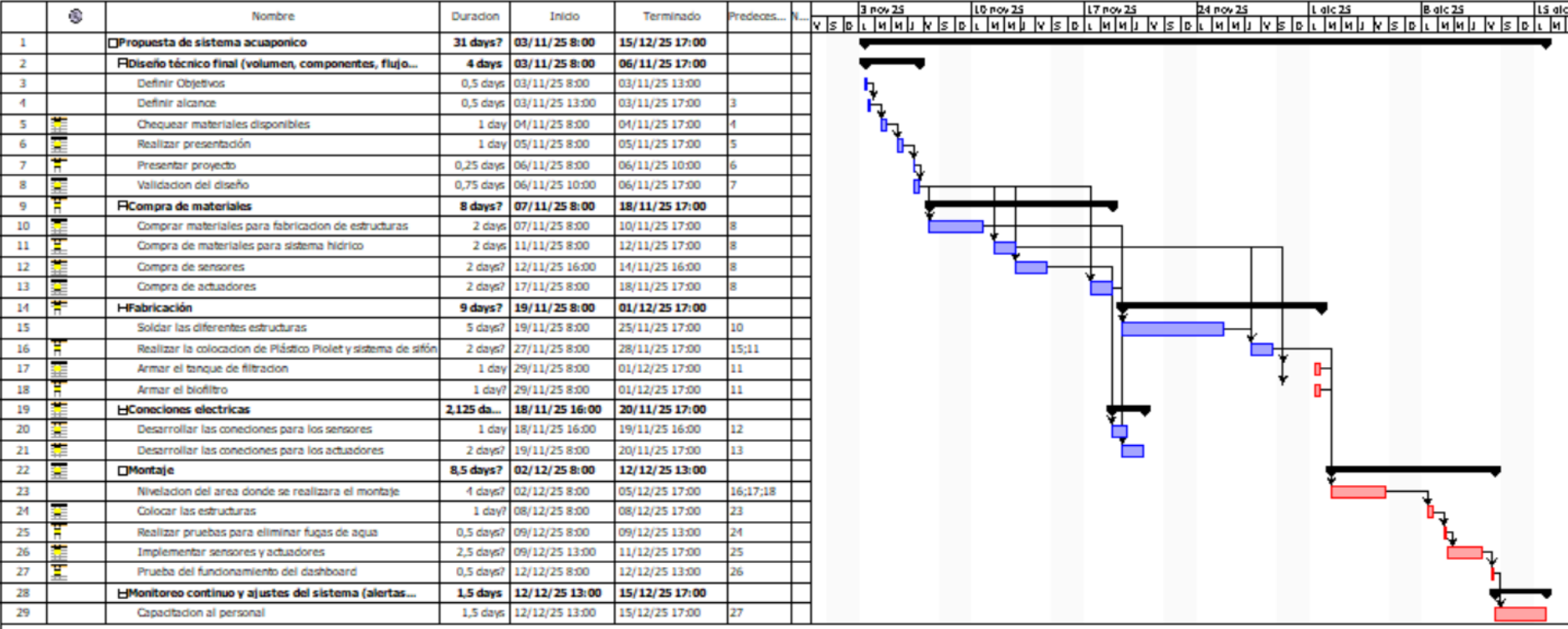
Nota. En la imagen se visualiza los diferentes puntos donde se realizará la siembra de los vegetales.

Cronograma de actividades para la aplicación de la propuesta

Para garantizar una ejecución eficiente del proyecto, se estructuró un cronograma detallado que contempla desde la fase de propuesta hasta la siembra final de Tilapia y vegetales *Figura 35*. Este plan incluye etapas técnicas, logísticas y de capacitación, permitiendo un control adecuado.

Figura 35

Cronograma de tareas.



Nota. En la imagen se visualiza el desarrollo de las diferentes actividades a realizar para cumplimiento del desarrollo del sistema acuaponica

La ejecución del sistema acuapónico automatizado inicia con una fase de planificación que abarca la definición de objetivos y alcance, así como la verificación de materiales disponibles. Esta etapa se desarrolla desde el 3 noviembre y el 15 de diciembre del 2025, siendo esencial para establecer las bases del proyecto.

Durante este tiempo también se realiza una presentación técnica y se valida el diseño definitivo del sistema, el cual contempla los volúmenes de agua, componentes eléctricos, sensores, flujo hidráulico y estructura física. Esta planificación garantiza que el proyecto esté bien fundamentado técnica y logísticamente antes de pasar a las siguientes fases.

Adquisición de materiales

Una vez aprobado el diseño técnico, se procede con la adquisición de todos los materiales necesarios, lo cual se ejecuta entre el 7 y el 18 de noviembre de 2025. Esta fase está dividida por categorías para facilitar su ejecución: materiales estructurales (como tubos y plásticos), elementos hidráulicos (bombas, mangueras, válvulas), sensores electrónicos (pH, oxígeno, temperatura), y actuadores (como relés y solenoides). La compra organizada por componentes permite optimizar tiempos y evitar cuellos de botella durante la etapa de ensamblaje.

Fabricación de componentes

Del 19 de noviembre al 1 de diciembre de 2025 se lleva a cabo la fabricación física del sistema. En este período se sueldan las estructuras metálicas, se instala el plástico Piolet en los cultivos, y se ensamblan el sistema de sifón, el tanque de filtrado y el biofiltro.

Paralelamente, se desarrollan las conexiones eléctricas tanto para los sensores como para los actuadores, asegurando una correcta integración del sistema automatizado. Esta fase es crítica, ya que representa la transformación del diseño teórico en una estructura funcional y lista para su montaje.

Montaje en campo

La siguiente etapa contempla el montaje completo del sistema en el área de operación, del 2 al 12 de diciembre de 2025. Se inicia con la nivelación del terreno, seguida por la colocación de las estructuras ya fabricadas. Posteriormente, se hacen pruebas para identificar fugas en el sistema hidráulico, y se integran los sensores y actuadores al sistema. Finalmente, se valida el correcto funcionamiento del panel de control (dashboard), el cual permitirá el monitoreo remoto a través de una app móvil construida en Flutter/Dart, con datos almacenados y gestionados desde Firebase.

Puesta en marcha y monitoreo continuo

La fase final del proyecto contempla la puesta en marcha y el monitoreo continuo del sistema acuapónico, extendiéndose hasta el 15 de enero de 2026, durante este periodo se realizarán los ajustes de los parámetros críticos de operación, con el objetivo de optimizar el rendimiento del sistema y asegurar su estabilidad. Se incluirá la capacitación del personal responsable enfocada en el manejo técnico del sistema, la interpretación de las variables monitoreadas y la correcta reacción ante las alertas generadas.

Una vez completada la recirculación del agua por al menos una semana, se llevará a cabo la primera siembra de Tilapias, garantizando condiciones adecuadas para su adaptación. La siembra de vegetales se programará posteriormente, entre los 20 a 30 días siguientes, tiempo necesario para el desarrollo del ciclo bacteriano que transforma los desechos del pez en nutrientes aprovechables por las plantas.

En esta etapa también se evaluará el funcionamiento de las notificaciones automáticas a través de Telegram, lo cual permitirá una respuesta inmediata ante cualquier alteración en los niveles de pH, oxígeno, amoníaco u otros parámetros clave. Esta fase es crucial para

validar el correcto funcionamiento del sistema antes de su implementación definitiva y su operación continua a largo plazo.

Análisis de costos

La gráfica de distribución de costos por tipo de material muestra que los componentes estructurales y de infraestructura representan la mayor parte del presupuesto, destacándose elementos como tubos metálicos, tubos de PVC, grava y tanques. Estos materiales son esenciales para garantizar la estabilidad del sistema acuapónico y permitir un flujo hídrico controlado *Tabla 24*. Los sensores y dispositivos electrónicos, aunque ocupan una menor proporción del total, son determinantes en la automatización y precisión del sistema. Esta relación evidencia una inversión equilibrada entre infraestructura física y control tecnológico.

Tabla 24

Tabla de costo de materiales para elaboración del sistema acuapónico.

Materiales	Cantidad	Precio Unitario	Total
Duratecho Pus 1,10 m x 0,25 mm x 6 m	15	\$ 28,67	\$ 430,05
Tubo cuadrado de 75 mm x 2 mm x 6 m	35	\$ 33,50	\$ 1.172,50
Tubo negro redondo de 1/2 pulg x 0,75 mm x 6 m	174	\$ 9,00	\$ 1.566,00
Geomembrana EPDM m ²	29	\$ 1,55	\$ 44,95
Cemento de contacto LLAMA ROJA	3	\$ 26,32	\$ 78,96
Tubo plastigama 4 pul 110mm x 3m	9	\$ 8,75	\$ 78,75
Tubo plastigama 2 pul	1	\$ 4,83	\$ 4,83
Soldadura R-15 E 6013 3/32 (20kg)	1	\$ 193,00	\$ 193,00
Tee para desagüe de 110 mm de PVC	8	\$ 5,25	\$ 42,00
Reductor para desagüe de 4 pulg a 2 pulg	6	\$ 3,25	\$ 19,50
Grava x m ³	5294,33 m ³	\$ 0,24	\$ 1.270,64

Soldadura para Tubos PVC Kalipega 946cc Plastigama	1	\$ 17,99	\$ 17,99
Malla Sarán por Rollo de 4 x 100m al 50 %	1	\$ 240,00	\$ 240,00
Tanque apilable estándar de 1000 Lts. Con kit 1/2	2	\$ 198,73	\$ 397,46
Tubo PVC Roscable 6 metros 1"	1	\$ 27,02	\$ 27,02
Codo roscable hembra de 1 pulgada en 90 grados	3	\$ 1,59	\$ 4,77
Tapón para desagüe de 110 mm de PVC	3	\$ 1,20	\$ 3,60
Tapas de botellas reciclables	5 kg	\$ 0,55	\$ 2,75
Difusor de estanque grande para burbujas al aire libre	2	\$ 45,99	\$ 91,98
Manguera 3/4 por metro	15	\$ 3,00	\$ 45,00
Sensor PH	1	\$ 55,00	\$ 55,00
Sensor Amoniaco	1	\$ 40,00	\$ 40,00
Sensor Nitritos	1	\$ 135,00	\$ 135,00
Sensor Nitratos	1	\$ 450,00	\$ 450,00
Cable para conexión	2	\$ 16,33	\$ 32,66
Microcontrolador ESP32	1	\$ 20,00	\$ 20,00
Bomba Sumergible	1	\$ 345,00	\$ 345,00
Aireador	1	\$ 438,65	\$ 438,65
Relé SSR	2	\$ 9,00	\$ 18,00
TOTAL, DE COSTOS EN MATERIALES			\$ 7.435,06

Nota. En la imagen se visualiza los diferentes materiales con sus cantidades y sus costos.

El cronograma valorado presenta la planificación temporal de la implementación del sistema, distribuida en fases como adquisición de materiales, instalación física, montaje electrónico y pruebas **Tabla 25**. Cada actividad incluye su duración estimada y el costo correspondiente, lo que permite visualizar cómo se distribuye la inversión a lo largo del

tiempo. Esta gráfica facilita el seguimiento del avance del proyecto y la asignación eficiente de recursos, permitiendo ajustes oportunos ante posibles retrasos o sobrecostos.

Tabla 25

Cronograma con sus valores a largo de la aplicación.

Actividad	Tiempo estimado	Costo asociado (USD)
Compra de materiales	3 días	\$ 7.435,06
Transporte	3 días	\$ 175,00
Fabricación de las diferentes estructuras metálicas	5 días	500 (MO incluida de 2 soldadores)
Montaje de sistema hidráulico y tanque	2 días	\$ 100,00 (MO incluida)
Instalación de sensores y cableado	2 días	\$50,00 (MO incluida)
Configuración del microcontrolador y dashboard	2 días	\$ 1.200,00
Pruebas del sistema y ajustes finales	2 días	
Total		\$ 9.460,06

Nota. En la imagen se visualiza los diferentes costos con su tiempo de ejecución para conocer de los valores que integran el desarrollo del proyecto.

Para determinar la viabilidad del sistema acuapónico automatizado, es indispensable realizar una comparación detallada entre el estado actual de producción y la propuesta tecnológica planteada **Tabla 26**. Esta evaluación permitirá identificar las diferencias en términos de inversión, enfocado especialmente en los beneficios económicos derivados de la aplicación del proyecto su implementación no solo desde el punto de vista técnico y ambiental.

Tabla 26

Cuadro comparativo de la situación actual con respecto a la propuesta.

Concepto	Situación Actual	Situación con la Propuesta	Beneficio o Ahorro Estimado (USD)
Tasa de mortalidad de Tilapia por ciclo	24% (\approx 240 peces perdidos por 1000 sembrados)	5% (\approx 50 peces perdidos)	Reducción de la mortalidad en 19%
Densidad de Tilapia en el estanque	250	403	Aumento en un 61,2% (en 153 por \$1,5)
Consumo de agua	Alto consumo y descarga sin tratamiento	Recirculación cerrada, menor gasto	—
Mano de obra manual	Supervisión constante (\$300/mes)	Alimentación (\$300/mes)	—
Producción vegetal	No entraría la producción ordinaria	Producción de 400 vegetales	Ganancia estimada: \$200 mensual
Alertas por fallos	No existen (reacción tardía ante fallos)	Alertas por Telegram en tiempo real	Prevención de pérdidas (\$50/mes)
Acceso a datos históricos y toma de decisiones	No disponible	Dashboard con datos históricos	Mejora operativa (valor intangible)
Costo de implementación inicial	No aplica	\$ 9.460,06	—

Nota. En la imagen se visualiza la comparación actual y con la propuesta para ver la rentabilidad de la misma, esta figura fue realizada por el autor.

La gráfica del análisis costo-beneficio proyecta la recuperación de la inversión inicial, momento en el que los beneficios acumulados igualan el costo de implementación. A partir de ese punto, el sistema comienza a generar ahorro neto **Tabla 27**. Este comportamiento financiero valida la viabilidad de la propuesta, mostrando que a mediano plazo se obtienen retornos tangibles gracias a la eficiencia operativa, la reducción de pérdidas y el aumento de la productividad agrícola y acuícola.

Tabla 27*Análisis Costo-Beneficio*

Concepto	Antes	Después	Ahorro/Beneficio USD	Mensuales
Peces muertos por ciclo (de 403 Tilapia cada 3,5 meses)	97 × \$1,5 = \$145,5	21 × \$1,5= \$31,50	Ahorro de \$114 por mortalidad	\$ 32,57
Mano de obra (mensual)	\$ 300,00	\$ 300,00	—	—
Aumento estimado de ventas Tilapia	250	403	Beneficio de 153 peces a \$1,50 generando 229,5 cada 3,5 meses	\$ 65,57
Aumento estimado de ventas de vegetales	—	400 vegetales a \$0,70 aprox = \$280	\$280 mensual	\$ 280,00
Beneficio mensual estimado				\$ 378,14

Nota. Tabla elaborada por el autor del trabajo (2025).

Con el análisis de la **Tabla 28** se ha llegado a la conclusión de que el proyecto no solo es técnicamente viable, sino también financieramente rentable en el mediano plazo, con un retorno que se ajusta a parámetros comunes de inversión en el sector agro productivo o tecnológico.

Tabla 28*Tabla del tiempo de recuperación de la inversión.*

Variable	Total
Valor total del proyecto	\$ 9.460,06
Beneficio mensual estimado	\$ 378,14
Tiempo de recuperación de la inversión (meses)	25,02

Nota. Tabla elaborada por el autor del trabajo (2025).

El proyecto evaluado presenta una inversión inicial total de \$9.460,06. Esta inversión comprende todos los costos asociados al diseño, adquisición de materiales, implementación y puesta en marcha del sistema, el análisis financiero proyecta un beneficio mensual neto de \$378,14, lo que permite estimar un tiempo de recuperación de la inversión (TRI) de aproximadamente 25,02 meses, es decir, 2 años y 1 meses.

CAPÍTULO IV

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones:

La producción actual acuapónica al realizar una revisión de fuentes científicas y casos prácticos evidencia que la misma se realiza de forma tradicional como es el caso ubicado en Tandapi en la provincia de Pichincha. La misma presenta deficiencias en el manejo de parámetros críticos del agua, lo cual impacta negativamente la salud de los peces teniendo una mortalidad del 24% y la eficiencia del sistema es de un 62%. La acumulación de amoníaco se encuentra en 0.16 mg/L sobre el valor estándar, el nivel de oxigenación tiene el valor de 3,1 mg/L por debajo del estándar de 5,0 mg/L, un pH fuera de rango con 0,53 sobre el rango establecido de 7,5, los nitritos con 1,2 mg/L superior al estándar de 1,0 mg/L y un nitrato de 72 g/L mayor al estándar de 60 g/L, constituyen factores recurrentes de mortalidad en la producción de Tilapia, lo que demuestra la necesidad de adoptar prácticas más sostenibles y controladas.

Se identifica los componentes tecnológicos requeridos para el sistema acuapónico automatizado, tales como microcontrolador ESP32 **Tabla 9**, sensor de pH (DFRobot Gravity) **Tabla 10**, sensor de oxígeno disuelto (DFRobot DO) **Tabla 11**, sensor de nitritos (DFRobot SEN0240) **Tabla 13**, sensor de nitratos (AO-500-16) **Tabla 14** y sensor de amoníaco (MQ-137) **Tabla 12**. Esta selección asegura la posibilidad de automatizar procesos clave del sistema acuapónico.

Se diseña un sistema acuapónico automatizado en base a tecnologías IoT, él mismo toma en consideración las condiciones técnicas existentes en la producción de Tilapia, especialmente en relación con la densidad de cultivo y los volúmenes disponibles para la cría de peces y cultivo de vegetales. Para ello se implementa un modelo integral que combina sensores y actuadores, permitiendo la gestión eficiente del sistema mediante un dashboard

interactivo. Esta plataforma es accesible desde una aplicación móvil la cual facilita el encendido y apagado remoto de los actuadores; así como el monitoreo en tiempo real de parámetros críticos.

Recomendaciones:

Se recomienda a las organizaciones dedicadas a la producción acuapónica incluir en futuras versiones del sistema acuapónico un módulo de control predictivo basado en inteligencia artificial o aprendizaje automático, el cual podría optimizar el manejo de variables como la oxigenación, la alimentación y el pH según patrones históricos. Esta mejora permitiría anticipar cambios en las condiciones del sistema y reducir la dependencia del monitoreo constante por parte del operario.

Se considera de suma importancia para futuros sistemas acuapónicos la incorporación de fuentes renovables de energía; como paneles solares para alimentar la bomba y el blower, con la finalidad de reducir el consumo eléctrico mensual, costos totales de producción y mejorar la sostenibilidad del sistema. Lo cual se debe considerar en futuras fases del proyecto o estudios similares, especialmente en zonas rurales con acceso limitado a la red eléctrica nacional.

Dado que la operación y monitoreo de sistemas automatizados exige conocimientos técnicos específicos, es importante promover programas de capacitación en IoT, sensores, programación de microcontroladores (como el ESP32) y diseño de dashboard, dirigidos al personal operativo. Además, se podría ampliar el estudio incluyendo el análisis de viabilidad económica en otros tipos de cultivos y especies acuáticas, explorando así su adaptabilidad en distintos entornos productivos del Ecuador.

BIBLIOGRAFIA

- Aberkani, K., Briache, F. Z., Ghazal, H., & Samri, S. E. D. (2022). Knowledge about Pesticides Use and Consumption of Fruit and Legumes in Growers and Consumers in the Province of Nador, Morocco. Results from a Survey Study. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 26(4), 268–276.
<https://doi.org/10.14306/renhyd.26.4.1708>
- Albuja, V., Andrade, J., Lucano, C., & Rodriguez, M. (2021). Comparativa de las ventajas de los sistemas hidropónicos como alternativas agrícolas en zonas urbanas. *Minerva*, 2(4), 45–54.
<https://doi.org/10.47460/MINERVA.V2I4.26>
- Alejandro, F., Marín, M., Silva, G. G., Aarón, A., & Cervantes, H. (2023). Aplicación de la mecánica de fluidos en el diseño de un sistema hidropónico. *Revista Digital Educación En Ingeniería*, 18(36), 1–5.
<https://doi.org/10.26507/REI.V18N36.1244>
- Alibaba. (2025). *Soplador De Aire De Aireación, Alta Eficiencia Para Estanque De Peces Y Aguas Residuales 2rb 220-7ha21 - Buy Air Blower aeration Air Blower air Blower For Fish Pond Product [Fotografía]*. Alibaba: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/High-Efficiency-For-Fish-Pond-And-62217888064.html>
- Allbiz. (2025). *Tilapia o Mojarra Roja [Fotografía]*. Allbiz: <https://co.all.biz/tilapia-o-mojarra-roja-g15413>
- AO-500-16 Sensor de Iones de Nitrato (NO₃-) - Maranata-Madrid SL - NIF B-85746204. (n.d.). Retrieved June 23, 2025, from
<https://www.alphaomega-electronics.com/es/sensores-y-sondas/6169-ao-500-16-sensor>
- Arbeláez, D., Carlos, L., & Roldán Vélez, D. (n.d.). *Prototipo de sistema acuapónico automatizado con funcionamiento mínimo viable*.
- Arrow (2025). *SEN0240 de DFRobot | Placas y kits de desarrollo del sensor [[Fotografía]*. Arrow: <https://www.arrow.com/es-mx/products/sen0240/dfrobot>
- Ávila-Camargo, A., Barreiro-Zambrano, A., Sánchez-Calderón, D., & Ignacio López-Michelena, L. (n.d.). *Revista Rosalinda*.
<https://doi.org/10.22517/25395203.25444>
- Basumatary, B., Verma, A. K., & Verma, M. K. (2023). Global research trends on aquaponics: a systematic review based on computational mapping. *Aquaculture International*, 31(2), 1115–1141.
<https://doi.org/10.1007/S10499-022-01018-Y/METRICS>
- Bhagat, S. A., Dudhalkar, S. G., Kelapure, P. D., Kokare, A. S., & Bachwani, S. A. (2022). *Review on Mobile Application Development Based on Flutter Platform*. 10.
<https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.39920>

- Bocanegra, J. P. (2023). *Determinación del impacto ambiental generado por la actividad acuícola (piscicultura) en el distrito de Nauta, provincia de Loreto, departamento de Loreto (2022)*. Universidad San Ignacio de Loyola.
<https://hdl.handle.net/20.500.14005/13441>
- Botland (2025). *DFRobot Gravity - pH analog sensor/meter* Botland - Robotic Shop [Fotografía]*.
<https://botland.store/gravity-temperature-sensors/5874-dfrobot-gravity-ph-analog-sensormeter-6959420908356.html>
- Chaverra, S. C. (2022). Acumulación de sólidos, un aspecto crítico en los sistemas acuícolas intensivos: alternativas para una gestión sostenible. *Orinoquía, ISSN-e 0121-3709, Vol. 26, No. 1, 2022, Págs. 53-64, 26(1), 53–64*.
<https://doi.org/10.22579/20112629.731>
- Chougale, P., Yadav, V., & Gaikwad, A. (2021). FIREBASE - OVERVIEW AND USAGE. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology*, 2–6.
https://www.researchgate.net/profile/Anil-Gaikwad/12/publication/362539877_FIREBASE_-_OVERVIEW_AND_USAGE/links/62efc738505511283e9a5318/FIREBASE-OVERVIEW-AND-USAGE.pdf
- Espinoza, A. (2023). *Impacto socioeconómico del desarrollo de una alternativa acuapónica en la x región*.
<https://repositorio.udec.cl/server/api/core/bitstreams/a5bfca02-62a7-49ba-a5bd-f8b1b28ce7f7/content>
- Fernández, M., & Pinto, J. I. (2020). *Diseño e implementación de un Sistema Acuapónico Automatizado*. Universidad Autónoma de Occidente.
<http://red.uao.edu.co/handle/10614/12790>
- Flores, P., Garcia, J., & Sergio, I. (2021). *Acuaponía: una alternativa versátil e integral en la producción de alimentos para el entorno mexicano*.
<https://revistas.uaq.mx/index.php/ciencia/article/view/101/96>
- Ja-Bots. (2025). *Tarjeta de desarrollo ESP32[Fotografía]*. Ja-Bots: <https://ja-bots.com/producto/tarjeta-de-desarrollo-esp32-wroom-32d-30-pines/>
- García, J. A., Espinal, J. A. V., Chimal, G. A., González, D. A. M., Rayos, L. M. A., & Reyes, M. F. G. (2025). Análisis de la Contaminación por Pesticidas en Cuerpos de Agua Dulce en México: Estudio Comparativo Global. *SAGA: Revista Científica Multidisciplinar*, 2(2), 344–354.
<https://doi.org/10.63415/SAGA.V2I2.100>
- García, N., Navarro, I., & Andreo, P. (2021). *Relación entre la exposición a pesticidas y las enfermedades mentales: Una revisión sistemática*. 8(1), 14–27.
<https://doi.org/10.14198/DCN.19700>

- Gómez, M. A. C., Marchena, M. H., González, J. A. L., Buitrago, I. D. L., Bernal, R. A. B., & Pombo, J. R. (2022). Los sistemas acuapónicos como fuente de alimento con la implementación de nuevas tecnologías. *Revista Internacional de Pedagogía e Innovación Educativa*, 2(1), 245–256.
<https://doi.org/10.51660/RIPIE.V2I1.77>
- González, H. (2025). *Desarrollo de alimentos funcionales para tilapia roja, línea Pargo-UNAM (Oreochromis spp.) en agua de mar, utilizando probióticos del género Bacillus: Evaluación del desempeño biológico y enfrentamiento a Aeromonas hydrophila* [Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California].
https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/4257/1/tesis_Helena%20Gonz%c3%a1lez%20Vila_2025.pdf
- Grupo Electrostore. (2025). *Módulo sensor de amoníaco mq-137 [Fotografía]*. Electrostore: <https://gruoelectrostore.com/shop/sensores/gas/modulo-sensor-de-amoniaco-mq-137/>
- Lenin, J., Pilco, J., Del, J., & Zamora López, J. (n.d.). *Diseño de un sistema de aireadores autónomos para piscinas camaroneras*.
- Limón, E. (2024). *Cultivo de oreochromis niloticus (tilapia) y lactuca*.
<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/11698/1/UPSE-TBI-2024-0038.pdf>
- Liseth, V., & Chillogalli, F. (n.d.). *Universidad del Azuay facultad de ciencia y tecnología escuela de ingeniería en alimentos*.
- Llerena, L., Méndez, Y., & Reyes, J. (n.d.). *Productividad de un sistema multitrófico de acuaponía bajo condiciones controladas*. Retrieved April 8, 2025, from https://www.uteq.edu.ec/investigacion/proyecto/productividad-sistema-multitrofico-acuaponia-condiciones-controladas?utm_source=chatgpt.com
- Martínez, D. V., Alcalá, J. S., & Sandoval, P. H. (2023). Contribución de los sistemas acuapónicos en los objetivos del desarrollo sostenible y su relación con el COVID-19. *Revista Ra Ximhai*, 19(3 Especial), 83–103.
<https://doi.org/10.35197/RX.19.03.2023.04.DV>
- MercadoLibre. (2025). *Bomba Hsbao Fp-20000 Econ Lake Jumbo para acuarios marinos [Fotografía]*. MercadoLibre: <https://www.mercadolibre.com/ec/bomba-hsbao-fp-20000-econ-lake-jumbo-para-acuarios-marinos-150-w/p/MEC27204333>
- Nakamura, J., & Kuemlangan, B. (2022). *Aplicación de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies ... - Nakamura, J.N., Kuemlangan, B. - Google Libros*.
https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=0ISkEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=Convenci%C3%B3n+sobre+el+Comercio+Internacional+de+Especies+Amenazadas+de+Fauna+y+Flora+Silvestres+%7C+CITES&ots=5pDFJ3rnO6&sig=WjuuJm4ThYDkFBHkaNTHCCPd0aA&redir_esc=y#v=onepage&q=Convenci%C3%B3n%20sobre%20el%20Comercio%20Internacional%20de%20Especies%20Amenazadas%20de%20Fauna%20y%20Flora%20Silvestres%20%7C%20CITES&f=false
- ONU (2025). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*.
<https://www.fao.org/home/en/>

- Paula, P., Angie, R., & Diana. Ayala. (2022). *Impacto de los pesticidas en la salud humana*. https://www.researchgate.net/profile/Diana-Ayala-Valderrama/publication/369266027_Impact_of_Pesticides_on_Human_Health_Impacto_Dos_Pesticidas_Na_Saude_Humana/links/6412852466f8522c38aae5c5/Impact-of-Pesticides-on-Human-Health-Impacto-Dos-Pesticidas-Na-Saude-Humana.pdf
- Pereira, R., de Souza, C., Patino, D., & Lata, J. (n.d.). *Artículo Científico / Scientific Paper Plataforma de enseñanza a distancia de microcontroladores e internet de las cosas Platform for Distance Learning of Microcontrollers and Internet of Things*. <https://doi.org/10.17163/ings.n28.2022.05>
- Płyta główna HB5 Botland - Robotic Shop*. (n.d.). Retrieved June 23, 2025, from <https://botland.store/gravity-gas-dust-sensors/9968-dfrobot-gravity-analog-x-dissolved-oxygen-sensor-sen0237-a-6959420912681.html>
- Portilla, Y. N. G., López, R. A. T., Tulcán, A. N. A., & Enríquez, Y. A. M. (2021). Implementación de nuevas tecnologías en la acuicultura. *Revista Investigación Pecuaria*, 8(1), 10–10. <https://doi.org/10.22267/REVIP.2181.27>
- Proain*. (2025). *Diagrama interactivo de los fundamentos biológicos de un sistema acuapónico [Fotografía]*. *Proain*: <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/la-calidad-del-agua-en-acuaponia>
- Producción de tilapia: un auge económico que oscurece los ríos en Pastaza – Nuestras Riquezas*. (n.d.). Retrieved May 11, 2025, from <https://www.nuestrasriquezas.com/2023/09/11/produccion-de-tilapia-un-auge-economico-que-oscorece-los-rios-en-pastaza/>
- René, I., Facultad, V., Fernando, J., & Patiño, H. (2023). *Identificación de los parámetros de bienestar animal en sistemas de producción acuícola*. <https://repositorioinstitucional.ufps.edu.co/xmlui/handle/20.500.14167/4014>
- Restrepo, C. (2022). *Estudio de viabilidad técnica, ambiental y financiera para la producción de tilapia roja en el corregimiento de caracolito*. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/01f1a40d-37ab-4061-8e49-7cc58d6e30aa/content>
- Rozo, M., & Quintero, D. (2021). *Estudio del plan de negocio de producción de tilapia y lechuga basado en la técnica de acuaponía en el municipio de Quetame Cundinamarca [Universidad Distrital Francisco José De Caldas]*. <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/59ffe772-2f74-4793-9834-04ed3a0b41d1/content>
- Sabando, M., & Amador, I. (n.d.). *Universidad laica Eloy Alfaro de Manabí-extensión pedernales Carrera de Biología*.
- Salas, M. F. (2020). *Identificación de los Factores que Determinan la Calidad de Agua en Cultivos Hidropónicos [Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente Ingeniería Ambiental]*. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/34845/mfsalas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Serrano, L. D., Zhirzhan, N. P., & Quinchuela, L. D. (2022). *Diseño de un sistema de recirculación acuícola (ras) a pequeña escala para el proceso de crecimiento de tilapias rojas en la comunidad de paipayales, santa lucía en ecuador*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/56692>
- Shakirov, A., Botirov, Z., & Machine, A. (2022, March). *Study of Arduino microcontroller board*. https://www.researchgate.net/profile/Alisher-Ismailov/publication/359502443_Study_of_arduino_microcontroller_board/links/62402fca8068956f3c50ea36/Study-of-arduino-microcontroller-board.pdf
- Somerville, C. (n.d.). *Small-scale aquaponic food production Integrated fish and plant farming*.
- Taha, M. F., ElMasry, G., Gouda, M., Zhou, L., Liang, N., Abdalla, A., Rousseau, D., & Qiu, Z. (2022). Recent Advances of Smart Systems and Internet of Things (IoT) for Aquaponics Automation: A Comprehensive Overview. *Chemosensors 2022, Vol. 10, Page 303, 10(8), 303*. <https://doi.org/10.3390/CHEMOSENSORS10080303>
- Vallecilla, A. (2023). *Ensayo de acuaponía en escala reducida como alternativa sostenible de producción agropecuaria*. [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/5ac7d596-eaf1-4c71-836d-a643a43b4f78/content>
- Vanessa Deleg Alay, P., & Santacruz-Reyes Autor de correspondencia Roberto A Santacruz Reyes, R. A. (n.d.). *The ecological impacts of fish farming in cages in Ecuador-A review Autores*. Retrieved May 11, 2025, from <https://orcid.org/0000-0003-3439-6173>
- Willer, H., Trávníček, J., & Schlatter, B. (2024). *A bouquet of first-hand expertise Agriculture et biodiversité Impact de différents systèmes de culture sur la diversité biologique e Technique al guide Cow-reared Calf Husbandry in Dairy Farming Housing Systems for Species-specific Rearing with Mother Cows and Nurse Cows*. <http://www.organic-world.net/yearbook/yearbook-2024.html>.
- Wood, D. (2022). *Diseño de interfaces: Introducción a la comunicación visual en el diseño de ... - Dave Wood - Google Libros*. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=kjiXEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT23&dq=interfaces+de+usuario+dise%C3%B1o&ots=KPXKQTjCX4&sig=PfyUNpyi1tHjxSZTZnKiNpX8P0A#v=onepage&q=interfaces%20de%20usuario%20dise%C3%B1o&f=false>
- Yadav, A., Roy, S. M., Biswas, A., Swain, B., & Majumder, S. (2024). Modelling and prediction of aeration efficiency of the venturi aeration system using ANN-PSO and ANN-GA. *Frontiers in Water, 6, 1401689*. <https://doi.org/10.3389/FRWA.2024.1401689/BIBTEX>
- Yunda Machado, J., & Rafael Carrasco Quintero, A. (2021). *manual Acuaponia-2*. <https://secretaria-de-territorio-habitat-y-vivienda-territorio.hub.arcgis.com>
- Zambrano, J. (2025). *UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO FACULTAD DE POSGRADO MAESTRÍA EN CONTABILIDAD*. 1–123.

ANEXOS

Anexo A



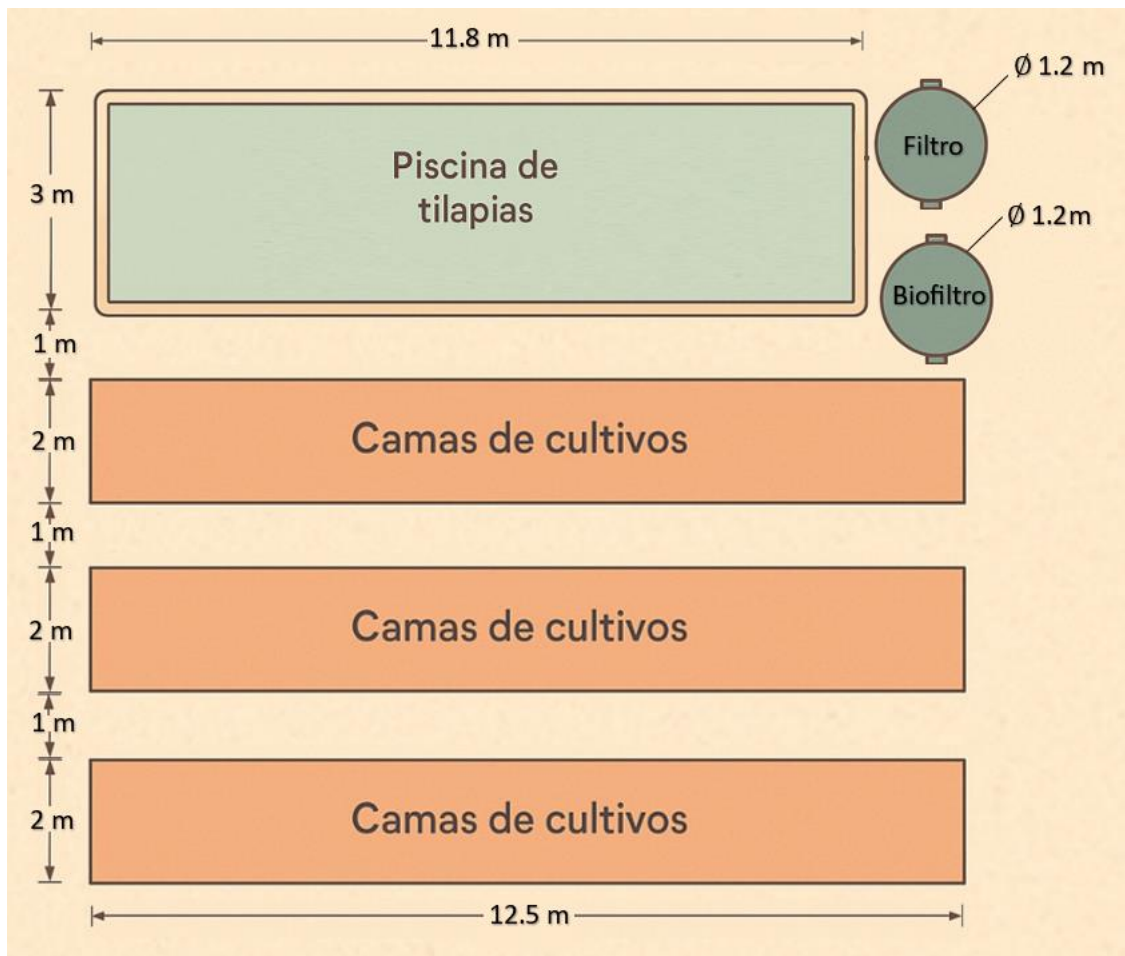
Anexo B

REGISTRO ICA: 10359 AL

COMPOSICIÓN GARANTIZADA

PROTEÍNA (MIN)	30%
GRASA(MIN)	6%
HUMEDAD (MÁX)	12%
FIBRA (MÁX)	6%
CENIZA (MÁX)	12%

Anexo C



Anexo D

The screenshot shows an IDE window with the following code in the main editor:

```
1 #include <ArduinoIoTCloud.h>
2 #include <Arduino_ConnectionHandler.h>
3 #include <WiFi.h>
4 #include <FirebaseESP32.h>
5 #include <WiFiClientSecure.h>
6 #include <UniversalTelegramBot.h>
7
8 // ----- Configuración WiFi -----
9 #define WIFI_SSID "CELERITY_JOSELINE"
10 #define WIFI_PASSWORD "1755374897"
11
12 // ----- Arduino IoT Cloud -----
13 const char DEVICE_LOGIN_NAME[] = "46958ed8-9fc6-4be4-8210-fa6e173195b9";
14 const char DEVICE_KEY[] = "a#qsd?oNab#eA?fFRBz?v8KUA";
15
16 // ----- Firebase -----
17 #define FIREBASE_HOST "https://control-de-sistema-acuaponico-default-rtdb.firebaseio.com/"
18 #define FIREBASE_AUTH "TU_CLAVE_SECRET"
19
20 FirebaseData fbdo;
21 FirebaseAuth auth;
22 FirebaseConfig config;
23
24 // ----- Telegram -----
```

The console window at the bottom is empty.

Anexo E

The screenshot shows the Firebase Realtime Database interface. The left sidebar contains navigation options like 'Realtime Database', 'Messaging', 'Firestore Database', etc. The main area displays the 'Realtime Database' for the project 'Control de sistema acuaponico'. A search bar at the top right says 'Preguntarle a Gemini sobre Realtime Database'. Below the navigation tabs (Datos, Reglas, Copias de seguridad, Uso, Extensions), there is a warning message: 'Protege tus recursos de Realtime Database contra los abusos, como fraudes de facturación o phishing.' The main content area shows a JSON tree structure with the following data:

```
historico
└─ sensores
  └─ amoniaco: 0
  └─ nitrate: 0
  └─ nitrito: 0
  └─ oxigeno: 0
  └─ ph: 14
```

The location is noted as 'Ubicación de la base de datos: Estados Unidos (us-central1)'.

Anexo F

```
1 // En main.dart
2 import 'package:aquasmart/components/switch.dart';
3 import 'package:aquasmart/components/tarjet.dart';
4 import 'package:aquasmart/components/tarjet2.dart';
5 import 'package:aquasmart/components/tarjet3.dart';
6 import 'package:aquasmart/components/tarjet4.dart';
7 import 'package:aquasmart/components/tarjet5.dart';
8 import 'package:flutter/material.dart';
9 import 'package:firebase_core/firebase_core.dart';
10 import 'package:flutter/services.dart';
11
12 void main() async {
13   WidgetsFlutterBinding.ensureInitialized();
14
15   SystemChrome.setEnabledSystemUIMode(SystemUiMode.manual, overlays: []);
16
17   try {
18     await Firebase.initializeApp();
19     runApp(const MyApp());
20   } catch (e) {
21     print("Error al inicializar Firebase: $e");
22   }
23 }
24 class MyApp extends StatelessWidget {
25   const MyApp({super.key});
26
27   @override
28   Widget build(BuildContext context) {
29     return const MaterialApp(
30       home: Scaffold(
31         backgroundColor: Color.fromARGB(255, 20, 22, 45),
32         body: Center(child: Column(
33           mainAxisAlignment: MainAxisAlignment.spaceBetween,
34           children: [
35             Padding(
36               padding: EdgeInsets.only(top: 20),
37               child: Text("Control de Sistema Acuaponico", style: TextStyle(color: Colors.white, fontSize: 20, fontWeight: FontWeight.bold)),
38             ),
39             Tarjet(),
40             Tarjet2(),
41             Tarjet3(),
42             Tarjet4(),
43             Tarjet5(),
44             MySwitchWidget(),
45           ],
46         )),
47     );
48   }
49 }
50 }
51
```

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

FACULTY OF ENGINEERING

Industrial Engineering

AUTHOR: CHAVEZ MONTESDEOCA ALEXANDER

TUTOR: MSc. TOPON VISARREA BLANCA LILIANA

ABSTRACT

DESIGN OF AN AUTOMATED AQUAPONIC SYSTEM FOR TILAPIA AND VEGETABLE PRODUCTION

The research was conducted in a production unit dedicated to the cultivation of tilapia and vegetables, where an environmental pollution problem was identified, affecting the rivers used to supply the breeding ponds. In view of this issue, it is necessary to design an automated aquaponic system that integrates sensors, actuators, and a monitoring dashboard to optimize the simultaneous production of tilapia and vegetables under controlled conditions. The methodology is structured in three phases: component identification, system design, and results. The first phase involves selecting a microcontroller, sensors, actuators, and the dashboard. The second phase involves modeling the physical system and integrating its components. The final phase focuses on parameter verification and dashboard visualization. A system was designed with a total capacity of 20,227.5 liters of water, oriented to sustain a biomass of 202.3 kg of tilapia, ensuring constant water recirculation and purification through mechanical filters, biofilters, and grow beds. Sensors connected to an ESP32 microcontroller were integrated for automated monitoring of specific parameters: pH (6.5–7.5), dissolved oxygen (minimum 5 mg/L), temperature (24–30 °C), ammonia (<0.05 mg/L), nitrites (<0.1 mg/L), and nitrates (<100 mg/L), which are defined as critical for the survival and growth of tilapia and plants. The collected data is transmitted to Firebase and displayed on a dashboard developed with Flutter/Dart, which also sends notifications via Telegram when values deviate. The system requires an estimated oxygen supply of 0.843 g/min, provided by a 2,500 LPM blower. Based on the proposal, a 19% reduction in tilapia mortality was

KEYWORDS:

Aquaponics, Automation, Control, System

