



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LOS
PRODUCTORES ACUÍCOLAS E HIDROPÓNICOS EN LAS GRANJAS DE ESCUINTLA
APLICANDO EL INTERNET DE LAS COSAS Y CONTROLES LÓGICOS PROGRAMABLES
PARA LA INTENSIFICACIÓN DE CULTIVO ACUAPÓNICO**

Sergio Alexander Menchú Alvarez

Asesorado por el M.A. Ing. Christian Antonio Orellana López

Guatemala, marzo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LOS
PRODUCTORES ACUÍCOLAS E HIDROPÓNICOS EN LAS GRANJAS DE ESCUINTLA
APLICANDO EL INTERNET DE LAS COSAS Y CONTROLES LÓGICOS PROGRAMABLES
PARA LA INTENSIFICACIÓN DE CULTIVO ACUAPÓNICO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

SERGIO ALEXANDER MENCHÚ ALVAREZ

ASESORADO POR EL M.A. ING. CHRISTIAN ANTONIO ORELLANA LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, MARZO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADOR	Ing. José Antonio de León Escobar
EXAMINADOR	Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LOS PRODUCTORES ACUÍCOLAS E HIDROPÓNICOS EN LAS GRANJAS DE ESCUINTLA APLICANDO EL INTERNET DE LAS COSAS Y CONTROLES LÓGICOS PROGRAMABLES PARA LA INTENSIFICACIÓN DE CULTIVO ACUAPÓNICO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 12 de enero de 2022.

Sergio Alexander Menchú Alvarez



EEPFI-PP-0177-2022

Guatemala, 12 de enero de 2022

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

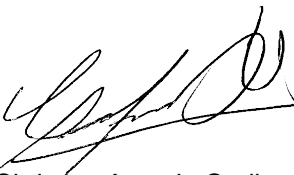
El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LOS PRODUCTORES ACUÍCOLAS E HIDROPÓNICOS EN LAS GRANJAS DE ESCUINTLA APLICANDO EL INTERNET DE LAS COSAS Y CONTROLES LÓGICOS PROGRAMABLES PARA LA INTENSIFICACIÓN DE CULTIVO ACUAPÓNICO**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Infraestructura de red - Infraestructura de red**, presentado por el estudiante **Sergio Alexander Menchú Alvarez** carné número **200915664**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Ingeniería Para La Industria Con Especialidad En Telecomunicaciones.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

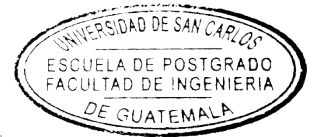
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"




Mtro. Christian Antonio Orellana López
Asesor(a)

Mtro. Mario Renato Escobedo Martínez
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIME-0177-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LOS PRODUCTORES ACUÍCOLAS E HIDROPÓNICOS EN LAS GRANJAS DE ESCUINTLA APLICANDO EL INTERNET DE LAS COSAS Y CONTROLES LÓGICOS PROGRAMABLES PARA LA INTENSIFICACIÓN DE CULTIVO ACUAPÓNICO**, presentado por el estudiante universitario **Sergio Alexander Menchú Alvarez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, enero de 2022

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.167.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LOS PRODUCTORES ACUÍCOLAS E HIDROPÓNICOS EN LAS GRANJAS DE ESCUINTLA APLICANDO EL INTERNET DE LAS COSAS Y CONTROLES LÓGICOS PROGRAMABLES PARA LA INTENSIFICACIÓN DE CULTIVO ACUAPÓNICO**, presentado por: **Sergio Alexander Menchú Álvarez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, marzo de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Gracias Padre celestial por todo lo que has permitido, porque siempre has estado conmigo, sabes que yo en ti confío, gracias por ser mi fuerza y mi ayuda en todo tiempo, por darme la sabiduría e inteligencia para culminar esta meta, que no es más que una muestra de tu amor hacia mí, porque sin ti nada soy.

Mis padres

Por su amor, instrucción, corrección, apoyo y por todo su esfuerzo, están en mi corazón, los amo y bendigo en el nombre de Jesús.

Mi esposa

Dios me dijo que una perla preciosa había dado a mí lado y en la etapa que llegas a mi vida formaste en mí inspiración y me has dado el apoyo para seguir adelante, por ello y mucho más gracias, mi amor.

Mis hermanos

Evelyn y Ervin Menchú, gracias por todo su apoyo y sobre todo por estar en mi corazón, saben que los quiero mucho y que siempre quiero lo mejor para ustedes.

Familia y amigos

A cada uno por nombre, por ser parte de la motivación para este logro tan importante.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la <i>alma mater</i> que me permitió nutrirme de conocimientos.
Facultad de Ingeniería	Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.
Mis jefes	Por haber confiado en mí y dado la oportunidad de desenvolverme en las áreas laborales las cuales formaron bases que hoy me ayudan a ser un profesional.
Mis amigos	Por el compañerismo mostrado y la amistad formada a lo largo de la carrera.
Mi asesor	M.A. Ing. Christian Antonio Orellana López por haberme guiado durante el trabajo de graduación y su grata amistad.
Familia y amigos en general	Gracias por acompañarme en esta vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Contexto general	9
3.2. Descripción del problema	9
3.3. Formulación del problema	10
3.3.1. Pregunta central	10
3.3.2. Preguntas auxiliares	11
3.4. Delimitación del problema	11
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1. Objetivo General.....	15
5.2. Objetivos Específicos	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	17
6.1. Necesidades a cubrir.....	17

6.2.	Esquema solución	18
6.2.1.	Etapa de investigación de los parámetros en los sistemas de acuicultura, acuapónico e hidropónico.....	18
6.2.2.	Alcance en la etapa de automatización	18
6.2.3.	Alcance en la etapa de integración al IoT	19
7.	MARCO TEÓRICO	21
7.1.	Acuaponía	21
7.2.	Acuicultura	22
7.3.	Hidroponía.....	23
7.4.	Sistemas acuapónicos	25
7.4.1.	Producción acuícola en sistemas acuapónicos	25
7.4.2.	Parámetros de control en sistema de explotación para tilapia.....	26
7.5.	Producción bacteriana en sistemas acuapónicos	28
7.6.	Producción hidropónica en sistemas acuapónicos.....	30
7.7.	Internet de las cosas (IoT).....	32
7.7.1.	Estándares y protocolos de conectividad IoT.....	33
7.7.2.	Arquitectura orientada a servicios	36
7.7.2.1.	Capa de detección (<i>sensing layer</i>)	38
7.7.2.2.	Capa de red (<i>network layer</i>)	39
7.7.2.3.	Capa de servicios (<i>service layer</i>)	40
7.7.2.4.	Capa de interfaz (<i>interface layer</i>)	42
7.7.3.	Plataformas IoT	42
7.7.3.1.	Plataforma AWS IoT.....	43
7.7.3.2.	Servicios de software AWS IoT	43
7.7.3.3.	Control y conectividad AWS IoT.....	44
7.7.3.4.	Servicios de análisis AWS IoT.....	45

7.8.	Controladores lógicos programables (PLC).....	45
7.8.1.	Sincronización y conectividad.....	46
7.8.2.	Configuraciones de salida.....	47
7.8.3.	Configuraciones de entrada.....	47
7.8.4.	Variables y magnitudes físicas	47
7.8.5.	Transductores.....	48
7.8.6.	Principios de transducción.....	48
7.8.7.	Sensores.....	48
7.8.7.1.	Clasificación de sensores	49
7.8.8.	Acondicionado de señal.....	49
7.8.9.	Actuadores.....	49
7.9.	Evolución al IoT-PLC.....	50
7.10.	Evolución IoT-SCADA.....	51
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	53
9.	MARCO METODOLÓGICO	55
9.1.	Diseño de la investigación	55
9.2.	Enfoque de la investigación.....	56
9.3.	Población de estudio	57
9.4.	Tipo de muestreo.....	57
9.5.	Tamaño de la muestra.....	57
9.6.	Técnicas de la investigación.....	59
9.6.1.	Investigaciones previas y entrevistas	59
9.7.	Instrumentos de recolección de datos	59
9.7.1.	Documentos.....	59
9.7.2.	Entrevistas.....	60
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	61

11.	CRONOGRAMA	63
12.	FACTIBILIDAD DE ESTUDIO.....	65
13.	REFERENCIAS	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema solución	20
2.	Acuicultura cría o cultivo de organismos acuáticos.....	23
3.	Hidroponía en un vivero.	24
4.	Diagrama básico de sistema de acuaponía	26
5.	SoA propuesto para IoT.	37

TABLAS

I.	Ventajas y desventajas entre sistemas de camas de crecimiento de plantas.....	31
II.	Resumen de estándares en IoT.....	34
III.	Modelo para una arquitectura genérica para IoT.	37
IV.	Cronograma de actividades	64
V.	Presupuesto de gastos para la investigación	65

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<i>e</i>	Error de estimación máximo aceptado
°C	Grados Centígrados
kHz	Kilohercio
MHz	Megahercio
<i>n</i>	Muestra de una población
Z_{α}	Parámetro estadístico del nivel de confianza (NC)
%	Porcentaje
<i>q</i>	Probabilidad de que no ocurra el evento en estudio
<i>p</i>	Probabilidad de que ocurra en evento en estudio
Q	Quetzales
N	Tamaño de la población o universo

GLOSARIO

1TOOL	Herramienta de desarrollo para la plataforma de controladores programables.
Actuadores	Dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado.
Adafruit IO	Es un sistema que permite una conexión entre equipos de IoT con protocolos como MQTT pero con una muy poca programación para ello.
Amoniaco	Es un gas incoloro con un característico olor repulsivo. Contribuye significativamente a las necesidades nutricionales de los organismos terrestres por ser un precursor de fertilizantes.
ANSI	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares.
API	Interfaces de Programación de Aplicaciones.
Biofloc	Una tecnología de cultivo súper intensiva y de cero recambios de agua. Basada en la generación de flóculos.

Biomasa	Se refiere a un tipo de energía útil en términos energéticos formales.
CENELEC	Comité Europeo de Normalización Electrotécnica.
CESI	Instituto de Normalización Electrónica de China.
Circuito	Es una interconexión de componentes eléctricos.
CORDIS	Servicio de Información Comunitario sobre Investigación y Desarrollo.
Degradación	Es un término que hace referencia a la situación en la que un individuo u objeto de importancia ve reducido su poder, capacidad, habilidad, entre otros.
DIGI	Dirección General de Investigación.
Empero	Indica que lo que se expresa contradice las conclusiones que se esperarían de lo que se ha dicho anteriormente.
EPCG	Código de Producto Electrónico Global.
ETSI	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones.
FAO	La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura del inglés <i>Food and agriculture organization of the united nations</i> .

FMVZ	Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
GPIO	Entrada/Salida de propósito del ingles <i>general purpose input/output</i> .
Heterogeneidad	Se refiere a un grupo o mezcla compuesto por varios elementos diferentes y distinguibles a simple vista.
IEC	Comisión Internacional de Electrotécnica.
IEEE	El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
IFP	Perfil de Interfaz.
IICAE	Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud.
INAPRO	<i>Innovative Aquaponic for Professional Application</i> , acuaponía con innovación para aplicaciones profesionales.
Interoperabilidad	Habilidad de dos o más sistemas o de sus componentes para utilizarse de forma conjunta e intercambiable.
IoT	Internet de las cosas del ingles <i>internet of things</i> .
ISO	Organización Internacional para la Estandarización.

ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones.
LTE	Estándar de evolución a largo plazo.
MQTT	Es un protocolo de conectividad en IoT.
PLC	<i>Programmable logic control</i> (control lógico programable).
QoS	<i>Quality of service</i> (calidad de servicio).
SBC	<i>Session border controller</i> (controlador de borde).
SoA	<i>Service oriented architecture</i> (arquitectura orientada a servicios).
SRA	Sistema de Recirculación Acuícola.
UPnP	<i>Universal plug and play</i> .
UUID	Identificador único universal

RESUMEN

En las últimas décadas el avance de la tecnología ha tenido un aumento extraordinario a nivel mundial, el cual nos ha acercado a lo que antes veíamos lejos o imposible de alcanzar, con las tecnologías emergentes como el internet de las cosas, la industria 4.0, inteligencia artificial, telecomunicaciones 5G, entre otras, han dado una base sólida a un mundo mucho más productivo, conectado y automatizado, puesto que permiten optimizar una gran variedad procesos industriales, del hogar y de toda índole, creando un confort inimaginable.

Además, otro beneficio muy importante del avance tecnológico es que nos abre la posibilidad de mejora ante situaciones de escasez de recursos naturales, tal es el objetivo principal de este proyecto que prevé diseñar un modelo de automatización y conectividad con IoT, para un sistema acuapónico el cual muestra muchas virtudes aun sin dicha optimización, por ejemplo, es un sistema con un ahorro de agua muy alto, no necesita herbicidas, o fertilizantes, crea un ciclo donde se aprovechan incluso las excretas de los peces, tiene una alta rentabilidad, entre otras muchas cualidades y sin embargo, el diseño propuesto impulsaría aún más el desarrollo de esta técnica de cultivo y está orientado hacia pequeños, medianos y grandes productores acuícolas e hidropónicos en Guatemala, ya que sirve de guía para cambiar de un sistemas tradicional hacia un sistema avanzado de control.

1. INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo de investigación propone un diseño de automatización para un sistema de acuaponía que es una técnica de cultivo que combina los métodos de la hidroponía y el acuicultivo, dicho método produce alimentos orgánicos de manera eficiente y no contamina el medio ambiente, sustituye los métodos tradicionales en los que solo se produce peces o plantas por separado, basando el diseño de automatización en PLC (Controles Lógicos Programables) e IoT (internet de las cosas) para ser controlado desde la comodidad de una terminal con internet, sea dicha terminal un teléfono inteligente, tableta o computador, debido a la necesidad de producir peces y vegetales como alimentos de alta calidad para el consumo humano, que hoy en día por los altos índices de contaminación del agua, la explotación de la tierra y calentamiento global hacen cada vez más difícil obtenerlos de la manera tradicional, por lo que, la importancia de generar un modelo de automatización para dicho sistema es muy grande y oportuna, tanto así que sus principales aportes al consumidor son una mejor nutrición, vida saludable y los beneficios para el medio ambiente se basan en la optimización de espacios y el manejo del agua, con un ahorro del vital líquido de hasta del 90 % en relación a un proceso convencional, el esquema de la solución es propiciar las condiciones ambientales dentro de un entorno controlado para aumentar la eficiencia y calidad en la producción.

El carácter innovador de esta propuesta propone un diseño que ofrece producir simultáneamente peces y plantas de manera autosustentable y ecológicamente en las ahora granjas acuícolas de Guatemala, como un circuito cerrado de manera simbiótica en el denominado sistema de acuaponía, para el desarrollo del diseño se inicia por determinar los parámetros que logran la

máxima calidad y el óptimo rendimiento de los elementos que intervienen en el sistema.

Luego en la etapa de automatización se realiza con sensores, transductores, actuadores, PLC y para reducir el consumo eléctrico se proponen fuentes de energía alternativa como lo son fotovoltaicas o por biomasa del mismo sistema de acuaponía y finalmente con el IoT utilizaremos la tecnología de la comunicación y de la información para acceder al control del sistema desde cualquier parte del mundo así mismo almacenar la información estadística de los parámetros obtenidos por los sensores en tiempo real para establecer el punto de máxima producción y calidad.

2. ANTECEDENTES

La población mundial crece rápidamente esto crea una demanda importante en la alimentación, así mismo, el impacto del cambio climático no favorece las condiciones para la producción de alimentos, también los recursos naturales van cada vez a la baja. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (ONUAA), o también llamada como FAO ya que en inglés es más conocida, es la entidad que se encarga de realizar toda clase de estudios relacionados a la alimentación a nivel mundial y que a continuación se citan algunas de sus afirmaciones de revistas o libros.

Las proyecciones actuales de la ONU indican que la población mundial podría aumentar en 2,250 millones de personas con respecto a los niveles actuales, alcanzando los 9,150 millones en 2050. A nivel mundial, se proyecta que la producción y el consumo agrícolas en 2050 serán un 60 por ciento más altos que en 2005/07. El límite percibido para producir alimentos para una población mundial en crecimiento sigue siendo una fuente de debate y preocupación a pesar de la capacidad histórica del sector agrícola para satisfacer esa demanda.

Este documento pertenece a la serie de la unidad de estudios de perspectiva global de la FAO y cuyo objetivo es proporcionar información sobre cómo se pueden desarrollar la alimentación y la agricultura, de aquí a 2050, tomando nota de los supuestos e incertidumbres clave. Una perspectiva tan larga hacia el futuro es incierta, pero la inclusión metódica de la gama de conocimientos técnicos que se encuentran en toda la FAO sobre las posibles vías de desarrollo y las limitaciones da como resultado una perspectiva que se utiliza mucho para

planificar y enmarcar los debates en la alimentación y la agricultura (Alexandratos y Bruinsma, 2012).

Según la afirmación mencionada anteriormente sugieren la aparición de una creciente escasez de recursos naturales, para lo cual, es imprescindible buscar soluciones alternas a la producción de alimentos agrícolas, piscícolas, entre otros y de mejorar en la utilización de dichos recursos naturales, en países de primer mundo se habla del *blue growth* en español crecimiento azul que representa la semántica del desarrollo sostenible de los entornos marinos como se indica en el siguiente párrafo.

Las mejores alternativas para la evolución del mundo azul consisten en mejorar los sistemas de pesca náutica y de agua dulce volviéndolos más eficientes, un claro ejemplo es la acuaponía que es una forma simbiótica y establece una producción donde se mezcla la acuicultura y la agricultura. Las ópticas de desarrollo del llamado mundo azul también ofrecen oportunidades para la sofisticación en entornos de producción donde la agricultura no es posible por el tipo de agua en este caso el agua salobre y el agua del mar por sus niveles de salinidad. En países donde el cambio climático ha afectado directamente son en particular los lugares donde estas alternativas de producción serán de utilidad, desarrollando resiliencia y donde la mejora continua del manejo de los riesgos ante desastres en áreas costeras y aguas marinas. (FAO, 2017, pp. 49-50)

Según Diver (2006) para los sistemas acuícolas donde frecuentemente se originan gigantescas cantidades de residuos o desechos, se observa últimamente una oportunidad de beneficiarse de dichos residuos pues se puede conseguir crear otro producto de ellos y que este ocasione a su vez beneficios económicos adicionales. Al mezclar el sistema acuícola con la hidroponía se crea

un modelo de producción calificado denominado acuaponía, así también es una evolución de estas técnicas de producción hacia un alimento de tipo policultivo para una producción sostenible. Al hablar de policultivo hace referencia a la diversidad posible y de productos con una alta calidad fitosanitaria es decir con alimentos o plantas que no contienen enfermedades y que a su vez proporcionan una alta rentabilidad.

Como definición para la acuaponía tenemos que es un sistema de producción de alimentos, el cual, incorpora dos tipos de cultivo peces y plantas. Dicho sistema tiene como principio fundamental la recirculación de agua, en el cual para que exista una convergencia entre ambas partes principales del sistema donde habitan los peces y las plantas es necesario contar con un sistema de filtrado y que por un proceso bacteriano convierte el amoníaco a nitratos. Estos compuestos generados en el agua sirven de nutrientes a las plantas que son cultivadas hidropónicamente en el mismo sistema además pueden servir para generación de energía por biomasa.

Esta clase de sistemas acuapónicos pretenden ayudar con su carácter innovador a un mejor manejo en los recursos naturales así como con frutos y peces frescos a la nutrición y salud de los consumidores, en países como Guatemala hay algunas propuestas y estudios únicamente como el del proyecto de investigación en el cual se trata como se adapta y cuál es su rendimiento de las variedades de chile de Guatemala dentro de un sistema acuapónico y en la parte acuicultura se utilizó la tilapia nilótica, dicho estudio tuvo varias partes que lo financiaron y fueron la Dirección General de Investigación (DIGI) y ejecutado por la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través del Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud (IICAE).

La investigación realizada por el IICAE arrojó como parte de las conclusiones la siguiente afirmación:

Dentro de las consideraciones a las que hay que enfocarse son al momento de la adquisición de los materiales de construcción del sistema para que más personas puedan realizar la implantación en sus parcelas, así también para la fuente de alimentación de los instrumentos y equipo eléctrico debe de buscarse soluciones rentable, puesto que en las comunidades de Guatemala por lo general se cuenta con el servicio de energía eléctrica, hay sitios en los que no se tiene y es por ello que opciones como energía solar o energía eólica toman lugar presentándose como fuentes alternativas. También en algunos casos el bambú podría sustituir a las tuberías de PVC siempre y cuando existan antecedentes o investigaciones en las que al adoptar estos cambios mejoran sus condiciones o son buenos sustitutos. (Valdez y Guerra, 2016, p. 26)

En países de primer mundo como Alemania son parte del cambio del modelo tradicional de cosechar vegetales y peces convencionalmente con el proyecto de automatización tecnológica denominado *Innovative Aquaponic for Professional Application* (INAPRO) el cual indico que se realizó el servicio de información comunitario sobre investigación y desarrollo denominado CORDIS el 18 de octubre 2017 y sigue diciendo que con su modelo innovador, modelo que se basa en demostrar la eficiencia de los recursos hídricos en los sistemas integrados de agricultura y acuicultura de tipo multigráfica es decir que incorpora varios cultivos en un mismo proceso.

Informó que el proyecto INAPRO, financiado con fondos europeos, lo han logrado aplicar satisfactoriamente con nuevas técnicas de acuaponía en las cuales se aprovechan los residuos como se había mencionado antes como una

de sus ventajas y que los peces como fuente orgánica de alimento para los vegetales y el agua evaporada regresa a las cisternas de los peces, de tal manera que se reduce el aporte diario necesario de agua dulce a menos del 3 % del volumen total. En definitiva, el patrocinio a esta clase de proyectos de desarrollo hace que pueda crecer y se han encontrado algunas técnicas del sistema acuapónico que ofrecen la posibilidad de reducir costos a los productores, oportunidades para pymes de alta tecnología y quizá una de las áreas más importantes que serían ventajas medioambientales no únicamente para los productores sino para todos.

En la Argentina, Eduardo Catania Profesor de acuicultura, docente coordinador entre la Escuela de Acuicultura y la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNLZ ha trabajado por más de 40 años con acuicultura y en la última década ha desarrollado investigación en acuaponía y expresa abiertamente que el proceso es un éxito, que trabajan con pequeños, medianos y grandes productores de acuaponía, instalando sistemas automatizados de dicho sistema y han implementado inclusive energía por medio de la biomasa generada de las grandes concentraciones de peces, energía de tipo calorífica que pueden transformarla en eléctrica, para hacer un proceso completamente autosustentable, que dicha biomasa no solo alimenta al sistema bacteriano y que posteriormente alimenta al cultivo hidropónico sino que también indica se transforma en energía (Catania, 2021).

Anteriormente se resalta el hecho del problema de la escasez de los recursos naturales, la creciente demanda de alimentos por el mismo crecimiento poblacional y entre la búsqueda a soluciones sostenibles vemos que es posible y necesario iniciar a pensar en la utilización de estos modelos de producción de acuaponía en Guatemala, como menciona la investigación realizada en nuestro país buscar medios de generación de energía alternativa para minimizar el costo

de producción y continuar experimentando con otros tipos de plantas, en el proyecto de la Unión Europea utilizan energía fotovoltaica y en otras partes del mundo como Argentina vemos que han optado por generar energía a través de biomasa utilizando el mismo desecho de los peces generado en el sistema acuapónico para que el proceso se vuelva autosustentable.

Otros puntos importantes de los ejemplos mencionados en relación al proyecto INAPRO financiado por la Unión Europea que duró 4 años y que se inició como un proyecto de investigación y se implementó en España, Alemania, Bélgica y China con gran éxito y continúa funcionando desde 2018 ya como empresas que utilizan tecnología de última generación como el IoT con procesos industrializados, con la investigación de Guatemala que también arrojó resultados favorables a la producción pero sus conclusiones se quedan en buscar otras alternativas de energía y elementos más baratos para poder llevar a los acuicultores del país y por último con la investigación que se promueve desde la Argentina con la Universidad Nacional de Lomas de Zamora, dando cursos de acuaponía para Latinoamérica, notamos que es viable la realización del proyecto desde un nivel bajo hasta un nivel macro, siendo partícipes de los descubrimientos y proveyendo soluciones, por ello es necesario aplicar los conocimientos de todas las áreas posibles para beneficios de la propia humanidad, como lo hicieron en Europa, por lo que, en este anteproyecto se propone realizar un diseño de automatización enfocado a llevar un diseño para un sistema de acuaponía artesanal a un sistema de acuaponía industrial, o de un sistema acuícola a un sistema acuapónico tecnificado para aplicar desde industria 4.0 hasta IoT para apoyar aquel pequeño o mediano productor a subir de nivel y poder tener la tecnología a la mano para mejora de la eficiencia de los sistemas actuales.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

Desde tiempos antiguos la agricultura y piscicultura han sido trabajos artesanales dependiendo directamente del clima, riego, abono, tipo de siembra, tiempo de cosecha, plagas, entre otros. Sin embargo, se suman ahora variables que desfavorecen y crean aún más incertidumbre al futuro de la alimentación en las ramas mencionadas y que no afectan únicamente en Guatemala sino a nivel mundial como lo son los altos niveles de contaminación de ríos, el mal manejo del agua, la sobreexplotación de la tierra, el abuso de fertilizantes y el calentamiento global, entre otros.

Además, existe la creciente demanda de frutos y peces de buena calidad para consumo humano debido al mismo crecimiento poblacional, varias investigaciones y proyecciones hacen énfasis en buscar soluciones alternativas de producción de alimentos que favorezcan el medio ambiente, soluciones autosustentables han llegado como la acuaponía, acuicultura en estanques, biofloc, hidroponía vertical, entre otros.

3.2. Descripción del problema

En Guatemala se han realizado estudios relacionados a la acuaponía a través del Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud (IICA), se han realizado implementaciones de hidroponía como el ASI Greens que es proveedor de Walmart Guatemala, así como también existen criaderos de peces en estanques en los departamentos costeros, sin embargo, muy pocos productores

existen en las áreas donde las condiciones no son las adecuadas y otros no ven como mejora realizar una inversión para aumentar su producción o desconocen cómo aumentar esa producción de manera tecnificada, industrializada y apegada a la tecnología actual para facilitar la producción y aumentar la eficiencia de sus sistemas convencionales.

Al no visualizar la precariedad del futuro no se realiza el correcto manejo del agua, se sobre explota la tierra y además con la recurrencia en los cambios climáticos se afectan directamente las cosechas, la consecuencia directa es que no se esté preparado para los siguientes años, para una producción masiva de alimentos y que la inflación económica marque el paso con los ya escasos productos de calidad para el consumo de los guatemaltecos.

3.3. Formulación del problema

La idea de investigación es estructurada formalmente mediante las siguientes preguntas que delimitan el problema de investigación para clarificar cómo se llevará a cabo el proceso de investigación y el desarrollo de la solución propuesta, es el punto central para poder enfocarse en el proyecto a desarrollar y sus posibles metodologías a utilizar.

3.3.1. Pregunta central

¿Cuál diseño de implementación es una herramienta industrial y tecnológica con la cual se mejoraría la eficiencia y productividad de los sistemas de hidroponía, acuicultura y acuaponía, para abastecer la actual y creciente demanda de los productos alimenticios en Guatemala?

3.3.2. Preguntas auxiliares

- Qué avances o implementación de nuevas tecnologías como lo son la hidroponía y cultivos acuícolas de alto rendimiento existen en Guatemala y cuáles son los parámetros mínimos y máximos que se deben de mantener en los sistemas de hidroponía y acuicultura.
- Qué tipo de sistemas de automatización, sensores y actuadores existen para la medición de parámetros físicos en los sistemas de acuaponía y que tipo controladores lógicos programables son los más factibles de implementar para una interoperabilidad entre la industria y las interconexiones digitales o IoT.
- Qué sistemas de IoT se emplean hoy en día a sistemas de acuaponía, hidroponía y/o piscícolas a nivel mundial que puedan tomarse de referencia, para el fortalecimiento de dichos sistemas y como se establece su conectividad.

3.4. Delimitación del problema

Como marco base se debe de diseñar la implementación del denominado IoT y un sistema de automatización para un sistema acuícola de las granjas en Escuintla, para tener la guía y parámetros de cómo transformarlo en un sistema acuapónico de alto rendimiento, autosustentable y con bajo impacto ambiental.

4. JUSTIFICACIÓN

La situación actual de los sistemas de cultivo de plantas y peces es una problemática que en poco tiempo será mucho más evidente en Guatemala, debido a la creciente demanda de alimentos y que por ser un país en el cual la agricultura, piscicultura, hidroponía, y sistemas de cultivo tradicionales en general, no han optado por un desarrollo automatizado y tecnológico, en relación con países más industrializados.

La línea de investigación en el que se enfoca este proyecto es en el diseño de automatización tecnológica que sería aplicada a esta clase de sistemas acuícolas tradicionales, para proponer solución a la creciente demanda de productos alimenticios de este tipo y ayudar a disminuir la contaminación del agua, entre muchas otras contribuciones que da elegir un sistema acuapónico y aún más al momento de llegar a estar automatizado.

El sistema acuapónico por sí mismo posee muchas bondades como lo son: el ahorro de agua, además se pueden producir alimentos en condiciones precarias, debido a que se realiza en un medio controlado tipo vivero no necesita herbicidas ni fertilizantes, cuando hablamos de producción se realiza de manera intensiva y mucho mayor que en los sistemas convencionales, se puede cultivar en cualquier momento independiente de las estaciones del año, las raíces de las plantas en este sistema no tienen que esforzarse buscando nutrientes, el sistema es simbiótico y macrobiótico a la vez, es ecológico, entre otras bondades que hace que el diseño automatizado para un sistema de este tipo sea aún mejor y al ser un tipo de agricultura relativamente nuevo hay pocas personas

especializadas, por lo qué, este estudio aporta un mejor control a la solución convencional.

El mal manejo actual del agua por los productores de vegetales o peces en el departamento de Escuintla y ayuda a evitar la escasez del vital líquido, como también al desarrollo tecnológico de las áreas involucradas,

Es decir, se espera que el diseño ayude a automatizar y migrar a un sistema mucho más eficiente como lo es el sistema de acuaponía automatizado a emprendedores, pequeños, medianos y hasta grandes productores acuícolas o hidropónicos, el impacto a nivel social se ve reflejado en una población saludable, sana y nutrida. Relacionado al ámbito económico es relativo al tipo de implementación que realice cada productor y por el aspecto tecnológico es el impulso que llevará a estos productores con décadas de atraso en temas de producción artesanales a industrializarse y mejorar su producción. Los beneficiarios sin duda son los consumidores, los proveedores, el país y hasta el medio ambiente.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar un sistema automatizado y de red, utilizando elementos de la industria 4.0 y el internet de las cosas (IoT) para un sistema de acuaponía.

5.2. Específicos

- Determinar las condiciones ideales de los sistemas hidropónicos y piscícolas para obtener los parámetros necesarios y así formular la base del modelo de acuaponía autosustentable.
- Diseñar un sistema automatizado utilizando, PLC-IoT, sensores, transductores y actuadores para el sistema de acuaponía.
- Diseñar una interconexión digital del sistema de acuaponía, aplicando el internet de las cosas para acceder en todo momento al estatus actual de cada uno de los parámetros de dicho sistema, así como tener el control de este desde una aplicación en un teléfono inteligente o un ordenador.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

6.1. Necesidades a cubrir

Con un proceso intensivo y automatizado aplicado a los sistemas de acuaponía se asegura una producción de manera autosustentable y ecológica de alimentos de calidad, que a su vez se prepara para un escenario más difícil debido a la escasez de recursos naturales. Aunque la solución ha sido implementada según se establece en los antecedentes en países de primer mundo fueron proyectos desde cero y con toda la tecnología a su alcance, de ello debemos de aprender y realizar nuestros propios diseños automatizados y adecuarlos a la situación actual en los diferentes tipos de escenarios que encontramos en Guatemala.

La solución abarca el diseño para automatizar un sistema acuícola y llevarlo a un sistema acuapónico o de doble propósito, es decir, donde antes solo se cultivaban peces ahora también plantas, mejorando el uso del agua y proveer recomendaciones para el mejor uso de la biomasa generada que es posible usar no solo en la alimentación de las plantas sino también proveer de un posible diseño a gran escala con la generación de energía calorífica y eléctrica para hacer autosustentable el sistema esta etapa es opcional y solo como recomendación, también se establecen las pautas para llevarlo más allá dando una solución de IoT, asegurando el control del sistema desde un dispositivo con internet.

La solución es viable según lo ha demostrado INAPRO de la Unión Europea, sin embargo, se debe detallar los procesos convenientes para proyectos en desarrollo o preexistentes como marca el ámbito de esta propuesta.

6.2. Esquema solución

El presente trabajo de graduación consiste en el diseño de automatización para un sistema de acuaponía, el cual se pretende actualizar aplicando IoT y PLC, para aumentar la producción de plantas y peces de calidad para consumo humano. Se pretende obtener conocimiento concreto el cual pueda cambiar en algún momento la categoría de otros problemas de investigación lo que significa, que este proyecto puede servir un antecedente importante para otros proyectos o investigaciones que continúen la línea de estudio que se está iniciando. El alcance de esta investigación es exploratorio y es fundamental para desarrollar soluciones a problemas, reconocer conceptos y variables.

6.2.1. Etapa de investigación de los parámetros en los sistemas de acuicultura, acuapónico e hidropónico

A través de las técnicas de investigación se obtendrán los valores para los parámetros físicos que se requieren controlar, como temperatura, pH, oxígeno, presión, nivel, entre otros.

6.2.2. Alcance en la etapa de automatización

Determinados los parámetros físicos se procede a realizar el módulo de software que registrará el proceso de automatización en base a todos los requerimientos del sistema para su operación, estos parámetros físicos serán los valores de Set-Point o entradas y en base a ellos se debe de realizar la

programación lógica ya que estos son los indicadores que hacen eficiente el sistema de acuaponía. Para que el sistema tenga un comportamiento estable debe de realizar ajustes en sus salidas y así controlar los actuadores que harán que las magnitudes físicas vuelvan a aproximarse al valor seteado y de nuevo los sensores devolverán mediciones que el software debe de analizar, todo el proceso se simulara debido a que no está implementado y esto da la oportunidad de poder ajustar y realizar cuantas pruebas se requieran para verificar que el software responde al impulso o cambio realizado, como en la vida real.

Sin embargo, también se propondrá en el diseño todas las consideraciones a seguir para elegir elementos reales como los sensores y actuadores, para cada componente dentro de la solución y así poder utilizar este diseño como una base precisa de una implementación real.

Así mismo, se creará un procedimiento para validar el funcionamiento de cada componente de la solución como una guía que instruya al personal para los ajustes pertinentes en la marcha.

6.2.3. Alcance en la etapa de integración al IoT

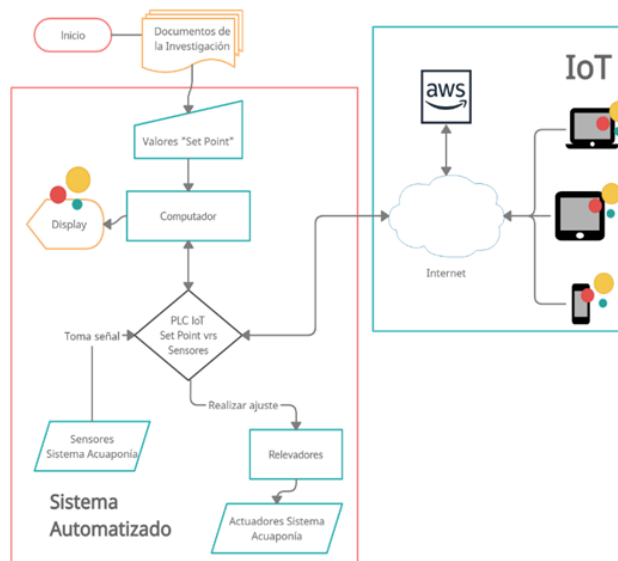
El PLC que se pretende utilizar y su software de aplicación, pertenecen a la familia de última generación que integra la conectividad a la red, lo que facilita su implementación como un PLC-IoT tiene una arquitectura lógica que describe las características y protocolos a ser utilizados.

Sin embargo, se requiere establecer configuraciones mínimas para equipos de red que intervienen en la conectividad, para esto se plasman las configuraciones que sean necesarios para el diseño de la solución así también se incluye todo lo referente a la instalación de los elementos seleccionados y el

motivo de su elección, la conectividad en la nube, los servicios, aplicaciones y manejo de la información del sistema que se ha automatizado, es decir, como se muestran o representan los datos, sea por medio de gráficos y/o valores históricos.

En la figura 1 se muestra el proceso, siguiendo un diagrama de flujo, se ingresan datos como *Set-Point* al programa que se ejecuta en el PLC el cual toma decisiones en base a esta primera entrada comparándola con las entradas de señal de los sensores que deberían de instalarse en el sistema de acuaponía y en base a estas mediciones tomar una acción determinada sobre actuadores que gobiernan medios físicos para manipular compuertas, válvulas, servomotores, entre otros, al final se configura los servicios de la nube para la implantación gráfica y de control con el IoT.

Figura 1. **Esquema solución**



Fuente: elaboración propia, empleando creately.com.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Acuaponía

La acuaponía es una técnica que fue necesario desarrollar como un método de producción capaz de cubrir la creciente demanda de alimentos así también promueve el uso adecuado de los recursos naturales, debido a diversos estudios y proyecciones de sobrepoblación y sobreexplotación de los recursos naturales que predicen una escasez a gran escala para el año 2050, para lo anterior una técnica de producción como la acuaponía es muy prometedora ya que ayuda a solventar en algo el mal uso del agua y aumenta la producción de peces y plantas (Alexandratos y Bruinsma, 2012).

¿Qué es la acuaponía? Se basa en un nexo indisoluble entre la hidroponía y la acuicultura, siendo estos dos métodos de cultivo de tipo vegetal y acuático respectivamente. Esta interacción tiene una reciprocidad muy efectiva entre ambos sistemas, de manera que esta conexión la vuelve autosustentable, ecológica, económica y con una alta rentabilidad.

Como se mencionó la hidroponía consiste esencialmente en la creación de cultivos vegetales, siendo estos: Lechugas, tomates, chile, brócoli, acelga, entre otros y la acuicultura que involucra específicamente la producción de cultivo de animales cuyo hábitat es el mundo acuático, tales como: tilapia, carpas, camarones y almejas. Las combinaciones de ambas técnicas conciben el maravilloso mundo de la acuaponía.

“Dichos sistemas crean dos factores muy importantes e imprescindibles los cuales son el reciclaje de agua y aprovechamiento de nutrientes, ya que éstos últimos son excretados por animales acuáticos y aprovechados por las plantas cultivadas” (Gómez *et. al.*, 2015, p. 60).

Antes de entrar en detalle de la acuaponía es necesario definir las dos técnicas que la componen para ello los siguientes apartados.

7.2. Acuicultura

La formación de organismos acuáticos que engloba peces, moluscos, crustáceos y plantas se le denomina acuicultura. Siendo necesaria la participación del elemento humano para la propagación y explotación de esta técnica, la cual consiste en acumular una población de peces, alimentarlos y resguardarlos de los depredadores para una producción exitosa.

La crianza supone proporcionarles el hábitat adecuado para el desarrollo de las poblaciones de dichos animales acuáticos. La acuicultura varía mucho según la ubicación geográfica donde se ejecute y su riqueza se aprecia según su diversidad, como se puede observar en la cría de camarón en las costas de Ecuador, o bien en los arrozales de Vietnam, o las vastas producciones de salmón en Escocia y Noruega. Empero la mayor fracción de la acuicultura se ejecuta en los países llamados de primer mundo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2003).

La figura 2, representa un cultivo de peces dentro de un estanque artificial. Sin embargo, también se ha implementado en ríos, lagos, estanques no artificiales, entre otros.

Figura 2. **Acuicultura cría o cultivo de organismos acuáticos**



Fuente: WorldFish (2017). *Hapas dentro de un estanque para peces en Jitra, Malasia.*

7.3. Hidroponía

Para Beltrano y Gimenez (2015):

La hidroponía tiene una peculiaridad muy importante y es que permite cultivar sin necesidad de suelo. A través de este procedimiento se genera la producción de plantas de tipo herbáceo, explotando así las áreas poco comunes, sin pasar por alto los elementos fundamentales para su crecimiento, tales como el agua, el dióxido de carbono y la luz. Las nutriciones de las plantas en el sistema hidropónico son aportadas por minerales mediante una solución en la que van dispersados distintas sustancias nutritivas imprescindibles para su desarrollo.

La productividad del cultivo sin suelo duplica a los cultivos que se hacen utilizando el suelo. Lo que influye directamente en el rendimiento del cultivo sin suelo es la disponibilidad de agua, nutrientes y del hábitat que se le proporcione a las plantas. Los avances de la humanidad han hecho posible que la tecnología sea aplicada en un sistema hidropónico y que esto sea una realidad que al realizarlo en un lugar que se encuentre confinado y a su vez climatizado se hace realmente un proceso repetible, es decir que el control aplicado hace que la hidroponía tenga muchas más ventajas de lo que tiene un cultivo convencional. (p. 9)

La aplicación de una plantación hidropónica la podemos observar en la siguiente fotografía en la figura 3.

Figura 3. **Hidroponía en un vivero**



Fuente: Gouvea (2010). *Hidroponía*.

7.4. Sistemas acuapónicos

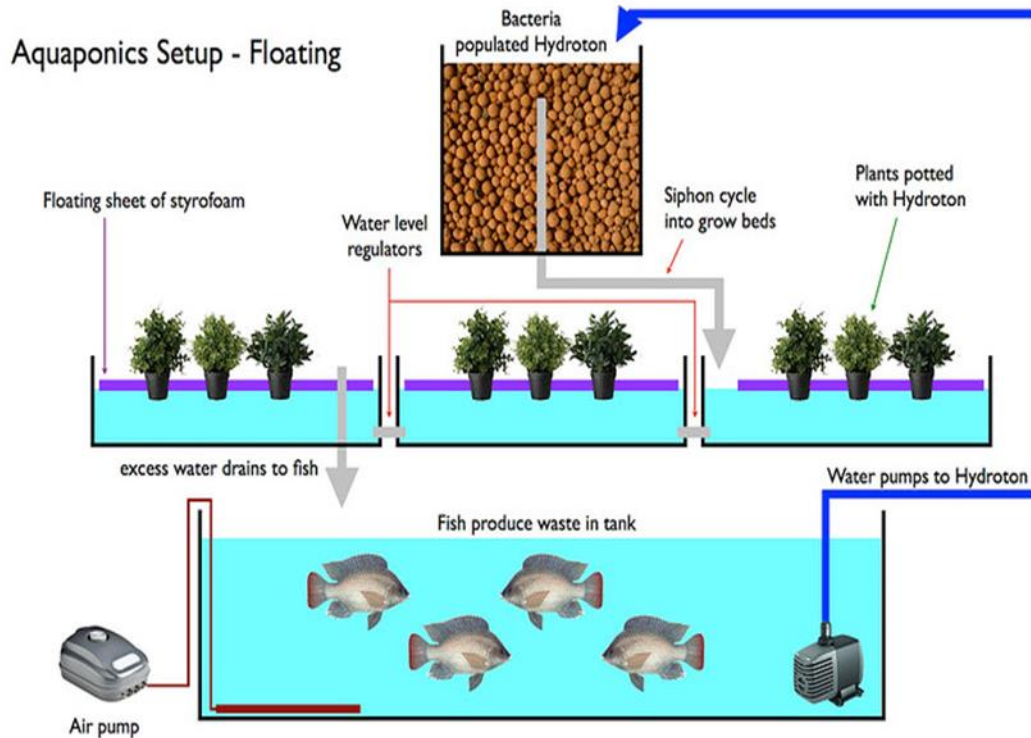
En los sistemas acuapónicos se pueden criar distintas especies tanto de organismos acuáticos como plantas, pero hay que tomar en cuenta que se cumplan todos los parámetros que se necesitan para la supervivencia, crecimiento y reproducción.

7.4.1. Producción acuícola en sistemas acuapónicos

La acuaponía involucra las técnicas de cultivo de la acuicultura (cría de organismos acuáticos) e hidroponía (producción de plantas) formando un ciclo autosustentable como bien naturalmente existe, sin embargo, utilizando el método de la acuaponía el ciclo es mucho más eficiente y posible de controlar, como veremos en la siguiente figura 4. se nos representa muy básicamente dicho proceso.

Según Nelson y Pade (2007) en la etapa de la piscicultura el agua contenida en el estanque del apartado de los peces contiene amoníaco y excrementos conforme los peces van defecando la contaminación en esta agua es altamente mortífera para ellos mismos, por lo que, el recambio es necesario pero en su lugar se crea un flujo del agua dentro del sistema el cual es impulsado por una bomba de agua hacia un filtro biológico, donde colonias de bacterias este se encargan de transformar los nitritos que se oxidan fácilmente para formar nuevos nitratos, que son una solución nutritiva para la etapa hidropónica siguiendo el flujo de agua hacia las plantas quienes toman los nutrientes y de nuevo retorna el agua a los peces, este ciclo evita el recambio del vital líquido y sistema de organismos tiene un trabajo importante que están enlazados entre sí.

Figura 4. Diagrama básico de sistema de acuaponía



Fuente: Waleed (2013). *Aquaponics setup – Floating*.

7.4.2. Parámetros de control en sistema de explotación para tilapia

Según Martínez (2006), señala que el pez más utilizado para su explotación piscícola es la tilapia indicando también que tiene una demanda creciente, que es un pez de rápido crecimiento, del cual se conoce muy bien cada etapa en su reproducción así también mencionó que es una especie resistente a enfermedades de fácil manejo y que acepta una alimentación balanceada e incluso que soporta una alta densidad de cultivo.

Según Martínez (2006), la temperatura perfecta para que los peces estén en una atmósfera acorde para su reproducción es de 28-32 °C, cuando decae a los 15 °C los peces dejan de alimentarse y cuando la temperatura tiene una declinación de 12 °C, los peces no logran prolongar su existencia y hay pocas probabilidades que sobrevivan.

Martínez (2006), continúa diciendo que en la época gélida los peces dejan de crecer y el consumo de sus nutrientes sufre una declinación, los peces se estresan y algunas veces expiran a causa de que la temperatura disminuye a 5 °C. Los peces consumen más oxígeno cuando la temperatura sufre una elevación a mayor de 30 °C.

Estos parámetros, el estado de tiempo, el oxígeno, el agua y la luz solar, son factores trascendentales para el desarrollo del cultivo de la tilapia. Estos elementos que contribuyen al proceso de fotosíntesis son impredecibles y a la vez muy necesarios para su crecimiento y supervivencia.

Siendo aspectos que se deben de considerar meticulosamente, dado que tiene mucha incidencia con la tasa de mortandad, enfermedad, conversión de nutrientes y calidad de agua. Habitualmente en los cuerpos ricos de agua, el oxígeno es abundante al final de la tarde y limitado en la madrugada, por tal razón una baja irradiación y una limitación en el proceso de fotosíntesis generan niveles críticos de oxígeno. Por eso es de vital importancia tomar en cuenta el estado de tiempo ya que si el día está nublado hay una variación en los niveles de oxígeno.

Según Martínez (2006), es necesario tomar en consideración cierto grado de salinidad, para la propagación, desarrollo y nutrición de los peces dado que los peces tienen determinada tolerancia a diferentes salinidades y son sensibles a los cambios bruscos de las mismas. El agua de mar contiene 34 ppt (partes por

mil) de salinidad, el agua dulce tiene muy poco o nada, normalmente menor o igual a 1 ppt. La tilapia puede vivir, crecer y reproducirse a una salinidad de 24 ppt.

Por último, pero no menos importante Martínez (2006), indica que el pH está determinando si el agua es sólida o blanda, refiere también que la tilapia crece mejor en aguas de pH neutral. Su desarrollo se limita a aguas ácidas y toleran un pH de 5; una elevación de pH de 10 durante la tarde no las daña y el límite en apariencia es de 11 pH. Lo que propicia una condición buena para el cultivo son valores de pH de 6.5 a 9 pH.

Por lo general, para producir organismos acuáticos dentro de un sistema acuapónico se requiere utilizar un estanque, puesto que es necesario recircular el agua por el sistema de filtrado y el sistema hidropónico, ya que en dichas etapas se extrae el alimento para la etapa bacteriana y las plantas para retornar a dicho estanque el agua libre de contaminantes, esto indica que se deben de tomar en consideración los parámetros mencionados si la explotación fuese con tilapia para regular a cada valor óptimo los elementos en el sistema.

7.5. Producción bacteriana en sistemas acuapónicos

Las bacterias forman parte importante en el proceso acuapónico se instalan en la etapa del filtrado y llevan a cabo la transformación de los desechos de los peces de nitritos a nitrados, posteriormente dichos nitratos son aprovechados por las plantas. (Narváez, 2014, p. 16)

La alimentación de los peces debe de ser muy balanceada, con nutrientes, carbohidratos, vitaminas, entre otros elementos que proporcionan un óptimo

crecimiento ya que estos al realizar la biotransformación de las proteínas crecen, además indica que al crecer crean una defecación nitrogenada vía branquial, el amoníaco no convertido en ion producido es extremadamente tóxico, por lo que, la concentración debe ser mantenerse por debajo de los 0.05mg/L para los peces y el porcentaje depende directamente de la temperatura y del pH del agua. (Narváez, 2014, p. 15)

Para un sistema de recirculación acuícola, el amoníaco es absorbido y transformado por bacterias nitrificantes y en este proceso se emplean dos poblaciones de bacterias, la primera convierte el amoníaco en nitritos y la segunda población de bacterias modifica los nitritos en nitratos que son dañinos para los peces en grandes concentraciones. Esta fase es conocida como nitrificación y se ejecuta en el filtro biológico en dicha etapa es necesario colocar una barrera para la retención de sólidos.

Asegurando Jaime (2019), que es fundamentalmente la purificación del agua la cual se realiza a través de un filtrado mecánico el cual utiliza un material muy sutil que obstruye los desechos sólidos. Esto genera una barrera que paraliza las partículas sólidas en suspensión soslayando que lleguen al filtro biológico y al tallo de las plantas, donde la acumulación desmedida, podrían interrumpir la correcta asimilación de los nutrientes y en casos extremos al ahogo radicular y posteriormente la muerte. A este tipo de filtro biológico es de vital importancia hacerle mantenimiento de alta frecuencia, dado que las partículas atrapadas siguen su proceso de degradación. Por lo cual, es muy estimable instalar un filtro de poro craso para obstruir las partículas más grandes, y después un filtro de orificios finos para las partículas que logren atravesar la primera barrera.

Para Jaime (2019):

El funcionamiento de un filtro biológico se forma de 4 puntos básicos los cuales son:

- Clarificación primaria = eliminación de sólidos: sedimentación, devastado, filtración mecánica. Clarificación antes de la biofiltración.
- Biofiltración = nitrificación y desnitrificación.
- Clarificación secundaria (espumador) = eliminación de floculantes biológicos (coloides).
- Adición de aire / oxígeno, para soportar los peces y las bacterias del biofiltro. (p. 72)

7.6. Producción hidropónica en sistemas acuapónicos

La producción hidropónica es una técnica que está tomando auge en la actualidad, ya que su implementación es sencilla, amigable con el ambiente y produces tus propios frutos, vegetales, o hierbas, pero cuando hablamos de una producción masiva es necesario mantener los parámetros óptimos.

Los componentes que se utilizan principalmente de un sistema acuapónico son de tres tipos para la elaboración de camas de crecimiento para las plantas estos son denominados como: sistemas flotantes, técnicas de película de nutrientes (*nutrient film technique*) y camas de grava, así también nos muestra en la Tabla I la comparación entre dichos sistemas.

Tabla I. **Ventajas y desventajas entre sistemas de camas de crecimiento de plantas**

Sistema	Ventajas	Desventajas
NTF	Fácil de instalar Fácilmente expandible Comparativamente poco mantenimiento	La concentración de oxígeno y nutrientes se reduce al alejarse del tanque de peces el agua con los nutrientes
Camas flotantes	Fácil de operar Bueno para sistemas grandes	Los costos iniciales de instalación son altos, a menos que se estén reconviertiendo estructuras existentes como grandes tanques, o raceways
Camas en grava	Sirven como filtros biológicos y mecánicos Dan soporte a las raíces	En casos de alta carga de partículas orgánicas, las camas pueden taparse y generar ambientes anaerobios Generalmente se usa para sistemas muy pequeños (acuaponía casera)

Fuente: Ramirez, Jiménez y Giraldo (2017). *La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible*.

El tipo de instalación depende directamente del espacio, tipo de plantación, presupuesto entre otros factores, cabe mencionar qué, así como las tilapias son la especie que mejor se ha investigado para su explotación en estos sistemas, también las lechugas son una especie que es muy utilizada debido a su bondadosa capacidad de adaptación y crecimiento, claro que se puede implementar toda clase de huertos o producciones diversas.

Importante visualizar el enfoque de estas técnicas que mejoran la producción y cómo siguen evolucionando “un aspecto importante de la acuaponía (a futuro) es la posibilidad de generar al mismo tiempo peces y plantas orgánicas. Para esto se requiere reemplazar el concentrado que se utiliza normalmente en acuicultura, por alimentos de tipo orgánico” (Ramírez, Sabogal, Jiménez y Giraldo, 2017, p. 46).

Lo mencionado indica que es posible llegar a tener productos 100 % orgánicos, sustituyendo el concentrado con una solución orgánica para aumentar

la calidad de los productos, sin embargo, se sigue investigando en laboratorios en países de primer mundo como vimos en los antecedentes compiten por mejorar los procesos, controles y apoyándose de la evolución tecnológica e industrial, para un bien de la humanidad.

7.7. Internet de las cosas (IoT)

Para Silvestre y Salazar (2019):

El internet de las cosas se conoce más por las siglas IoT (*internet of things*) que se encuentran en inglés, la cual es la red de objetos donde se interconectan toda clase de equipos, dispositivos y otros elementos, estas cosas tienen integradas electrónica, sensores, software y conectividad a la red lo cual, permite a los objetos intercambiar datos.

El IoT ha sido un punto de atención mundial por el gran potencial que tiene proporcionar servicios que antes eran inimaginables mediante la conectividad de las cosas como, sensores, actuadores, automóviles, dispositivos electrodomésticos con conectividad a la red. El IoT permite monitorear de forma remota todos estos sistemas del hogar, granjas, sistemas industriales y muchas más aplicaciones, realizando una integración más directa entre el mundo físico y los sistemas en ordenadores, mejorando tanto la eficiencia, precisión y hasta beneficios económicos.

Por otro lado, se indica que la tecnología IoT también puede ser utilizada tanto para optimizar como para mejorar los procesos de trabajo y el rendimiento de los activos para permitir mejoras en la productividad de muchas aplicaciones industriales. (pp. 7-80)

7.7.1. Estándares y Protocolos de conectividad IoT

Las proyecciones indican que la evolución del IoT irá incrementando a un ritmo muy importante pero que el éxito de IoT depende de la estandarización, que proporciona interoperabilidad, compatibilidad, confiabilidad y efectividad de las operaciones a escala global. Los objetos en un IoT deben poder comunicarse e intercambiar datos entre sí de forma autónoma. (Li, Xu y Zhao, 2014, p. 244)

La Unión Internacional de Telecomunicaciones, la Organización de Código de Producto Electrónico Global, la Comisión Internacional de Electrotécnica, la Organización Internacional para la Estandarización y la IEEE han proporcionado un conjunto de estándares para identificar, capturar y compartir datos utilizando tecnologías RFID. Regionalmente también el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones y el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica han publicado un conjunto de estándares sobre tecnologías fundamentales en IoT, como RFID, WSN, entre otros.

Además, el Instituto Nacional Estadounidense de Estándares en Estados Unidos trabaja en los estándares de gestión de IoT. El estudio sobre IoT en el país norteamericano se convirtió en prioridad de investigación, por lo que, se espera que se aplique en las áreas militar, logística, automatización industrial, industria minorista, aeropuertos, centros de transporte público y hospitales. En Japón, el uID se desarrolló como una infraestructura para conectar las investigaciones fundamentales con la investigación aplicada (Li, Xu y Zhao, 2014).

Mientras que el Instituto de Normalización Electrónica de China está trabajando en los estándares de RFID semi pasiva y banda de frecuencia ultra

alta (UHF) RFID. Se han desarrollado 973 proyectos en China sobre estas estandarizaciones y técnicas fundamentales de IoT En la tabla II, se indican los estándares que se habían integrado en 2014.

Tabla II. **Resumen de estándares en IoT**

Tecnología	Estándar
Comunicación	IEEE 802.15.4(ZigBee)
	IEEE 802.11 (WLAN)
	IEEE 802.15.1(Bluetooth, Low energy Bluetooth)
	IEEE 802.15.6 (Wireless Body Area Networks)
	IEEE 1888
	IPv6 - 3G/4G - UWB
RFID (ID Radiofrecuencia)	RFID tag ISO 11784
	RFID air interface Protocol: ISO 11785
	RFID payment system and contactless smart card: ISO 14443/15693
	Mobile RFID: , ISO/IEC 18092 ISO/IEC 29143
	ISO 18000-1 – Generic Parameters for the Air Interface for Globally Accepted Frequencies
	ISO 18000-2 – for frequencies below 135 kHz
	ISO 18000-3 – for 13.56 MHz
Codificación y datos	EPC Global Electronic Product Code, or EPCTM
	EPC Global Physical Mark Up Language
	EPC Global Object Naming Service (ONS)
Código de producto electrónico	Auto-ID: Global Trade Identification Number (GTIN), Serial Shipping Container Code (SSCC), and the Global Location Number (GLN).
Sensores	ISO/IEC JTC1 SC31 and ISO/IEC
	JTC1 WG7
	Interfaces: IEEE 1451.x, IEC SC 17B, EPC global, ISO TC 211, ISO TC 205
Gestión de Red	ZigBee Alliance, IETF SNMP WG, ITU-T SG 2
	ITU-T SG 16, IEEE 1588

Continuación tabla II.

Medio	ISO TC 205, ITU-T SG 16
QoS (Calidad de Servicio)	ITU-T, IETF

Fuente: Li, Xu y Zhao. (2014). *The internet of things: a survey*.

Cinco años después Silvestre y Salazar, (2019) indica que:

La mayoría de los dispositivos IoT se conectan a Internet mediante medios inalámbricas, por lo tanto, hay que asegurar la velocidad de transferencia de datos, así como el rango de movilidad de los dispositivos que interactúan en el sistema. Al igual que en la Tabla 2, en 2019 se mencionan más estándares y tecnologías de la comunicación que se utilizan en el IoT se menciona el Wifi, el estándar de evolución a largo plazo (LTE), Narrowband IoT (NB-IoT) que es la primera tecnología centrada en conectar a Internet objetos cotidianos que requieren pequeñas cantidades de datos en períodos de tiempo largos o las versiones compatibles con IoT de LTE como Cat-M1 y las comunicaciones de tipo de máquina mejoradas (eMTC). (p. 10)

Entre todos los estándares y protocolos utilizados en IoT el protocolo que conectará cualquier dispositivo a internet debe de ser el protocolo IP, actualmente existen dos versiones, el protocolo IPv4 (*Internet protocol versión 4*) el cual quedará obsoleto con la creciente demanda de direcciones puesto que las aplicaciones IoT pronto será mayor al número de direcciones proporcionada por este protocolo, por lo que, la agencia responsable de la estandarización ha trabajado para implementar ya un nuevo protocolo

denominado IPv6, por primera vez publicado en el documento RFC 2460. (Silvestre y Salazar, 2019, p. 8)

El IPv6 utiliza un formato de direcciones de 128 bits, aproximadamente $3,4 \times 10^{38}$ direcciones y que este tiene 8×10^{28} más direcciones que el estándar anterior IPv4, además del beneficio del aumento de direcciones, se agregó una administración más sencilla, una multidifusión mejorada, encabezados más simples, mejoras en la autenticación, eficiencia, entre otras. (Silvestre y Salazar, 2019, p. 8)

7.7.2. Arquitectura orientada a servicios

Según Li, Xu, y Zhao (2014):

La arquitectura debe garantizar las operaciones de IoT, la cual encierra la conectividad del mundo físico y el virtual, al diseñar un modelo de arquitectura de IoT se debe tener en consideración la extensibilidad, escalabilidad e interoperabilidad entre dispositivos heterogéneos y también del mismo modo el modelo de negocio, debido al hecho que las cosas pueden moverse geográficamente y necesitan interactuar con otros en modo de tiempo real, la arquitectura de IoT debe ser adaptable para hacer que los dispositivos interactúen con otras cosas de forma dinámica y apoyar la comunicación inequívoca de eventos. Además, IoT debe poseer una naturaleza descentralizada y heterogénea. (pp. 246-247)

La tabla III, muestra una Arquitectura Orientada a Servicios (SoA), en IoT una arquitectura genérica de este tipo consta de cuatro capas con funcionalidades distinguidas como se muestra a continuación:

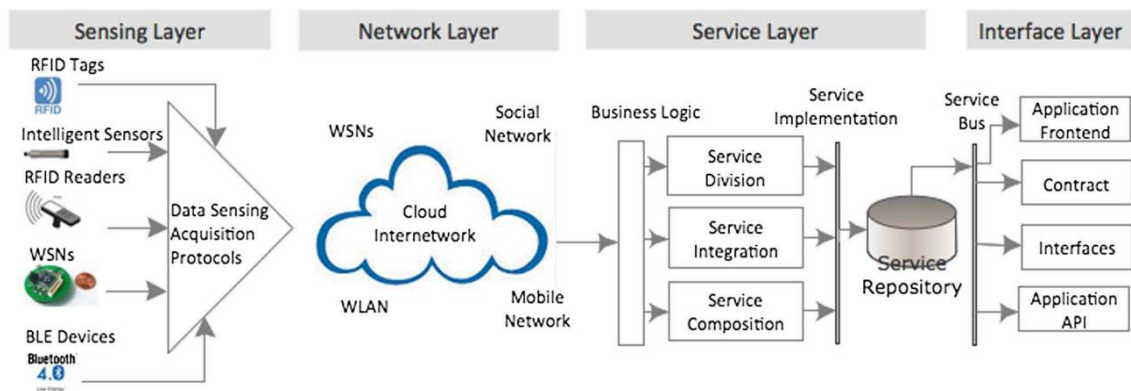
Tabla III. **Modelo para una arquitectura genérica para IoT.**

Capa	Descripción
Sensing layer	La capa de detección está integrada con los objetos de hardware disponibles que detectan las magnitudes físicas a registrar en los distintos sistemas IoT.
Network layer	La capa de red es la infraestructura que se admite a través de redes inalámbricas o conexiones por cable la conectividad de los elementos IoT.
Service layer	La capa de servicio es crear y administrar los servicios requeridos por usuarios o aplicaciones, para el sistema IoT.
Interfaces layer	La capa de interfaces consta de los métodos de interacción con usuarios o aplicaciones en cada sistema IoT.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

La figura 5, proporciona un ejemplo de SoA propuesto en la tabla III para IoT así mismo se observan los detalles de sus componentes.

Figura 5. **SoA propuesto para IoT.**



Fuente: Li, Xu y Zhao. (2014). *The internet of things: a survey*.

7.7.2.1. Capa de detección (*sensing layer*)

En la capa de detección, los sistemas inteligentes por medio de sus sensores pueden detectar automáticamente el entorno e intercambiar datos entre dispositivos. En la última década, las tecnologías de detección han avanzado de tal forma que hicieron que las cosas con RFID o sensores fueran más versátil y accesible, además que IoT ha ampliado su la capacidad significativamente en el sentido de que las cosas se pueden identificar de forma única y los entornos circundantes se pueden monitorear para diversos propósitos y aplicaciones.

Cada objeto en IoT tiene una identidad digital y se puede rastrear fácilmente en el dominio digital. La técnica de la identidad única asignada a un objeto es llamado identificador único universal (UUID). En particular, UUID es fundamental para la implementación exitosa de servicios en una gran red como IoT que el objetivo final es que dicha red esté implementada a nivel mundial dentro de la red de redes Internet.

Según Li, Xu y Zhao (2014) indica que, para determinar la capa de detección de un IoT, es necesario tomar en consideración lo siguiente aspectos:

Costo, tamaño, recursos y consumo de energía. Los elementos que realizan la detección pueden estar equipados con dispositivos de detección como RFID etiquetas o bien ser un nodo sensor. Debido a una gran cantidad de sensores en aplicaciones de sistema complejas, los dispositivos inteligentes deben estar diseñados para minimizar los recursos necesarios inclusive su costo.

Despliegue. Los elementos sensibles (etiquetas RFID, sensores, entre otros). Se puede implementar una sola vez, incremental o aleatoriamente dependiendo de los requisitos de las aplicaciones.

Heterogeneidad. Esta característica de los tipos de sensores y magnitudes genera una variedad de cosas con diferentes propiedades lo cual hace que IoT sea muy heterogéneo. Y la comunicación entre sensores debe existir para hacer cosas accesibles y recuperables. Capa de red, los elementos de esta capa están organizados como *multi-hop*, *mesh* o redes *ad hoc*. (p. 247)

Según Li, Xu, y Zhao (2014), existen dos retos muy importantes los cuales son la eficiencia energética ya que los sensores deben estar activos todo el tiempo para adquirir datos en tiempo real. Esto trae el desafío de suministrar energía a los sensores; la alta eficiencia energética permite que los sensores funcionen durante más tiempo sin la interrupción del servicio y por otra parte los protocolos ya que las diferentes cosas que existen en IoT proporcionan múltiples funciones de sistemas esto implica que IoT debe admitir la coexistencia de diferentes comunicaciones como WLAN, ZigBee y bluetooth.

7.7.2.2. Capa de red (*network layer*)

Según Li, Xu y Zhao (2014):

La capa de red en IoT conecta todas las cosas y les permite estar al tanto de su entorno. A través de la capa de red, las cosas pueden compartir datos con las cosas conectadas, lo cual es crucial para la gestión y el procesamiento de eventos inteligentes en IoT. Además, la capa de red es capaz de agregar datos de las infraestructuras de TI existentes; los datos

se pueden transmitir a las unidades de toma de decisiones para los servicios complejos de alto nivel. En un SoA, los servicios siempre los realizan las cosas, que se implementan en una red heterogénea. En el momento adecuado las cosas también se pueden integrar a través del servicio de Internet. La comunicación en la red puede involucrar la Calidad de Servicio (QoS) para garantizar servicios confiables para diferentes usuarios o aplicaciones.

En dicha capa de red es fundamental que una red identifique y mapee automáticamente todas las cosas que se conecten a la red. Las cosas deben tener roles asignados automáticamente para implementar, administrar y programar los comportamientos de las cosas y poder cambiar a cualquier rol en cualquier momento como sea el requerimiento o la necesidad. Esto permite que los dispositivos realicen tareas de forma colaborativa. En la capa de red se deben de considerar: las tecnologías de gestión de redes, incluida la gestión redes fijas, inalámbricas y móviles, también la eficiencia energética de la red y los requisitos de QoS así como las tecnologías para la minería y la búsqueda, el procesamiento de datos y señales, la seguridad y privacidad de cada elemento o cosa en la red. (p. 248)

7.7.2.3. Capa de servicios (*service layer*)

La capa de servicio se basa en la tecnología de middleware, que es un habilitador clave de servicios y aplicaciones en IoT. La tecnología de middleware proporciona una plataforma rentable, donde las plataformas de hardware y software se pueden reutilizar, un ejemplo de esta tecnología son las bases de datos.

La capa de servicio involucra actividades requeridas por las especificaciones del servicio intermedio. Los servicios de esta capa se ejecutan directamente en la red para localizar de forma eficaz nuevos servicios para una aplicación y recuperar metadatos de forma dinámica sobre los servicios.

La mayoría de las especificaciones se llevan a cabo mediante varios estándares desarrollados por diferentes organizaciones. Sin embargo, homologar una capa de servicio para ello la capa de servicio consiste en un conjunto mínimo de requisitos comunes de aplicaciones, interfaces de programación de aplicaciones (API) y protocolos que soportan las aplicaciones y servicios requeridos (Li, Xu y Zhao, 2014).

Todas las actividades orientadas al servicio, como el intercambio y almacenamiento de información, la gestión de datos, la base de datos de ontologías, los motores de búsqueda y la comunicación, se realizan en la capa de servicio.

Las actividades se llevan a cabo mediante los siguientes componentes: el descubrimiento de servicios encuentra objetos que pueden proporcionar el servicio y la información necesarios de manera eficaz, también la composición del servicio permite la interacción entre cosas conectadas y el hallar cosas conectadas crea las relaciones de las mismas para encontrar el servicio deseado, así también la composición del servicio programa o recrea un servicio más adecuado para que se obtenga los servicios más confiables. La gestión de la confiabilidad tiene como objetivo comprender cómo se debe procesar la información proporcionada por otros servicios y los servicios de API proporciona las interacciones entre los servicios requeridos por los usuarios.

7.7.2.4. Capa de interfaz (*interface layer*)

En IoT, están involucrados una gran cantidad de dispositivos; estos dispositivos pueden ser proporcionados por diferentes proveedores, por lo tanto, no siempre cumplen con los mismos estándares. Es necesario que la compatibilidad entre las cosas heterogéneas se aborde para una correcta interacción entre las cosas, es por ello que anteriormente enfatizamos en indicar las organizaciones de estándares que están trabajando en ello puesto que la compatibilidad implica el intercambio de información, la comunicación y el procesamiento de eventos. Existe una gran necesidad de un mecanismo de interfaz eficaz para simplificar la gestión y la interconexión de las cosas. Un perfil de interfaz (IFP) puede verse como un subconjunto de estándares de servicio que permite una interacción mínima con las aplicaciones que se ejecutan en las capas de la aplicación. Los perfiles de interfaz se utilizan para describir las especificaciones entre aplicaciones y servicios. Una ilustración de la capa de interfaz es la implementación de *Universal Plug and Play* (UPnP), que especifica un protocolo para las interacciones fluidas entre elementos heterogéneos. (Li, Xu y Zhao, 2014, p. 249)

7.7.3. Plataformas IoT

Según Silvestre y Salazar (2019):

Las plataformas IoT deben de ser capaces de recopilar la información enviada por los dispositivos conectados, con dicha recopilación debe de ser fácil crear aplicaciones para móvil u otros dispositivos para monitorear o visualizar dicha información, así también trabajar en los mismos o transmitir órdenes para la operatividad de los sistemas. Es decir que la operatividad

de dicha plataforma es para administrar, analizar, almacenar y exponer los datos de manera especializada con servicios específicos.

Las plataformas más famosas que se pueden encontrar en el mercado actual son: AWS IoT, Azure IoT Hub, Oracle Cloud, Ericsson IoT, Watson Internet of Things, Xively, Samsung ARTIK, Adafruit IO. (p. 12)

Estas plataformas pueden trabajar fácilmente cubriendo las capas de red, capa de servicios y capa de interfaz, por lo que, se incluye a más detalle AWS para obtener un panorama más amplio de los servicios que se pueden obtener para aplicaciones IoT.

7.7.3.1. Plataforma AWS IoT

AWS indica que posee servicios de IoT para soluciones comerciales, industriales y para consumidores, desde las ubicaciones de borde de red hasta la nube, así mismo AWS IoT combina la administración de datos con el análisis de los mismos datos, es decir, servicios fáciles de usar diseñados para datos IoT, ofrece además inteligencia artificial pues puede crear modelos en la nube e implementarlos en dispositivos, seguridad de múltiples capas como control de acceso y cifrado así como servicios para monitorear y auditar configuraciones de manera continua (AWS IoT, 2021).

7.7.3.2. Servicios de software AWS IoT

AWS IoT facilita software para los equipos de borde como el sistema operativo FreeRTOS el cual se desarrolló para microcontroladores y el cual se utiliza para programación, implementación, protección a la conexión y la administración de los dispositivos de borde o mejor dicho de última milla. Dicho

software es gratuito con la licencia de código abierto MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts), incluye un kernel o núcleo y una serie de bibliotecas de software que se sigue desarrollando este sistema operativo es útil para muchas áreas y aplicaciones que necesiten incluir una conexión de forma segura hacia los servicios en la nube como AWS IoT Core o con otros equipos de borde más potentes en los que siempre se sigan ejecutando servicios de AWS como el IoT Greengrass (AWS IoT, 2021).

Otro software AWS IoT proporciona es AWS IoT Greengrass el cual permite que equipos de borde puedan ejecutar modelos de aprendizaje automático, contenedores Docker o funciones AWS Lambda (servicios que permite ejecutar código sin aprovisionar un servidor para ello), este software también mantiene los datos de los dispositivos sincronizados e implementa seguridad en la conexión con otros dispositivos, también puede utilizar lenguajes o modelos de programación populares para realizar programas y realizar pruebas de funcionamiento como un simulador para posteriormente cargar a los dispositivos de borde (AWS IoT, 2021).

7.7.3.3. Control y conectividad AWS IoT

AWS IoT, contiene una amplia gama de servicios para control y conectividad entre los cuales podemos mencionar: AWS IoT Core los cuales permiten la interconectividad sea sencilla y segura entre los equipos y las aplicaciones en la nube, AWS IoT Device Defender quien continuamente monitorea y audita las configuraciones previendo que no se desvíen de las prácticas de seguridad recomendadas y AWS IoT Device Management servicio que proporciona la administración remota de dispositivos IoT así como también facilita el registro, el monitoreo y la organización de dichos dispositivos (AWS IoT, 2021).

7.7.3.4. Servicios de análisis AWS IoT

AWS IoT proporciona servicios de análisis de datos entre ellos AWS IoT Analytics que facilita un estudio sofisticado en grandes cantidades de datos de IoT, así también su servicio de AWS IoT SiteWise que proporciona el análisis de datos industriales a escala, AWS IoT Events que realiza tareas de detección y da respuesta a una gran cantidad de dispositivos, aplicaciones o sensores compatibles a IoT, y por último AWS IoT Things Graph que combina modelos para crear aplicaciones con interfaz visual de IoT este servicio también coordina la interacción entre los servicios en la nube y los dispositivos, una vez implementado puede aplicar AWS CloudWatch para monitorear los flujos mediante la recolección y el procesamiento de datos (AWS IoT, 2021).

7.8. Controladores lógicos programables (PLC)

Según Salazar y Darío (2010) por lo general, la automatización en la industria se realiza implementando controladores lógicos programables, que como su nombre lo indica es una forma de controlar un sistema o proceso por medio de un equipo al cual se le carga un programa que se desarrolló aplicando la lógica automatismo.

Este equipo remplazo aquellos relés, circuitos eléctricos, accionamientos mecánicos, entre otras cosas por líneas de programación, lo cual, generó un importante avance en su momento, así como un gran ahorro de capital al reemplazar estos elementos por líneas de código en el programa. Y aún mejor siendo reconfigurable puesto que cualquier cambio es factible sin instalaciones o conexiones.

Según Cristani, Demrozi y Tomazzoli (2018) indica que:

Una gran cantidad de plantas industriales que controlan maquinarias complejas y utilizan sensores y actuadores, emplean controladores lógicos programables (PLC) y que estos ejecutan una programación en un lenguaje especial por ejemplo LADDER, AWL, 1TOOL y que por lo general utilizan modelos en cascada, lo que hace que el PLC pueda gobernar un gran grupo de instrumentos por medio de señales pero que se requiere acondicionamiento de señales y sincronización de funciones, sigue diciendo que el acondicionamiento de señal se refiere a que tanto las señales de entrada como las salidas deben de ser compatibles, es decir, los requerimientos de voltaje o corriente que utilizan los sensores, actuadores y los módulos de GPIO (*General Purpose Input/Output*, Entrada/Salida de propósito general) deben ser correlacionados unos a los otros. (p. 257)

7.8.1. Sincronización y conectividad

Acerca de la sincronización y conectividad Cristani, Demrozi, y Tomazzoli (2018) indica que:

Para la sincronización de funciones es necesaria para garantizar que la señal de origen de los sensores o la de destino, para los actuadores conectados por GPIO, sea leída por el protocolo en uso en el sistema (normalmente ModBus, Carel o TCP / IP para soluciones estándar de IoT) con un reloj temporal especialmente dedicado al proceso de lectura. El tiempo para que un GPIO entregue una señal específica puede depender directamente de la fuente, o puede establecerse para el propósito de la comunicación de una manera intencionalmente dirigida. (p. 527)

7.8.2. Configuraciones de salida

Las configuraciones de salida se pueden describir en tres grupos básicos: controles binarios que activan o desactivan un actuador determinado, el incremento o decremento de algún parámetro para un actuador digital o analógico para cambiar el valor de un ambiente y *Set-Point* fijo que establece un parámetro en un valor al que se debe configurar un actuador.

7.8.3. Configuraciones de entrada

El sistema típico basado en PLC tiene dos categorías de componentes o entradas: sensores (dispositivo que interactúa directamente con el sistema bajo medición, comúnmente se refiere sólo al componente que convierte la cantidad física de entrada en una señal) y actuadores (dispositivo por el cual un agente actúa sobre un sistema: el agente puede ser un agente de inteligencia artificial o cualquier otro ser autónomo como un ser humano).

7.8.4. Variables y magnitudes físicas

Una variable física es como representamos algún fenómeno físico, mientras que la forma en que cuantificamos dicho fenómeno físico es una magnitud física, ambos conceptos están siempre en sistemas que se utilizan para procesar información, en los sistemas de ingeniería modernos siempre tenemos esa necesidad de cuantificar variables físicas para lo cual nos apoyamos de sensores, es decir, el sensor detecta el cambio en la variable física estudiada mientras que la cuantificación de la magnitud física es procesada para dar lugar a un actuador realice una acción sobre algún elemento en respuesta de los cambios. (Ramírez, Jiménez y Carreño, 2014, p. 2)

7.8.5. Transductores

Un transductor es un elemento que permite cambiar una variable física, señal o dato en otra de diferente dominio o forma, es decir, el transductor está implícitamente presente en los sensores, actuadores o también podría estar presente entre dispositivos. El sensor cambia la variable física en una señal eléctrica u otro tipo de energía representando la magnitud de la variable, mientras que el actuador represente la solicitud de accionamiento en la acción para la que está hecho, así mismo, puede que en ambos casos sea necesaria la intervención de un transductor más para acomodar las señales y que dicho transductor realice dicha transformación para transformar, transportar, visualizar, ajustar, filtrar, entre otras acciones, la variable medida. (Ramírez, Jiménez y Carreño, 2014, pp. 3-4)

7.8.6. Principios de transducción

“Los transductores utilizar el principio de la transformación de la energía para obtener la función deseada, existen distintos tipos de transducción de energía entre los cuales están el piezoresistivo, capacitivo, piezoeléctrico, ultrasónico, magnético, térmico, fotoeléctrico, químico-eléctrico y resistivo” (Ramírez, Jiménez y Carreño, 2014, pp. 4-17).

7.8.7. Sensores

Un sensor es un dispositivo o elemento que transduce una variable física tomada de un fenómeno físico y provee una salida manipulable o utilizable. El sensor únicamente puede ser un dispositivo de entrada y utilizar la función de transductor para generar una señal útil como definimos, esta es la principal diferencia con el transductor el cual puede ser un dispositivo

intermediario como se mencionó para adecuar la magnitud física. (Ramírez, Jiménez y Carreño, 2014, p. 18)

7.8.7.1. Clasificación de sensores

Según la variable física a medir podemos clasificar los sensores en: sensores de posición, velocidad y aceleración, sensores de nivel y proximidad, sensores humedad y temperatura, sensores de fuerza y deformación, sensores de flujo y presión, sensores de color, luz y visión, sensores de gas y pH, sensores biométricos y sensores de magnitudes eléctricas. (Ramírez, Jiménez y Carreño, 2014, p. 18)

7.8.8. Acondicionado de señal

A la salida de un sensor en la mayoría de los casos se conecta un elemento o dispositivo que acondiciona la señal, para su transporte o acomoda al tipo de señal que se desea para el sistema de procesamiento, este es un dispositivo transductor también, sin embargo, muchas veces lo hace en varias etapas, podría amplificar la señal proveniente del sensor, filtrar la señal, convertir la salida del sensor no lineal en una señal lineal, e incluso convertirla de una señal analógica a una digital. (Ramírez, Jiménez y Carreño, 2014, pp. 40-41)

7.8.9. Actuadores

Los actuadores son elementos que reaccionan a una señal de entrada con un cambio de posición o estado sobre algún tipo de elemento físico, siempre utilizando la transformación de energía, se pueden clasificar por el tipo de energía

que manejan como neumático, eléctrico e hidráulico, así también por el tipo de movimiento como: lineal o rotativo.

7.9. Evolución al IoT-PLC

La arquitectura basada en el controlador lógico programable (PLC) ofrece evidentes ventajas. Sin embargo, si nos centramos en los aspectos a largo plazo del desarrollo de plantas industriales, notamos algunos inconvenientes importantes. En su momento la ventaja de rigidez donde un PLC puede operar durante décadas hoy en día se convierte en una desventaja al cambio de tecnología, existen PLC con tecnología y funciones que se remontan al tiempo de instalación, impidiendo la actualización de cualquier funcionalidad nueva que pueda necesitar la empresa.

Además, los PLC pueden ser bastante costosos y los costos aumentan fácilmente, por lo tanto, el objetivo es definir una arquitectura que pueda superar estas desventajas y ofrecer una mejor capacidad de mantenimiento y menores costos de producción y actualización.

El dispositivo IoT garantiza varias características ventajosas, incluidas, en particular, formas innovadoras de detectar y entregar información del mundo físico a la nube. Cuando se implementa la metodología que estamos ideando, los desarrolladores se enfrentan a dos escenarios posibles: una marca nueva instalación y una instalación existente en la que uno o más dispositivos deben ser reemplazados, cuando hay una opción entre actualizar un sistema basado en PLC existente, sin cambiar la arquitectura y en su lugar poder implementar una solución SBC (*session border controller*) (Cristani, Demrozi y Tomazzoli, 2018).

La evolución tecnológica ha afectado positivamente al mundo de la automatización industrial hacia la llamada Industria 4.0 en numerosos aspectos prácticos, como el flujo de desarrollo de software y la calidad de control, ya que los lenguajes que se utilizaban para controlar sensores y actuadores por PLC están quedando obsoletos en varios sentidos ejemplo de ello es que los lenguajes para PLC no aprovecharon mucho la evolución como otros sistemas de control, por ejemplo, un controlador de borde SBC, o los proyectos de código abierto como Arduino y los comerciales como Android, han dejado espacio para una nueva frontera en automatización industrial: la fase de transición entre tecnologías controladas por PLC hacia sensores y actuadores completamente controlados por programación de alto nivel. Este enfoque también tiene la gran ventaja de brindar la oportunidad de implementar soluciones que se adapten a la línea de progreso de Internet de las cosas, o más prácticamente, a dispositivos que utilizan el protocolo TCP / IP. Lo que se está llamando Industria 4.0.

7.10. Evolución IoT–SCADA

El control de supervisión y la adquisición de datos, es un sistema de software y hardware que controla los procesos industriales tanto local como remotamente y lo hace en tiempo real, por lo que, SCADA e IoT son muy similares y SCADA está implementado en áreas de gran importancia como petróleo, energía, mar, equipos, vehículos, entre muchos más, con tres y hasta cuatro generaciones está bien anclada esta tecnología a la industria junto con los PLCs, sin embargo aun con Industria 4.0 todos estos sistemas están configurados para usar bases de datos en SQL, datos a través del navegador, y a la conectividad a nube por medio de MQTT transporte de telemetría de cola de mensajes (*message queuing telemetry transport*).

Esencialmente con la llegada del IoT debería potencializar los sistemas actuales puesto que IoT trabaja en el borde de esta clase de sistemas SCADA y PLC, sin embargo, existe mucha incertidumbre de si al final los terminará absorbiendo, porque IIoT (internet industrial de las cosas) lo amenaza, por ejemplo, SCADA es útil aun en Industria 4.0 pero no es un sistema verdaderamente en línea o conectado, ahora SCADA ha empezado a integrar una serie de opciones de conectividad con IoT obteniendo un sistema de escalable, también con dicha conectividad se pueden generar una amplia gama de informes.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

ANTECEDENTES

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

JUSTIFICACIÓN

OBJETIVOS

NECESIDADES PARA CUBRIR Y ESQUEMA SOLUCIÓN

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Acuicultura

1.2. Hidroponía

1.3. Acuaponía

1.3.1. Sistemas Acuapónicos

1.3.2. Producción acuícola en sistemas acuapónicos

1.3.3. Producción bacteriana en sistemas acuapónicos

1.3.4. Producción hidropónica en sistemas acuapónicos

1.4. Automatización

1.4.1. Sensores

1.4.2. Actuadores

1.5. Controladores lógicos programables (PLC)

- 1.5.1. Programación
- 1.6. Conectividad al internet de las cosas (IoT)
- 1.7. Diseño de arquitectura de conectividad a la red

- 2. RECOLECCIÓN DE DATOS
 - 2.1. Análisis de parámetros óptimos

- 3. DISEÑO Y PRESENTACIÓN
 - 3.2. Diseño de arquitectura de conectividad a la red
 - 3.1.1. Diseño de software PLC para la solución
 - 3.3. Simulación de funcionamiento y control de variables
 - 3.4. Interfaz gráfica
 - 3.5. Pruebas de funcionamiento

- 4. ANÁLISIS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
 - 4.1. Consideraciones en los diseños de automatización.
 - 4.2. Evolución al PLC-IoT
 - 4.3. Evolución IoT–SCADA

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. MARCO METODOLÓGICO

Según Arias (2012):

El marco metodológico es el que marca como su nombre lo indica la metodología para utilizar en el proyecto de investigación, dichos métodos deben de incluir el tipo o los tipos de investigación, sus técnicas e instrumentos, los cuales son utilizados para llevar a cabo la investigación como tal, es decir marca el cómo hacer el proyecto. (p. 110)

9.1. Diseño de la investigación

El diseño de investigación que mejor se adopta para realizar el diseño de automatización es del tipo experimental, dado que el objetivo del estudio consistirá primeramente en recopilar la información necesaria para establecer los parámetros físicos de los sistemas acuapónicos, acuícolas e hidropónicos y posteriormente se utilizará dicha información para experimentar.

Según Sampieri, Collado y Lucio (2006) “el diseño experimental es aquel que se utiliza para manipular una causa y así obtener un posible efecto” (p. 160).

Sin embargo, el diseño es experimental del tipo cuasiexperimental debido a que el experimento se basa en simulaciones lógicas y tiene un alcance exploratorio considerando que el tema de la acuaponía tiene un sustento teórico suficiente, se investigan como primer objetivo los datos preexistentes del modelo físico para automatizarlo con esta propuesta usando IoT y PLC para alcanzar los objetivos del estudio.

Según Sampieri, Collado, y Lucio, (2006):

El diseño cuasiexperimental toma al menos una variable independiente y esta es manipulada deliberadamente para observar los efectos y reacciones con las demás variables, en esta clase de diseños no se asigna al azar a los grupos es decir desde el inicio del experimento se ha acordado las entradas al sistema, por lo tanto, no se tiene garantizada la equivalencia al inicio por no existir la aleatoriedad. (p. 203)

9.2. Enfoque de la investigación

El presente trabajo será diseñado bajo el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo, puesto que es el que mejor se adapta a las características y necesidades de la investigación.

Según Sampieri, Collado y Lucio (2006) el enfoque cuantitativo se fundamenta en el positivismo, neopositivismo o pospositivismo, e indica que en el punto de partida de la investigación existe una realidad que conocer y se estudia una realidad objetiva, así también esta realidad no cambia al tomar los datos o mediciones, aplica la causalidad, se basa en el estudio de variables, el investigador intenta asegurar procedimientos rigurosos y objetivos de recolección de datos, la teoría se genera en la comparación de resultados con estudio de investigación previos.

9.3. Población de estudio

La población depende directamente de la cantidad de peces, tamaño del estanque y relación de peces por planta, en un sistema de acuaponía existente sin ser automatizado o también dependerá directamente del sistema de acuicultura que subirá de nivel a un sistema de acuaponía agregando la parte de hidroponía y tomando una explotación intensiva de 10,000 peces como población.

Además, se tiene otra clase de población en este estudio, es decir, las personas a quienes se les practica encuestas en las granjas acuícolas, hidropónicas y/o acuapónicas, de esta población se pretende obtener parámetros físicos aplicados a los sistemas existentes, para comparar posteriormente en la investigación los datos óptimos para la producción tanto de los peces como para las plantas en el sistema investigado.

9.4. Tipo de muestreo

Por el tipo de muestra el estudio es probabilístico ya que en la muestra se toman los valores aleatoriamente.

9.5. Tamaño de la muestra

Para una explotación intensiva de 10,000 peces, utilizando una distribución normal, con un nivel de confianza del 95 % que correspondiente a una Z alfa de $Z=1.96$ y un margen de error de 4 %, tendríamos una muestra aproximada de 566 peces según el siguiente procedimiento:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

n = Muestra

N = Tamaño de la población o universo

Z_{α} = Parámetro estadístico del nivel de confianza (NC)

p = Probabilidad de que ocurra en evento en estudio

q = Probabilidad de que no ocurra el evento en estudio

e = Error de estimación máximo aceptado

Sustituyendo lo datos, se observa que el tamaño de la muestra es de:

$$n = \frac{10,000 * 1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.04^2 * (10,000 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 566.31 \cong 566 \text{ peces}$$

Esta muestra es la determinada para examinar y tomar los valores preestablecidos por medio de las técnicas de investigación que se detallan en los siguientes apartados.

La población de personas encuestadas es limitada, según la investigación en el departamento de Escuintla únicamente están registradas 4 granjas de actores en la agro cadena de la tilapia en el registro del MAGA, por supuesto que existen más puntos de medición, pero se encuentran en la producción informal de Guatemala, por lo tanto, la muestra de esta población es igual a la población misma.

9.6. Técnicas de la investigación

Las técnicas de investigación a utilizar son la documentación, encuestas y entrevistas.

9.6.1. Investigaciones previas y entrevistas

Se obtendrán parámetros físicos a partir de la documentación existente de investigaciones previas de los sistemas de acuicultura, hidroponía y acuaponía, para así tener datos a ingresar y controlar por el diseño del sistema de automatización e IoT.

Se realizarán visitas de campo para obtener datos empíricos a través de entrevistas, así como datos medibles en caso exista la posibilidad y serán cotejados con los datos obtenidos en las investigaciones previas para los sistemas acuapónicos, para obtener los valores óptimos y que el diseño de automatización responda a dichos datos.

9.7. Instrumentos de recolección de datos

A continuación, se describirán los instrumentos que se utilizarán para la recolección de datos.

9.7.1. Documentos

A partir de la técnica de documentación, se obtendrán datos que serían imposibles de alcanzar sin una implementación previa, o un aparato de medición específico y de alto precio, por ello nos apoyaremos en las mediciones e investigaciones ya realizadas y los principales valores óptimos a determinar son

el pH, temperatura, oxígeno disuelto OD, nitrógeno total y alcalinidad del agua, entre otros.

9.7.2. Entrevistas

Se realizarán entrevistas a las personas en las granjas que se visiten para obtener los valores que actualmente rigen sus procesos, sean estos con un grado de automatización o no, además se realiza el registro de su historial de mediciones los cuales se obtienen por sensores existentes en granjas con un nivel de automatización existente si se permite el acceso a dichos datos.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

El análisis de los datos obtenidos bajo las técnicas de investigación mencionadas se realizará, estadísticamente para identificar los puntos óptimos y así utilizar dichos valores como parámetros fijos de entrada al proceso de optimización.

Según Sampieri, Collado y Lucio (2006):

El primer paso es describir estos datos obtenidos en las técnicas de recolección e investigación de manera estadística, para estos valores cada variable o parámetro pueden indicarse por medio de su distribución de frecuencia, además indica qué una distribución de frecuencias es un conjunto de puntuaciones ordenadas en sus respectivas categorías. (p. 419)

Para el análisis de los datos se efectuará con estadística descriptiva, con distribuciones de frecuencia, promedios, media, desviación, entre otros, para luego realizar el diseño de solución propuesto el cual tomará los valores calculados y se regulará en base a dichos datos, esto se realiza para cada magnitud física en el sistema acuapónico que sea necesaria para el control en la producción.

11. CRONOGRAMA

El propósito del siguiente inciso es presentar la organización cronológica del plan de solución, organizado por semanas, abarcando un total de 32 semanas, desde el inicio hasta la presentación del informe final.

La primera fase pretende investigar los documentos existentes de los sistemas relacionados, es decir, las investigaciones previas o similares a la propuesta, para obtener los valores óptimos, esto tiene un plan de 4 semanas.

La segunda fase consiste en definir el PLC, sensores y actuadores óptimos para el diseño de automatización, al cual se debe esta investigación, con una duración de 3 semanas, para lo cual se enlistan dichos elementos y se establece como seleccionar estos elementos dependiendo de los distintos casos.

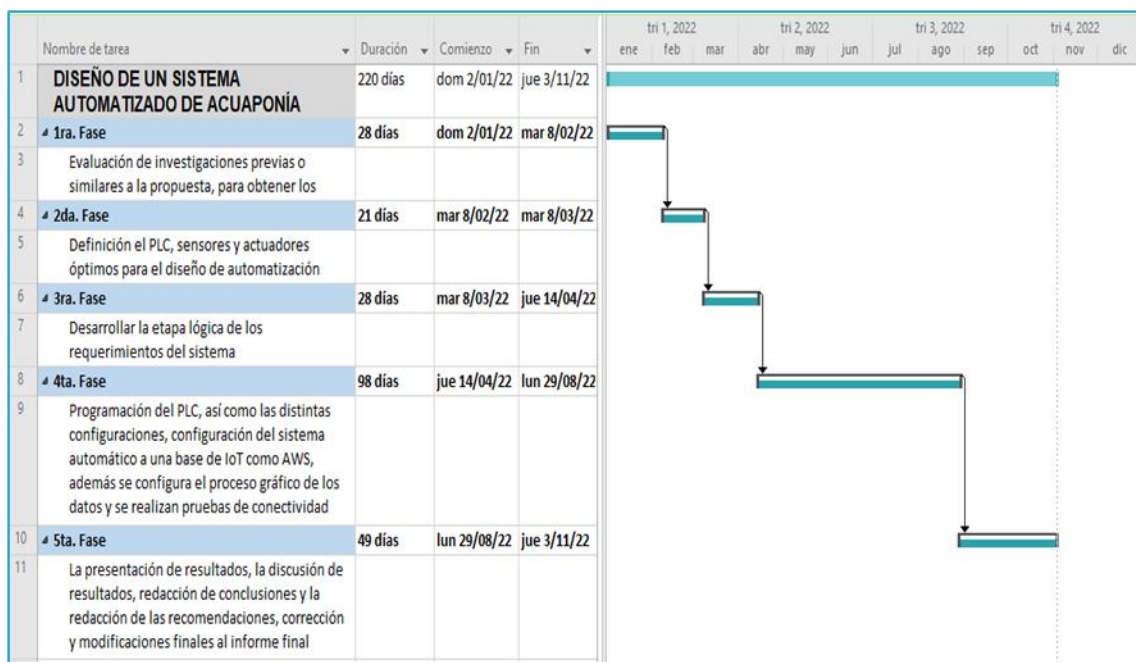
La tercera fase consiste en desarrollar la etapa lógica de los requerimientos del sistema, para así realizar un borrador de las entradas y salidas, tipos de señales, cálculos de distancias, corrientes, voltajes, interconexión y demás detalles, con una duración de 4 semanas.

La cuarta fase consiste en la programación del PLC, así como las distintas configuraciones, configuración del sistema automático a una base de IoT como AWS, además se configura el proceso gráfico de los datos y se realizan pruebas de conectividad esta etapa tiene un plan de 14 semanas.

En la última fase con 7 semanas se realiza la presentación de resultados, la discusión de resultados, redacción de conclusiones y la redacción de las recomendaciones, corrección y modificaciones finales al informe final.

En la siguiente ilustración se muestra en un diagrama de Gantt, la planificación de las fases propuestas para la investigación y desarrollo del proyecto de diseño planteado.

Tabla IV. **Cronograma de actividades**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Project.

12. FACTIBILIDAD DE ESTUDIO

La investigación será financiada por el investigador y dentro de los recursos humanos necesarios se encuentra el tiempo del investigador y asesor. Además, para la investigación se realizarán visitas técnicas a las granjas relacionadas a al estudio del departamento de Escuintla, por lo que, se cuantifica los viáticos, también se toma los materiales necesarios para llevar a cabo investigación, como el vehículo de transporte, el combustible, papelería, útiles, impresora, computador, internet, hardware, entre otros gastos, estos se especifican de mejor manera en la siguiente tabla.

Tabla V. **Presupuesto de gastos para la investigación**

Tipo de Recurso	Descripción	Presupuesto
Humano	Investigador	Q. 10,000.00
	Asesor	Q. 0.00
Materiales	Oficina	Q. 0.00
	Lapiceros	Q. 50.00
	Folders y hojas	Q. 200.00
	Encuadernación	Q. 400.00
	Computadora personal	Q. 1,000.00
	Impresiones	Q. 300.00
	Hardware	PLC básico
Software	IoT plataforma	Q. 800.00
Otros Gastos	Llamadas e internet	Q. 1,400.00
	viáticos	Q. 1,750.00
	Transporte	Q. 1,200.00
	Otros gastos	Q. 1,000.00
	Gastos imprevistos	Q. 1,000.00
Total		Q. 20,700.00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

13. REFERENCIAS

1. Alexandratos, N. y Bruinsma, J. (2012). *World agriculture towards 2030/2050: The 2012 revision*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
2. Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. Caracas, Venezuela: Editorial Episteme.
3. AWS IoT. (08 de febrero, 2021). *Internet de las cosas*. Obtenido de Plataforma como servicio. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://aws.amazon.com/es/iot/>.
4. Bmotik. (10 de enero, 2020). *Internet de las Cosas y SCADA ¿Uno de ellos va a remplazar al otro?* [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://bmotik.com/internet-de-las-cosas-y-scada-uno-de-ellos-va-a-reemplazar-al-otro/>.
5. Catania, E. (11 de junio, 2021). *Acuaponía: Aportando soluciones a la escasez de agua*. [Archivo de Video]. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=AToh7mMYVO0>.
6. CORDIS. (18 de octubre, 2017). *Innovative model and demonstration based water management for resource efficiency in integrated multitrophic agriculture and aquaculture systems*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://cordis.europa.eu/article/id/203873-sustainable-food-production-through-aquaponics>.

7. Cristani, M., Demrozi, F. y Tomazzoli, C. (enero, 2018). ONTO-PLC: An ontology-driven methodology for converting PLC industrial plants to IoT. *Procedia Computer Science*, 126, 527-536. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/327299766_ONTO-PLC_An_ontology-driven_methodology_for_converting_PLC_industrial_plants_to_IoT
8. Diver, S. (2006). *Aquaponics - Integration of hydroponics and aquaculture*. Estados Unidos: National Sustainable Agriculture Information Service.
9. Eltrano, J. y Gimenez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Argentina: Universidad Nacional de La Plata. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1.
10. Fernández, S. F., Sánchez, J. M., Córdoba, A. y Largo, A. C. (2002). *Estadística descriptiva*. Madrid, España: ESIC.
11. Gómez Merino, F. C., Ortega López, N. E., Téllez, T., I., L., Sánchez Páez, R., Salazar Marcial, E. y Salazar-Ortiz, J. (mayo, 2015). La acuaponía: alternativa sustentable y potencial para producción de alimentos en México. *Agroproductividad*, 8(3), 60-65.
12. Gouvea, M. (2010), Hidroponía. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://flic.kr/p/8KsgCp>.

13. Jaime, J. A. (2019). *Cultivo Acuapónico: Guía especializada*. España: Aula del Mar. Recuperado de <https://www.cifalmalaga.org/web/wp-content/uploads/2020/04/2019.11.07-LIBRO-ACUAPONIA.pdf>.
14. Li, S., Xu, L. y Zhao, S. (abril, 2014). The internet of things: a survey. *Information Systems Frontiers*, 17, 243-259.
15. Martínez, M. A. (2006). *Manejo del cultivo de tilapia*. Managua, Nicaragua: CIDEA. Recuperado de <https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>.
16. Narváez, C. A. (2014). *Efecto de la naturaleza del substrato de filtros biológicos anaeróbicos en la eficiencia de depuración de nitrato en sistemas de recirculación acuícolas marinos* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Agraria La Molina, Peru.
17. Nelson, R. y Pade, J. (junio, 2007). Aquaponic Equipment the Clarifier. *Aquaponics*, 4(47), 31.
18. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (23 abril, 2003). Obtenido de Acuicultura: principales conceptos y definiciones. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://www.fao.org/spanish/newsroom/focus/2003/aquaculture-defs.htm>.
19. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2017). *The future of food and agriculture: Trends and*

challenges. Italia: Autor. Recuperado de
<http://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>.

20. Rakocy, J. E., Masser, M. P. y Losordo, T. M. (noviembre, 2006). Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics integrating fish and plant culture. *Publicación SRAC*, (454), 1-16.
21. Ramirez, D., Sabogal, D., Jiménez, P. y Giraldo, H. H. (enero, 2017). La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 4(1-2), 32-51.
22. Ramírez, L. G., Jiménez, G. S. y Carreño, J. M. (2014). *Sensores y actuadores*. México: Grupo Editorial Patria.
23. Salazar, V. y Darío, R. (2010). *Control lógico programable*. Colombia: Fondo Editorial ITM. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12622/1958>.
24. Sampieri, R. H., Collado, C. F. y Lucio, P. B. (2006). *Metodología de la Investigación*. México. McGraw-Hill Interamericana.
25. Silvestre, S. y Salazar, J. (2019). *El mundo Internet of Things (IoT)*. Republica Checa: Universidad Tcnica Checa de Praga.
26. Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. y Lovatelli, A. (2014). *Mallscale aquaponic food production: integrated fish and plant farming*. Roma: FAO.

27. Valdez, C. y Guerra, D. (2016). *Experiencias en la investigación de acuaponía con chiles nativos de Guatemala y tilapias*. Guatemala: Editorial Serviprensa.
28. Villalobos Reyes, S. y González Pérez, E. (abril,2016). Determinación de la relación pez planta en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) en sistema de acuaponia. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(5), 983-992.
29. Waleed Alzuhair (2013), Aquaponics setup – Floating. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://flic.kr/p/e3hQ7a>.
30. WorldFish (2017). Hapas dentro de un estanque para peces en Jitra, Malasia. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://flic.kr/p/HKXi42>.

