

Información Importante

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea del CRAI-Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la CRAI-Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-Biblioteca

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

Solución IoT para la optimización del proceso de piscicultura en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal

**Solución IoT para la optimización del proceso de piscicultura en el Centro de Desarrollo
Agroalimentario El Limonal**

Lisbeth Haydee Rivera Betancur

Trabajo de grado para optar el título de Magister en Redes y Sistemas de Comunicación

Director

Ricardo Alvarado Jaimes

Director

Tito Raúl Vargas

Presentado ante el:

Comité de posgrado

Universidad Santo Tomás

División de ingenierías y arquitectura

Maestría en Redes y Sistema de Comunicaciones

Bucaramanga, mayo de 2020

Contenido

Resumen.....	9
Abstract	10
Introducción	11
1 Definición del problema.....	12
1.1 Formulación del problema	13
2 Objetivos y metodología de trabajo.....	14
2.1 Objetivo general	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
3 Marco referencial	14
3.1 Marco conceptual	15
3.1.1 Internet de las Cosas (IoT)	15
3.1.2 Granjas Inteligentes.....	15
3.1.3 Piscicultura.....	15
3.1.4 Aprendizaje automático.....	15
3.1.5 Análisis de datos.....	16
3.2 Marco teórico	16
3.2.1 Métodos de adquisición de datos (sensores)	17
3.2.2 Tecnologías de red de área amplia de bajo consumo (LPWAN)	18
3.2.3 Tipos de conectividad inalámbrica usadas por aplicaciones IoT	18
3.2.4 Plataformas IoT	20
3.2.5 Tipos de análisis de datos.....	21
3.3 Marco Legal	21
3.3.1 ITU-T Y.2060.....	22
3.3.2 ITU-T Y.2069	22
3.3.3 ITU-T Y.4113	22
3.3.4 Ley 1341 de 2009.....	22
3.3.5 Conpes 3582.....	22

3.3.6 Resolución 711 de 2016.....	23
3.3.7 Resolución 64 de 2016 del ICA	23
3.3.8 Resolución 601 de 2012 de la AUNAP.....	23
3.3.9 Resolución 602 de 2012 de la AUNAP.....	23
3.4 Marco Contextual.....	24
3.4.1 Especificaciones geográficas.....	24
3.4.2 Actividades productivas realizadas	24
3.5 Estado del arte	28
3.5.1 Acuicultura utilizando IoT	28
4 Metodología de trabajo.....	43
5 Resultados	47
5.1 Diagnóstico del proceso productivo, caracterización y selección de las variables más relevantes en una granja	48
5.1.1 Actividad a ser intervenida bajo arquitectura IoT	48
5.1.2 Selección de la especie a monitorear.....	52
5.1.3 Selección de variables de la actividad productiva.....	53
5.2 Framework basado en Internet de las Cosas para la optimización del desempeño de las variables en la piscicultura	55
5.2.1 Selección de equipos de medición.....	55
5.2.2 Transmisión de datos.....	58
5.2.3 Análisis de datos.....	60
5.2.4 Clasificación de datos.....	63
5.3 Arquitectura de solución	68
6 Conclusiones	69
Referencias.....	70

Lista de tablas

Tabla 1	<i>Descripción de tipos de conectividad inalámbrica usadas por aplicaciones IoT.....</i>	19
Tabla 2	<i>Tabla resumen Sistema hydroacústico para caracterizar el comportamiento alimentario de especies acuícola.....</i>	30
Tabla 3	<i>Tabla resumen Red de sensores inalámbricos ZigBee para monitorear sistema de recirculación de acuicultura</i>	31
Tabla 4	<i>Tabla resumen Sistema de gestión de estanques de peces en tiempo real habilitado para IoT.....</i>	32
Tabla 5	<i>Tabla resumen Sistema de monitor de agua IoT para estanques de cultivo de pescado</i>	33
Tabla 6	<i>Tabla resumen Sistema de monitoreo en tiempo real basado en el conocimiento para la acuicultura usando IoT.....</i>	34
Tabla 7	<i>Tabla resumen Sistema de monitoreo de acuicultura basado en Internet de las cosas mediante acceso Wi-Fi Mesh</i>	35
Tabla 8	<i>Tabla resumen Monitoreo y control de la calidad del agua para la acuicultura basada en redes inalámbricas de sensores.....</i>	36
Tabla 9	<i>Tabla resumen optimización para el control de la bomba de agua en una piscifactoría inteligente con un consumo eficiente de energía.....</i>	37
Tabla 10	<i>Resumen Monitoreo de la calidad del agua de la acuicultura: diseño de un sensor de alerta temprana con Aliivibrio fischeri y modelos predictivos</i>	38
Tabla 11	<i>Tabla resumen evaluación y calidad del agua automatizada utilizando una plataforma IoT con nodos de sensores móviles</i>	39
Tabla 12	<i>Tabla resumen Diseño e implementación de sensores de bajo costo para monitorear la calidad del agua y el comportamiento de los peces en tanques de acuicultura durante el proceso de alimentación.....</i>	40
Tabla 13	<i>Tabla resumen Sistema de monitoreo de agua en línea basado en ZigBee y GPRS.....</i>	41

Tabla 14 <i>Tabla resumen Sistema inalámbrico remoto para el monitoreo en línea de la calidad del agua en cultivos de peces</i>	42
Tabla 15 <i>sistema inteligente de control y trazabilidad basado en IoT para pronosticar y mantener la calidad del agua en granjas de peces de agua dulce</i>	43
Tabla 16 <i>Exportación habilitada según el INVIMA, por departamento</i>	51
Tabla 17 <i>Caracterización tilapia</i>	53
Tabla 18 <i>Equipos IoT de medición - características del agua</i>	56
Tabla 19 <i>Costo equipos implementación</i>	58
Tabla 20 <i>Datos utilizados para el análisis</i>	65

Lista de figuras

<i>Fig. 1</i> Ubicación geográfica del centro de Desarrollo Agroalimentaria El Limonal	24
<i>Fig. 2</i> Actividades productivas realizadas en el centro de desarrollo agroalimentario El Limonal	25
<i>Fig. 3</i> Nidos gallinas	25
<i>Fig. 4</i> Jaulas codornices	26
<i>Fig. 5</i> Ovejas del centro agroalimentario “El Limonal”	26
<i>Fig. 6</i> Cultivos de cacao, plátano y otros	27
<i>Fig. 7</i> Estanques piscícolas	28
<i>Fig. 8</i> Jaulas de conejos.....	28
<i>Fig. 9</i> Sistema de adquisición de datos acuícola	29
<i>Fig. 10</i> Etapas solución IoT	47
<i>Fig. 11</i> Producción anual de la actividad pesquera anual desde 1986 a 2017; Tilapia, Cachama, Trucha y Otras especies (Bocachico, Yamu, Bagre, Carpa)	48
<i>Fig. 12</i> Temperatura media anual (°C) Departamento de Santander	49
<i>Fig. 13</i> Zonificación especies aguas cálidas	50
<i>Fig. 14</i> Ejemplo tilapia roja.....	52
<i>Fig. 15</i> Especie y variables seleccionadas.....	55
<i>Fig. 16</i> Esquema adquisición de datos	57
<i>Fig. 17</i> Distancia entre la estación piscícola y la zona de centralización de datos	58
<i>Fig. 18</i> Adquisición, transmisión y concentrador	60
<i>Fig. 19</i> Cloud computing y visualización de los datos.....	62
<i>Fig. 20</i> Elección del clasificador en Weka.....	64
<i>Fig. 21</i> Cargar archivo en Weka	65
<i>Fig. 22</i> Selección de algoritmo en Weka	66
<i>Fig. 23</i> Resumen dataset	66
<i>Fig. 24</i> Valores mínimos y máximos de cada atributo.....	67

Fig. 25 Resultados del algoritmo 67

Fig. 26 Arquitectura solución IoT..... 68

Resumen

En este proyecto se propone un modelo del Internet de las Cosas que permita dar soporte al proceso de piscicultura en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal de la Universidad Santo Tomás, con el objetivo de monitorear a distancia y en tiempo real diferentes variables del proceso, para así poder tomar decisiones oportunas que incidan en mejorar los índices en la multiplicación artificial de los peces. Específicamente, el sistema logra una trazabilidad de algunos peces desde su crianza hasta su venta.

El proyecto se desarrolló en tres etapas; una primera etapa de análisis del estado del arte en granjas inteligentes, una segunda etapa donde se creó un *framework* IoT que permite el sensado, transmisión y análisis de las variables del proceso, y una tercera etapa de diseño e implementación de la arquitectura IoT. La especie a monitorear seleccionada fue la Tilapia, por lo que se hizo una caracterización de su cultivo en estanques y un análisis de costos para su producción. Las variables seleccionadas para medir la calidad del agua donde se crían estos peces fueron: La temperatura, el oxígeno disuelto, el PH, la turbidez y el nitrato. El equipo base de medición seleccionado fue el dispositivo el ESP8266, junto con los sensores para medir las variables mencionadas; y para la transmisión de los datos se usó WiFi. Finalmente para el análisis de los datos se utilizó *Waikato Environment for Knowledge Analysis* (WEKA), que es un software de código abierto emitido bajo la GNU *General Public License*. Este software permitió realizar una clasificación de datos para determinar o predecir la mortalidad de los peces mediante el algoritmo *Naive Bayes*, el cual es una técnica de clasificación basada en probabilidades.

El desarrollo de este proyecto permitió que se pudieran clasificar correctamente más de un 95% de las instancias analizadas, logrando una muy buena predicción con base en las variables medidas a través de la arquitectura IoT propuesta.

Palabras claves: IoT, Algoritmo de predicción, Piscicultura.

Abstract

In this project, an Internet of Things model is proposed to support the fish farming process at the El Limonal Agro-Food Development Center of the Santo Tomás University, with the aim of monitoring distance and in real time different variables of the process, in order to be able to make timely decisions that affect improving the rates of artificial multiplication of fish. Specifically, the system achieves traceability of some fish from their breeding to their sale.

The project was defined in three stages; a first stage of analysis of the state of the art in smart farms, a second stage where an IoT framework is created that allows the sensor, transmission and analysis of process variables, and a third stage of design and implementation of IoT architecture. The selected species to monitor was Tilapia, so a characterization of its culture in ponds and an analysis of costs for its production were made. The variables selected to measure the quality of the water where these fish are raised were: temperature, dissolved oxygen, PH, turbidity and nitrate. The selected base measurement equipment was the ESP8266 device, together with the sensors to measure the specific variables; and for the transmission of the data used WiFi. Finally, for data analysis Waikato Environment for Knowledge Analysis (WEKA), which is open source software issued under the GNU General Public License, was analyzed. This software allows data classification to determine or predict fish mortality using the Naive Bayes algorithm, which is a probability-based classification technique.

The development of this specified project can correctly classify more than 95% of the analyzed instances, achieving a very good prediction based on the variables measured through the proposed IoT architecture.

Keywords: IoT, Prediction algorithm, Fish farming.

Introducción

Actualmente nuevas tecnologías como el Internet de las Cosas y el análisis de datos, pueden ser integradas en una granja sin afectar el medio ambiente, en pro de la sostenibilidad y generando mejoramiento continuo de los procesos, a esto se le puede llamar, granja inteligente o *Smart Farming* [1].

La Universidad Santo Tomás posee una granja agrícola, caprina y ambiental donde estudiantes de múltiples programas académicos realizan prácticas en laboratorios con proyectos que impactan en el sector agropecuario y ambiental de la región. Teniendo en cuenta las arquitecturas y tecnologías existentes, se propone un modelo del Internet de las Cosas que permita dar soporte a todos los procesos existentes en la granja El Limonal de la Universidad Santo Tomás.

Poco a poco se ha logrado incorporar el concepto del Internet de las Cosas (IoT) en las granjas de producción donde, inicialmente a través de sensores se recopila información de diferentes procesos para ser transportada y almacenada en una base de datos.

En una granja parámetros de temperatura, humedad, gas amoníaco, consumo de energía, iluminación y nivel de agua por ejemplo, son monitoreados y controlados con la ayuda de un microcontrolador o tarjeta de desarrollo. Existen diferentes dispositivos embebidos utilizados en IoT, cada uno con unas características específicas que los hacen ideal dependiendo de su uso. De igual forma, existen diferentes técnicas de comunicación digital como son WiFi, ZigBee, Bluetooth, SigFox o LORA que pueden ser utilizadas para esta transmisión de datos.

Estos datos, luego de ser almacenados, se analizan a través de un entorno de experimentación como por ejemplo R, Python o WEKA [2], este último permite aplicar, analizar y evaluar las técnicas más relevantes de análisis de datos, donde se busca obtener conclusiones precisas, identificar problemas y tomar decisiones que ayudarán a alcanzar nuevos objetivos y decidir nuevas acciones a implementar en los diferentes procesos de la granja inteligente.

1 Definición del problema

Según el Plan de Desarrollo Departamental de Santander [3], actualmente la producción pecuaria de Santander se destaca en el sector avícola con una participación del 25% de la producción nacional. La producción regional tiene un estimado de 8.5 billones de pesos al año; lo que la convierte en el más importante sector económico pecuario del departamento y el mayor productor avícola a nivel nacional. La ganadería mantuvo una propensión al alza hasta el año 2006, sin embargo en los años siguientes se afianzó entre 1.5 a 1.7 millones de animales, como consecuencia de los fenómenos climáticos del 2009 – 2010 y 2015 y por efectos de la baja de los parámetros reproductivos y la escasez de alimento. El sector ganadero en el Departamento cuenta con áreas certificadas exentas de tuberculosis y brucelosis como la provincia de García Rovira. En cuanto a la pesca continental la producción del departamento no está cuantificada, sin embargo a nivel nacional la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP) reporta una disminución del 80%, debido principalmente al deterioro de la calidad y cantidad del recurso hídrico, la sobre explotación del recursos ictiológicos y los fenómenos asociados al cambio climático. Las explotaciones ovina y caprina están clasificadas como pequeños productores, (menos de 50 animales por aprisco) en donde la comercialización de esta producción es 100% interna.

Debido a la cultura piscícola tradicional existente, no se cuenta con desarrollo tecnológico para control de los productos derivados de los peces, para la adquisición, procesamiento y validación de información referente a la calidad del agua, crecimiento y reproducción; los productores pequeños no tienen acceso a este tipo de tecnología que mejora la productividad y trazabilidad de la producción a nivel local y regional, para lograr carne de pescado tipo exportación, a pesar de que el Departamento cuenta con proyectos [4] que pretenden mejorar la innovación y transferencia tecnológica en el sector agroindustrial, tal como se evidencia en el plan y acuerdo estratégico Departamental de Ciencia, Tecnología e Innovación.

En los predios piscícolas no se cuenta con sistemas de adquisición de datos que ayuden a los productores primarios a mostrar a las empresas comercializadoras y a los entes reguladores una

trazabilidad del producto que tienen para la venta, lo que daría un valor adicional a los alimentos ofrecidos, para que de esta forma aumente el porcentaje de peces en la industria, es decir, se requiere estandarizar y adoptar el monitoreo pesquero y el análisis de información en el departamento y en el país, para conocer el estado real de los recursos que son objeto de explotación.

Actualmente la Universidad Santo Tomás cuenta con el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal, donde cuentan con animales como conejos, camuros, gallinas, codornices, peces; y siembras de cultivos de Cacao y mandarina, para fines de investigación. Estas condiciones, permiten poder caracterizar algunos procesos productivos, analizando variables como tiempo de crecimiento de cultivos, calidad, uso de recursos en la crianza y mantenimiento de los animales, el efecto del clima en los procesos, entre muchas otras variables. Todas estas variables son susceptibles a ser medidas, y un análisis periódico y sistemático de ellas permite no solo evaluar el desempeño de cada proceso, sino predecir su comportamiento futuro. Sin embargo, hay procesos que por su naturaleza manejan demasiados datos, muchas variables interrelacionadas, y algunas de difícil acceso de medición. Es aquí donde el Internet de las Cosas puede jugar un papel importante, permitiendo la medición, transporte y análisis de datos desde la nube en tiempo real. En conclusión, es preciso utilizar estrategias que involucren nuevas tecnologías para el mejoramiento de procesos y la búsqueda en la solución de problemas en este sector productivo. En este proyecto se propone diseñar una arquitectura de Internet de las Cosas para la optimización del proceso piscícola el cual será analizado, debido a que en este momento no existe o no se aprovecha ningún tipo de estrategia que involucre nuevas tecnologías para la adquisición, tratamiento de información o control de procesos en ella.

1.1 Formulación del problema

¿De qué manera es posible mejorar el proceso de piscicultura empleando una solución tecnológica de Internet de las Cosas en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal?

2 Objetivos y metodología de trabajo

2.1 Objetivo general

Diseñar una solución tecnológica basada en el Internet de las Cosas para la optimización de un proceso productivo en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal.

2.2 Objetivos específicos

1. Efectuar un diagnóstico de procesos productivos presentes en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal, para caracterizar y seleccionar las variables más relevantes en una granja a ser intervenidas, bajo un modelo de Internet de las Cosas.

2. Diseñar un *framework* basado en Internet de las Cosas para la optimización del desempeño de las variables del proceso productivo seleccionado, mediante la identificación de sus características tecnológicas como tipos de sensores, transmisión o almacenamiento de datos y el posterior uso de algoritmos de predicción asociado, que permita la futura implementación de una granja inteligente.

3. Diseñar la arquitectura de solución tecnológica IoT para la optimización de un proceso productivo en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal.

3 Marco referencial

Para la realización de este proyecto es necesario clarificar en este capítulo los principales conceptos sobre el Internet de las Cosas aplicado en granjas productoras y explorar algunas experiencias relacionadas con el tema, que han sido aplicadas al sector agrícola y que se podrán tomar como referencia para la el diseño de la experimentación de este trabajo.

3.1 Marco conceptual

En estos últimos años existe un mayor nivel de conciencia sobre la seguridad alimentaria, trazabilidad de productos y automatización de procesos que demandan alimentos de mejor calidad producidos en granjas o fincas. Esto ha obligado a muchos países a adoptar nuevos protocolos e incluso cambiar las granjas manuales en granjas o fincas automatizadas. La aplicación del Internet de las Cosas (IoT) puede convertir una granja tradicional en una moderna granja inteligente. La aplicación del Internet de las Cosas en una granja se puede realizar a través de diferentes pasos que incluyan la toma de información, su transporte y almacenamiento, el análisis de dicha información y la utilización de los resultados de la investigación en los procesos de la granja.

3.1.1 Internet de las Cosas (IoT): *“Infraestructura mundial para la sociedad de la información que propicia la prestación de servicios avanzados mediante la interconexión de objetos (físicos y virtuales) gracias a la interoperatividad de tecnologías de la información y la comunicación presentes y futuras.”* [5]

3.1.2 Granjas Inteligentes: Las granjas inteligentes (*Smart farm*), según [6] son un método para ampliar la productividad agrícola mediante la incorporación de las tecnologías de la información en la agricultura tradicional, que se está convirtiendo en un método de cultivo convencional adoptado por los agricultores. A partir del monitoreo de datos ambientales en tiempo real, permite a los agricultores responder rápidamente cuando ocurre una fluctuación de variables críticas, es decir, el nivel del agua, la temperatura, que afectan la productividad agrícola.

3.1.3 Piscicultura: La piscicultura (*fish farming*), es aplicada hoy en día para la multiplicación artificial de los peces, su verdadero significado es la cría y propagación de estos animales, ya sea en plena libertad o encerrados en estanques u otros depósitos de agua, donde permanecen en cautiverio y viven de los cuidados que se le brinden por parte de los proveedores [7].

3.1.4 Aprendizaje automático: El aprendizaje automático (*Machine Learning*), es detección, correlación y reconocimiento de patrones generados a través de máquinas. Observación

del funcionamiento humano de los sistemas de software junto con los algoritmos de regresión de auto información en curso para la determinación basada en la máquina de una operación exitosa que conduzca a útiles análisis analíticos o prescriptivos capacidad de análisis. [8].

3.1.5 Análisis de datos: El análisis de datos consiste en someter los datos a la realización de operaciones. Esto se hace con la finalidad de obtener conclusiones precisas que ayuden a alcanzar los objetivos propuestos, dichas operaciones no pueden definirse previamente ya que la recolección de datos puede revelar ciertas dificultades [9].

3.2 Marco teórico

Hay tres componentes o elementos básicos que interactúan entre sí: [10] a) el hardware, como sensores, actuadores (dispositivos que controlan los sistemas) y otros dispositivos de comunicación alojados en los objetos; b) la plataforma de *middleware*, que es el software que permite el intercambio de información entre las aplicaciones, así como las herramientas computacionales que permitan el análisis de datos; y c) las herramientas que en forma fácil permitan la visualización e interpretación de la información y que deben ser diseñadas para ser accedidas por diferentes aplicaciones y dispositivos.

Hoy en día la población a nivel mundial se ve enfrentada a problemáticas por escasez de alimentos o espacios insuficientes para cultivar y abastecer a poblaciones de algunos países, según datos estadísticos publicados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), para los cual los cultivos hechos en granjas verticales son una de las nuevas estrategias para la producción agrícola que contienen técnicas que se pueden utilizar para optimizar y maximizar los volúmenes de la cosecha dentro de ambientes controlados. Este proyecto presenta el desarrollo de un sistema de control para el riego e iluminación artificial en una granja vertical, teniendo en cuenta para dicho control factores que afectan directamente el desarrollo y crecimiento de las plantas cultivadas en la granja, tales como: viento, luminosidad, temperatura y humedad de suelo y ambiente. Además se desarrollan actuadores para el riego e iluminación que permitan a la

planta mantener sus condiciones ideales (luz, temperatura y humedad) para lograr acelerar su crecimiento y producción dentro de un ambiente “*indoor*” controlado, como por ejemplo las granjas verticales urbanas desarrolladas por “*city farm*” en Malaysia. Posteriormente los resultados obtenidos en el cultivo de la granja se compararon con los obtenidos en un cultivo tradicional (bajo luz solar y ambiente de la ciudad de Cali – Valle del Cauca) y se hace su respectivo análisis.

El Limonal, ubicado en el municipio de Piedecuesta, a 17 km de la ciudad de Bucaramanga, a 1.050 msnm, y con su extensión es de 9,8 hectáreas, es un espacio de formación, investigación y proyección social donde se desarrollan proyectos agropecuarios, agroindustriales y ambientales en pro de la competitividad de la región. Es importante mencionar que la Facultad de Administración de Empresas Agropecuarias ha desarrollado por más de 15 años procesos de articulación inter y transdisciplinar en asocio con diferentes instituciones públicas y privadas, y en este caso con la Maestría en Redes y Sistemas de Comunicaciones específicamente.

En este lugar estudiantes y docentes de la Universidad trabajan arduamente en procesos de enseñanza-aprendizaje que les permite a los estudiantes formarse mejor en las competencias necesarias para su adecuado ejercicio profesional.

3.2.1 Métodos de adquisición de datos (sensores): Los sensores son dispositivos que hacen el trabajo crítico de los procesos de monitoreo, mediciones y recolección de datos. Son piezas fundamentales en las que las personas piensan al imaginar el IoT. Un sensor convierte el parámetro físico (por ejemplo: temperatura, presión sanguínea, humedad, velocidad, etc.) en una señal que puede ser medida eléctricamente.

Algunas de las características que necesitan ser consideradas cuando se elige un sensor son: precisión, costo, condiciones ambientales, alcance, calibración y consumo de energía.

Los sensores por sí solos resultan inútiles, por lo que se presentan formando parte de un sistema en el que diversos componentes se conectan entre sí con el objetivo de tomar la información, procesarla, transportarla a través de una red, almacenarla y analizarla.

3.2.2 Tecnologías de red de área amplia de bajo consumo (LPWAN): En los sistemas donde se utiliza el Internet de las Cosas se manejan distintas tecnologías como lo son las de área personal o local, de área amplia y bajo consumo de energía, móvil, soluciones con redes privadas y satelitales. Las LPWAN pueden soportar los diversos dispositivos físicos conectados a una red IoT, con el propósito de optimizar la eficacia de las operaciones y los servicios urbanos y establecer conexiones con los ciudadanos [11]. Algunas tecnologías de área amplia y bajo consumo [12] son:

LoRaWAN: es una tecnología inalámbrica basada en aplicaciones industriales, científicas y médicas (ISM) que se utiliza para la transmisión de datos a alta velocidad, de bajo rango y baja potencia. Las redes LoRaWAN se organizan normalmente en una topología de estrella en el que las pasarelas retransmiten mensajes entre dispositivos finales y una central "servidor de red" en el *backend*. Las pasarelas están conectadas al servidor de red a través de enlaces IP, mientras que los dispositivos finales utilizan LoRaWAN de un solo salto. La comunicación es generalmente bidireccional [13].

Sigfox: Los dispositivos autónomos a batería LPWAN de Sigfox envían pocos bytes por día, semana o mes, en principio, lo que les permite tener una duración de batería de hasta 10-15 años. El sistema es diseñado para permitir que los dispositivos duren varios años, a veces incluso enterrado bajo tierra. La capacidad de una estación base Sigfox y la duración de la batería depende del número de mensajes generados por dispositivos, y no en el número real de dispositivos. La cobertura de la celda depende del presupuesto del enlace y del tipo de despliegue (urbano, rural, etc.) [14].

3.2.3 Tipos de conectividad inalámbrica usadas por aplicaciones IoT: En la siguiente Tabla 1, se observa un resumen que incluye distintas tecnologías inalámbricas sobre las cuales se pueden desplegar redes IoT, basándose en los tipos de red y su área de cobertura, el uso del espectro, los tipos de servicios comerciales, las posibles bandas de frecuencia y tecnologías que son usadas en diferentes países alrededor del mundo.

Tabla 1 Descripción de tipos de conectividad inalámbrica usadas por aplicaciones IoT

Tipo de red por alcance	Uso del espectro	Espectro	Tipo de servicios comerciales	Tecnologías para IoT M2M/Proveedores	Bandas de frecuencia que pueden ser usadas
PAN Corto alcance	Libre o exento de licencia	Espectro compartido	Privado	6LoWPAN (Fabricantes: Crossbow o Zolertia) ANT+ ultra-low power (ULP). NFC, RFID. Thread basado en IEEE802.15.4 y 6LowPAN, WIFI Basado en 802.11n. Bluetooth 4.0 LE Low Energy. Zigbee basado en IEEE 802.15.4, Z-Wave	Bandas de uso libre según la Resolución ANE 711 de 2016. Uso oportunista del espectro (White Spaces) Otras bandas de frecuencia.
LAN Corto alcance					
LPWAN Área extendida, baja potencia	Libre o exento de licencia	Espectro compartido	Público/Privado	Wi-Fi 802.11ah/Wi-Fi Halow, Symphony Link, Nwave, RPMA Ingenu (formerly On-Ramp), Sigfox, Weightless, Lora Alliance, Dash 7, Neul, Wireless M BUS	Bandas de frecuencia para telecomunicaciones móviles internacionales IMT Colombia
	Requiere permiso - IMT	Espectro dedicado	Público	LTE-MTC (LTE-M) Emtc (ENHANCED Machine Type Communication Narrow-Band IoT (NB-IoT) EC-EGPRS // Extended Coverage GSM for the Internet of Things	
WAN Área extendida	Requiere permiso - IMT	Espectro dedicado	Público	2G GSM/GPRS/EDGE, 3G UMTS/HSPA 4G LTE, 5G Futuro	VHF Bandas de 30 a 300MHz UHF bandas de 300 y 400 MHz
	Requiere permiso	Espectro dedicado	Privado	PMR/LMR – Redes privadas de radios móviles en VHF - UHF	
GAN Red de área global	Requiere permiso	Espectro de uso común, compartido y coordinado	Público	VSAT Very-small-aperture terminal for SCADA & M2M BGAN M2M Broadband Global Area Network M2M Iridium Short Burst Data (SBD), IsatData Pro (IDP) SmartLNB, Automatic Identification System (AIS) Para Barcos, buques – Orbita baja Advanced Research and Global observation satellite (Argos). Seguimiento de animales	Bandas de frecuencia satelitales: L, S, C, X, Ku, Ka, Q/V

Fuente: Tomado de [15]

3.2.4 Plataformas IoT: Existen innumerables formas de monitorizar datos tomados por sistemas IoT. La decisión de escoger una de muchas formas de realizar la monitorización y análisis de datos, depende del sistema IoT en general centra los resultados que se desee obtener del análisis de los datos y la forma como sean presentados.

La forma más básica es tener el dispositivo conectado a un computador o incluso con algún *display* como un LCD o una pantalla TFT y una memoria, ya que no tendría que estar conectado a Internet y podría llevarse a cualquier sitio.

La forma más idónea, para poder ver los datos y la información, es utilizar una plataforma para proyectos del IoT porque además de poder ver la información, algunas de estas plataformas permiten tener un histórico de los datos y permite utilizar lo que se conoce el análisis de datos o el *Big Data* (manejo de grandes cantidades de datos e información). Una vez almacenada la información, se pueden aplicar varias técnicas de predicción y de gestión.

Cada día surgen nuevas plataformas para proyectos IoT pero se podría hacer una rápida clasificación dependiendo del costo y el sector al que va orientado, sin olvidar que la propuesta del proyecto es hacia el sector productivo en una granja inteligente.

El primer grupo, son las plataformas que están orientadas a *startups* y empresas pequeñas o en este caso a granjas de pequeño tamaño. En este tipo se pueden utilizar plataformas gratuitas pero con limitaciones en cuanto al número de mensajes enviados y de dispositivos conectados.

El segundo grupo engloba a plataformas que también ofrecen servicios gratuitos o versiones de prueba. Están más centradas en ofrecer servicios globales a sistemas basados en el IoT. Ya no es solo recibir datos. Estas plataformas permiten almacenar webs, API para móviles, bases de datos, entre otras.

El tercer grupo son las plataformas que ofrecen las grandes empresas y corporaciones como Google, Amazon, Microsoft, IBM, etc. Están orientadas sobre todo al sector industrial y a grandes proyectos del IoT, donde se ven involucrados cientos o miles de dispositivos.

El último grupo engloba las plataformas de código abierto. Son todas aquellas que dan acceso al código sin restricciones. Se puede instalar, administrar y actualizar a la hora que se desee.

3.2.5 Tipos de análisis de datos: Los tipos de análisis que se pueden realizar en IoT son, según [16]:

Las analíticas descriptivas son la forma más simple de análisis de datos, proporciona información sobre algo que sucedió. No investiga ni constituye relaciones de causa y efecto. El propósito es presentar datos y cifras para comunicar o disponer datos para un análisis más profundo. La información se presenta frecuentemente en gráficos circulares, gráficos de barras, gráficos de líneas y tablas.

Las analíticas de diagnóstico suministran información sobre por qué sucedió algo. Construye dependencias e identifica patrones, por lo que señala una comprensión profunda de un problema en particular. Al mismo tiempo, genera información minuciosa que las empresas pueden utilizar para otros fines.

Las analíticas predictivas brindan información sobre lo que es probable que ocurra. Emplea los resultados de analíticas descriptivas y de diagnóstico para descubrir tendencias, agrupaciones y excepciones, y para prever tendencias futuras. Sin embargo, las predicciones son solo estimaciones y obedecen la calidad de los datos y la estabilidad de la situación que se analiza.

Las analíticas prescriptivas aportan información sobre qué acción se puede elegir para prescindir que algo suceda. También se puede utilizar para favorecer de las tendencias comerciales y de marketing emergentes. El análisis prescriptivo utiliza herramientas y tecnologías sofisticadas como el aprendizaje automático, así como las reglas y algoritmos de negocios.

3.3 Marco Legal

3.3.1 ITU-T Y.2060: La recomendación titulada descripción general de Internet de los Objetos, expone el concepto y el alcance de IoT, se mencionan las características fundamentales y los requisitos de alto nivel de IoT y se refiere el modelo de referencia IoT. El ecosistema y los modelos orgánicos también se incluyen en un apéndice informativo. Esta recomendación, “pasó a ser la Rec. Y.4000 el 2016-02-05 sin otras modificaciones. No fue republicada.” [5]

3.3.2 ITU-T Y.2069: La recomendación titulada términos y definiciones para la Internet de las cosas, menciona los términos y definiciones referentes a la Internet de las Cosas (IoT) desde la perspectiva sector de normalización de las telecomunicaciones UIT a fin de esclarecer qué es la Internet de las cosas y las actividades relativas a IoT. Esta recomendación, “*pasó a ser la Rec. Y.4050 el 2016-02-05 sin otras modificaciones. No fue republicada.*”. [17]

3.3.3 ITU-T Y.4113: La recomendación titulada requerimientos de red para el Internet de las Cosas, menciona las funciones del transporte de la red y las funciones de soporte de servicio. Los requisitos en mención son comunes para la red de núcleo, la red de acceso y la red de área de IoT. Teniendo en cuenta el estado actual de las implementaciones en el mercado de IoT, esta recomendación se centra en los requisitos de la red para IoT con medidores inteligentes y sensores como dispositivos. [18]

3.3.4 Ley 1341 de 2009: Ley “*Por la cual se definen principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las tecnologías de la información y las comunicaciones - TIC-, se crea la agencia nacional de espectro y se dictan otras disposiciones*”. Hay que tener presente que dicha ley determina el marco general para la formulación de las políticas públicas que regirán el sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, entre otros aspectos importantes. [19]

3.3.5 Conpes 3582: Establece que la Ciencia, la Tecnología y la Innovación (CTeI) como fuente de desarrollo y crecimiento económico. Utilizar esta vía de desarrollo requiere de una política de Estado con estrategias que incrementen la capacidad del país para generar y usar conocimiento científico y tecnológico. Este documento contiene la política del Estado colombiano

para incrementar dicha capacidad y por esa vía generar desarrollo económico y social basado en el conocimiento.

Es necesario y comienza a surgir dentro de la política Colombiana estrategias que busquen incrementar la capacidad del país en identificar, producir, difundir, usar e integrar el conocimiento científico y tecnológico, con el propósito de mejorar la competitividad, y contribuir a la transformación productiva del país.

Se propone desde el sector agrícola, ganadero y otros, manejados hacia el sector de granjas inteligentes, desarrollar y promover un portafolio de incentivos para la innovación que permita aumentar y articular la oferta, pública y privada, de instrumentos para las empresas y los sistemas productivos.

3.3.6 Resolución 711 de 2016: En dicha resolución se establecen las bandas de frecuencia de libre utilización dentro del territorio de Colombia, *“conforme a lo dispuesto en el artículo 11 de la Ley 1341 de 2009, los parámetros técnicos, modos de operación en las bandas, aplicaciones, bandas restringidas, límites generales para radiadores intencionales y las excepciones a los límites generales.”* [20]

3.3.7 Resolución 64 de 2016 del ICA: En esta resolución *“se establecen requisitos para obtener el registro pecuario de los establecimientos de Acuicultura ante el ICA”* a personas naturales o jurídicas propietarias, poseedoras o tenedoras de establecimientos de acuicultura en el país. [21]

3.3.8 Resolución 601 de 2012 de la AUNAP: Resolución de la AUNAP en la que *“se establecen los requisitos y procedimientos para el otorgamiento de permisos, autorizaciones, patentes de pesca, prórrogas, modificaciones, aclaraciones, cancelaciones y archivo de expedientes para el ejercicio de la actividad pesquera y de la acuicultura, se adoptan otras medidas para el cumplimiento de los objetivos y funciones de la AUNAP.”* [22]

3.3.9 Resolución 602 de 2012 de la AUNAP: Resolución de la AUNAP en la que *“se establece el valor de las tasas y derechos por el ejercicio de la actividad acuícola y pesquera”* [23].

3.4 Marco Contextual

Para la realización del diagnóstico del Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal, es necesario evidenciar los procesos productivos presentes, la selección y caracterización de las variables más relevantes de la actividad seleccionada para ser intervenida bajo un modelo de Internet de las Cosas.

3.4.1 Especificaciones geográficas: El Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal, el cual afecta al objeto de estudio, se encuentra ubicado en las coordenadas latitud $7^{\circ} 0'27.03''N$ y longitud $73^{\circ} 3'4.69''O$ (Fig.1), al oriente colombiano, delimitado por los Municipios de Floridablanca y Piedecuesta, a 17 km de la ciudad de Bucaramanga, a 1.050 msnm, y cuenta con una extensión es de 9.8 hectáreas, el cual hace parte de la Facultad de Administración de Empresas Agropecuarias de la Universidad Santo Tomás Seccional Bucaramanga.

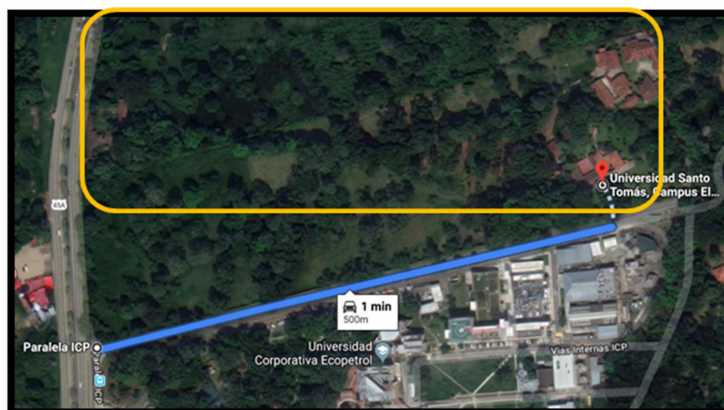


Fig. 1 Ubicación geográfica del centro de Desarrollo Agroalimentaria El Limona

3.4.2 Actividades productivas realizadas: El Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal es un espacio de formación, investigación y proyección social donde se desarrollan proyectos agropecuarios, agroindustriales y ambientales en pro de la competitividad de la región. En el centro de producción se realizan cinco tipos de actividades como se puede observar en la Fig. 2.

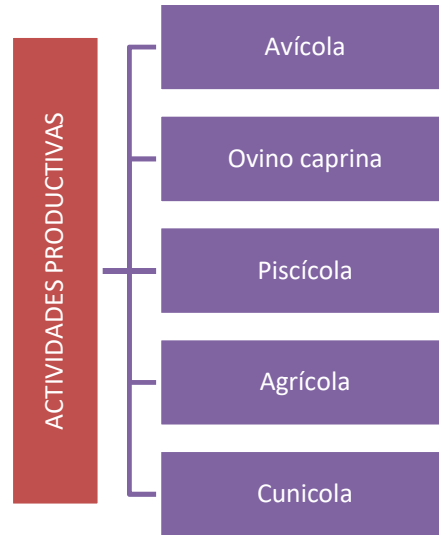


Fig. 2 Actividades productivas realizadas en el centro de desarrollo agroalimentario El Limonal

3.4.1.1 Producción avícola: Se realiza la crianza de pollos para la producción de carne y crianza de gallinas para la producción de huevos. En las siguientes imágenes, se observan los nidos con los que se cuentan en la granja para las gallinas ponedoras Fig. 3:



Fig. 3 Nidos gallinas

De igual manera en la granja se está trabajando en un proyecto de cría de codornices (*Fig. 4*) con el fin de obtener una marca propia llamada “huevos Santo Tomás”.



Fig. 4 Jaulas codornices

3.4.1.2 Producción ovina caprina: En la granja también se realiza la cría de ovejas (Fig. 5) para varios propósitos, producción de leche, producción de carne y producción de lana. También se obtiene un subproducto que es el abono orgánico, el cual se elabora a través de la técnica del compostaje.

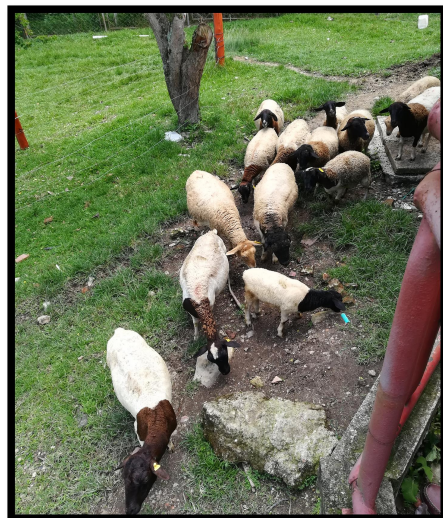


Fig. 5 Ovejas del centro agroalimentario “El Limonal”

3.4.1.3 Producción agrícola: Se cuenta con un terreno exclusivo para la agricultura (Fig. 6), en el cual se manejan proyectos de producción como: cultivo de maíz, al cual se le hace un mantenimiento semanal y un seguimiento a la evolución del mismo, de tal forma que se pueda comparar la curva de crecimiento entre el maíz extranjero con el nacional. De igual manera se realiza agricultura radial, la cual es un modelo de cultivo que se siembra circularmente lo que permite mantener la humedad y el agua del terreno, esto con el fin de definir un nuevo modelo de producción, para resguardar las plantas de las inclemencias del cambio climático.



Fig. 6 Cultivos de cacao, plátano y otros

3.4.1.3 Producción piscícola: Se cuentan con dos estanques (Fig. 7) de aguas cálidas para la cría de dos especies comerciales que son la mojarra y cachama.

Las dimensiones de los dos estanques son las siguientes:

- Estanque 1: Cuenta con sombra natural; 14.39mt de largo por 9mt de ancho y 80cm de profundidad.
- Estanque 2: Con 14.80mt de largo por 8,8mt de ancho y 80cm de profundidad.



Fig. 7 Estanques piscícolas

3.4.1.4 Producción cunicola: En la granja El Limonal, también se realiza la crianza de conejos (Fig. 8), que tienen finalidades investigativas, pero puede ser usada para la producción y comercialización de su carne, piel y pelo.



Fig. 8 Jaulas de conejos

3.5 Estado del arte

3.5.1 Acuicultura utilizando IoT: En [22] realizaron una revisión del uso del Internet de las Cosas en la agricultura y se enfocan en la utilización del IoT en la acuicultura, el análisis de imágenes para monitorear el crecimiento de los peces y el control de sustancias presentes en el agua, con el objetivo de mantener parámetros ideales que no afecten la calidad del recurso hídrico y la supervivencia y desarrollo de las especies producidas.

Los autores [25] realizaron un análisis de la utilización del IoT y se fundamentan en el desarrollo de un sistema de monitoreo remoto de la calidad del agua basado en IoT a bajo costo, usando hardware y software abierto. El sistema está diseñado a partir del kit de desarrollo embebido NodeMCU, el cual es capaz de tomar variables en el entorno como lo son la luz solar, Humedad relativa y Temperatura del aire y variables fisico-químicas del agua (pH, Oxígeno Disuelto (OD)), Temperatura y Nivel del agua. De igual manera en [26] se detalla la utilización del Internet de las Cosas para recolectar parámetros (Oxígeno Disuelto, Temperatura y pH) del agua en una piscina de cultivo de camarón, la información que se logra recolectar con los dispositivos sensoriales se muestran en una interfaz para después con los resultados realizar la activación del dispersor de alimento.

Otro ejemplo de implementación de IoT en la acuicultura es presentado en [27], donde muestran un sistema de adquisición de datos aplicados en ambientes controlados y ambientes reales, capturando datos de audio y de video para caracterizar el comportamiento alimentario de los peces. Dicha información es almacenada en una base de datos Mysql, y con las herramientas WavePad, Audacity y Matlab se capturó, analizó y se realizó el procesamiento del audio. Los resultados de dicho estudio demostraron que la metodología empleada permite caracterizar el comportamiento alimentario de los peces. En la *Fig. 9* Sistema de adquisición de datos acuícola *Fig. 9*, se observa el sistema implementado por los autores del artículo.

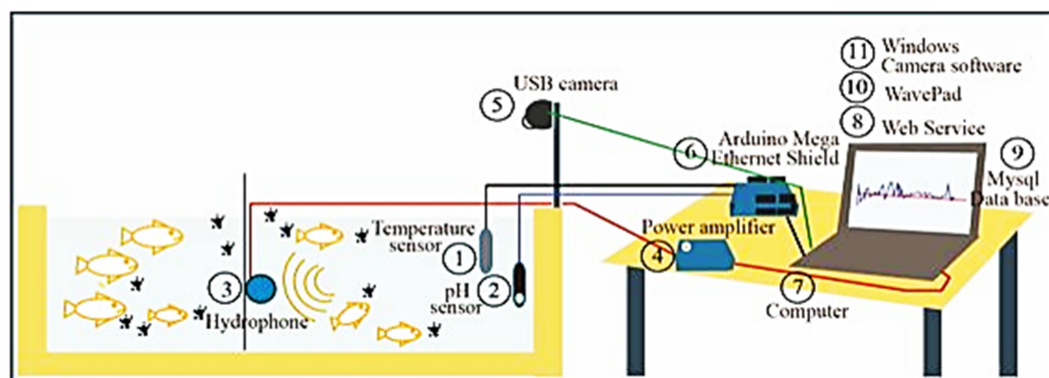


Fig. 9 Sistema de adquisición de datos acuícola

Fuente: Tomado de [27]

En la Tabla 2 se observa un resumen que incluye los sensores, topología, protocolos de comunicación, software y características de los datos del artículo [27].

Tabla 2 *Tabla resumen Sistema hydroacústico para caracterizar el comportamiento alimentario de especies acuícola*

Sensores topología	Protocolos de comunicación	Software	Características de los datos
Sensor de temperatura DS18B20	LAN	MySQL	Nivel de presión acústica dentro del acuario/piscinas
Sensor de pH (pH Meter)	Ethernet	Web Service	
Sensor hidrófono (LM386)		WavePad	Índice de temperatura del agua
Cámara USB		PHP	
Arduino Mega			Niveles de pH del agua

En [28] desarrollaron una red de sensores inalámbrica con el protocolo ZigBee para monitorear un sistema experimental acuícola con recirculación de agua. La red incluye sensores de temperatura, oxígeno disuelto, presión de agua y aire, así como de corriente eléctrica. La alta densidad de organismos requerida para que estos sistemas sean económicamente viables presenta un caso donde las redes de sensores pueden ser aplicadas para preservar un stock de peces saludable reduciendo las probabilidades de fallas que conlleven pérdidas en la producción. Se desarrollaron y probaron módulos para la toma y transmisión de datos a través de una red ZigBee y se implementaron en una granja acuícola experimental. Se desarrolló un programa de monitoreo para desplegar los valores de los sensores y emitir alertas cuando se rebasen los límites de referencia especificados. Una alerta por medio de un mensaje SMS y un correo electrónico puede ser emitida. Una interface WEB permite el acceso a los valores de los sensores. El presente trabajo demuestra la aplicabilidad de las redes inalámbricas ZigBee al monitoreo de sistemas acuícolas.

En la Tabla 3 se observa un resumen que incluye los sensores, topología, protocolos de comunicación y características de los datos.

Tabla 3 *Tabla resumen Red de sensores inalámbricos ZigBee para monitorear sistema de recirculación de acuicultura*

Sensores topología	Protocolos de comunicación	Software	Características de los datos
ZigBit module	802.15.4	Php	Oxígeno disuelto
DO6421 Sensor de oxígeno disuelto de Sensores	IEEE 802.15.4 MAC Layer	Ajax	Temperatura de agua en la pecera
TMP37 sensor de temperatura de Analog Devices	IEEE 802.15.4 PHY Layer	C	Fotosíntesis de algas
Sensor de presión de agua (Honeywell SPT4V0030PG5W02)		BitCloud stack	Aireación de agua
Sensor de presión de aire (Honeywell ASDX005G24R)		SQL	Presión de aire en la tubería del ventilador
Sensor de efecto Hall (Honeywell CSLA2CD)			

Los requisitos de infraestructura para establecer granjas de bagre incluyen, una fuente de agua limpia, una vía para descargar las aguas residuales y sistemas confiables de contención de agua. Los desafíos que enfrentan los operadores de estos estanques de peces incluyen la necesidad de una alimentación regular de los peces, el monitoreo de la calidad del agua y el cambio del agua cuando la calidad no es saludable para los peces. Los autores [29] presentan un enfoque basado en Internet de las Cosas para automatizar la gestión de las granjas y permitir la supervisión y gestión remota de los estanques. El sistema consta de un controlador de estanque que utiliza sensores apropiados para controlar la calidad del agua del estanque. Un CCTV registra las actividades alrededor del estanque y las almacena en una ubicación en la nube. El controlador del estanque gestiona el sistema de alimentación automática de los peces y el sistema de control de agua del estanque. El sistema también está diseñado con capacidad para operación remota a través de una aplicación móvil especialmente diseñada que accede a los archivos de CCTV y también controla la operación del controlador del estanque. Este sistema permitirá la gestión de uno o más estanques de peces desde un dispositivo móvil, reducirá los costos asociados con la gestión de las granjas de peces y mejorará la calidad de su rendimiento.

En la Tabla 4 se observa un resumen que incluye los sensores, topología, protocolos de comunicación, software y características de los datos del artículo [29].

Tabla 4 *Tabla resumen Sistema de gestión de estanques de peces en tiempo real habilitado para IoT*

Sensores topología	Protocolos de comunicación	Software	Características de los datos
Sensor de nivel alto de agua (ET1)	GSM (Global System Mobile)	API Web	Temperatura de agua
Sensor de nivel bajo de agua (ET1)	SMS (Short Message Service)	API Movil	Calidad y Ph del agua
Controlador de bomba de tanque de agua	IP (internet protocol)	Cloud	Nivel superior de agua en el estanque
Sistema de descarga de agua subterránea (ET2)		SQL	Nivel inferior de agua en el estanque
Sensor de temperatura		SigFox	
Sensor de pH del agua			
Controlador de estanque con módulo GSM			
Sistema IP-CCTV			

En [30] se presenta una actualización de un sistema funcional de Internet de las Cosas (IoT) para monitorear los estanques de piscicultura. El sistema IoT consta de varios sensores que miden factores importantes de la calidad del agua, como la temperatura, la intensidad de la luz o el nivel del agua, así como una computadora de placa pequeña que procesa los datos y envía notificaciones sonoras y visuales al administrador de la piscicultura. El sistema actual carece de la capacidad de procesar los datos para el usuario final a través de la plataforma web o móvil. Debido a la distancia remota de los estanques de piscicultura y su dependencia de la ubicación del agua limpia y fresca, una solución a este problema es usar un módulo de expansión como el módem Wivivity para permitir a los usuarios finales en tiempo real monitorear y controlar ciertos aspectos del estanque de piscicultura IoT sistema. El módem Wivivity permite al usuario comunicarse con el sistema IoT a

través de una conexión WiFi, celular, LoRaWAN o comunicación satelital. Más adelante, este módulo se puede integrar con plataformas IoT, incluidos Japsen, Microsoft Azure o Amazon Web Services. Para futuros trabajos, planean expandir no solo los servicios aplicables en diferentes plataformas, sino también agregar más módulos de control y sensores al sistema IoT existente para especies de peces específicas.

En la Tabla 5 se observa un resumen que incluye los sensores, topología, protocolos de comunicación, software y características de los datos del artículo [30].

Tabla 5 *Tabla resumen Sistema de monitor de agua IoT para estanques de cultivo de pescado*

Sensores topología	Protocolos de comunicación	Software	Características de los datos
Sensor de temperatura DS18B20	GSM	Java	Temperatura de agua
Sensor de nivel de agua (P45)	Wi-Fi	API Web	Nivel de agua en el estanque
	LoRaWAN	API Movil	
RTC regulador del ciclo día-noche (DS1302 RTC)	Comunicación satelital	Cloud	Nivel de oxígeno en el agua
Arduino Mega2560	TCP/UDP	SQL	
Relé (Omron GL3 205p1c)	SMTP/FTP/HTTPS /DNS	SigFox	
Wivity module	ICMP		

Los autores [31] indican que la calidad del agua es un factor crítico al cultivar organismos acuáticos y que depende principalmente de varios parámetros, como oxígeno disuelto, amoníaco, pH, temperatura, sal, nitratos, carbonatos, etc. La calidad del agua se controla continuamente con la ayuda de sensores para garantizar el crecimiento y la supervivencia de la vida acuática. Los datos detectados se transfieren al móvil de los acuicultores a través de la nube. Como resultado, se

pueden tomar medidas preventivas a tiempo para minimizar las pérdidas y aumentar la productividad.

En la Tabla 6 se observa un resumen que incluye los sensores, topología, protocolos de comunicación, software y características de los datos del artículo [31]

Tabla 6 *Tabla resumen Sistema de monitoreo en tiempo real basado en el conocimiento para la acuicultura usando IoT*

Sensores topología	Protocolos de comunicación	Software	Características de los datos
Raspberry Pi-3	WiFi	Linux	Oxígeno disuelto
Sensor de nitrato	IP	Python	Amoniaco
Sensor de alcalinidad		API Movil	pH
Sensor de sal		Cloud database	Temperatura
Sensor de temperatura			Sal
Sensor de pH			Carbonato
Sensor de amoniaco			Bicarbonato
Sensor de oxígeno disuelto			Nitratos
			Gas acido

En este documento [32], se utilizó Mesh Wi-Fi para construir una amplia gama de entornos de red inalámbrica de alta velocidad. Ofreciendo una amplia gama de módulos de detección inalámbricos que utilizan Wi-Fi para la transferencia de datos. Ya sea que se trate de datos de detección de bajo volumen, audio, imágenes, video y otros archivos de alto volumen, puede tener una transmisión de entorno Wi-Fi de alta velocidad. Satisfacer las necesidades de red de varios sistemas de monitoreo. De hecho, se configuró este sistema de monitoreo de la calidad del agua en una granja de cangrejos. Las capacidades de medición de agua de este sistema de monitoreo incluyen oxígeno disuelto, ORP, pH y video vigilancia. El sistema también proporciona una página web receptiva.

En la Tabla 7 se observa un resumen que incluye los sensores, topología, protocolos de comunicación, software y características de los datos del artículo [32].

Tabla 7 *Tabla resumen Sistema de monitoreo de acuicultura basado en Internet de las cosas mediante acceso Wi-Fi Mesh*

Sensores topología	Protocolos de comunicación	Software	Características de los datos
Sensor inalámbrico de oxígeno	MESH Wi-Fi	API Web	Oxígeno del agua
Sensor ORP (Para cambios químicos en el agua)	IEEE 802.11	SQL	Niveles y cambios químicos (ORP)
	IP CAM	Cloud	Nivel de pH
Sensor de pH del agua	2.4/5.0 GHz		
PTP Mesh AP	Wireless network		
Antena			
Router			
Cámaras IP			

En [33] se diseña y presentan un sistema inalámbrico de monitoreo y control de redes de sensores para la acuicultura. El sistema puede detectar y controlar los parámetros de calidad del agua de temperatura, contenido de oxígeno disuelto, valor de pH y nivel de agua en tiempo real. Los nodos sensores recopilan los parámetros de calidad del agua y los transmiten a la computadora host de la estación base a través del estándar de comunicación inalámbrica ZigBee. La computadora host se utiliza para el análisis, procesamiento y presentación de datos utilizando la plataforma de software LabVIEW. Los parámetros de calidad del agua se enviaron a los propietarios a través de mensajes cortos desde la estación base a través del módulo *Global System Mobile* (GSM) para su notificación. Se presentó la evaluación experimental de las métricas de rendimiento de la red de calidad del enlace de comunicación, rendimiento de la batería y agregación de datos. Los resultados experimentales mostraron que el sistema tiene una gran perspectiva y puede utilizarse para operar en un entorno del mundo real para un control óptimo del entorno de la acuicultura.

En la Tabla 8 se observa un resumen que incluye los sensores, topología, protocolos de comunicación, software y características de los datos del artículo [33]

Tabla 8 *Tabla resumen Monitoreo y control de la calidad del agua para la acuicultura basada en redes inalámbricas de sensores*

Sensores topología	Protocolos de comunicación	Software	Características de los datos
Sensor de pH PH400/450 series	ZigBee	Compilador ICCAVR	Oxígeno del agua
Sensor de temperatura DS18B20	IEEE 802.15.4	LabVIEW	Nivel de pH
Sensor de oxígeno disuelto D-6800	2.4 GHz		Temperatura del agua
Convertidor AD7705	GSM		Desempeño de la batería
Chip microcontrolador MCU (ATmega16L)			indicador de intensidad de la señal recibida (RSSI)
CC2520 Gateway			
GSM modem			

Los autores [34], presentaron un diseño de sistema general para granjas de peces inteligentes. Desarrollaron un esquema de optimización para el control de la bomba de agua para mantener el nivel de agua deseado en la pecera con un consumo eficiente de energía a través de la selección adecuada del caudal de bombeo y el nivel de llenado del tanque. El esquema de optimización propuesto intenta lograr una compensación entre la duración del bombeo y el caudal mediante la selección del nivel de agua optimizado. El algoritmo de filtro de Kalman se aplica para eliminar el error en las lecturas del sensor. A través de los resultados de la simulación, se observaron que el esquema de optimización logra una reducción significativa en el consumo de energía en comparación con los dos esquemas alternativos, es decir, bombeo con caudales máximos y mínimos. El sistema propuesto puede ayudar a recopilar los datos sobre la granja para un análisis a largo plazo y una mejor toma de decisiones en el futuro para la utilización eficiente de los recursos y la maximización general de las ganancias.

En la Tabla 9 se observa un resumen que incluye los sensores, topología, protocolos de comunicación, software y características de los datos del artículo [34].

Tabla 9 *Tabla resumen optimización para el control de la bomba de agua en una piscifactoría inteligente con un consumo eficiente de energía*

Sensores topología	Protocolos de comunicación	Software	Características de los datos
Bomba de velocidad variable IntelliFlo fabricada por Pentair Modelo # 11018	ZigBee	Libelium	Oxígeno del agua
	WiFi	Smart Water	Nivel de pH
	2.4/5.0 GHz	C#	Temperatura del agua
Módulo sensor de agua fabricado por Geekria			Consumo eléctrico
Sensor de temperatura			Bombeo de agua
Sensor de pH			

En [35] se presentó un nuevo sensor de advertencia de toxicidad para el monitoreo de la calidad del agua en sistemas de recirculación de acuicultura (RAS). El diseño del sistema de sensores comprende principalmente un biosensor de células enteras. *Aliivibrio fischeri*, una bacteria luminiscente ampliamente utilizada en el análisis de toxicidad, se probó para una mezcla de factores estresantes conocidos para la salud de los peces, nitrito, amoníaco no ionizado, cobre, aluminio y zinc. Se construyeron dos modelos predictivos de toxicidad. Se analizó la correlación, el error cuadrático medio, el error relativo y el comportamiento tóxico. El modelo de adición de concentración lineal (LCA) se encontró adecuado para aliarse con un algoritmo de aprendizaje automático para la predicción de eventos tóxicos, gracias al comportamiento aditivo cerca de las concentraciones límite para estos estresores, con un error de raíz cuadrática media (RMSE) de 0.0623, y un error absoluto medio del 4%. Se demostró que el modelo tenía una desviación relativa menor que otros métodos descritos en la literatura. Además, también se propone el diseño de un nuevo chip microfluídico para pruebas de toxicidad, que se integrará en un sistema fluido que funciona como un bypass del tanque RAS para permitir el monitoreo casi en tiempo real. Este chip se probó con muestras simuladas de agua RAS enriquecida con zinc, con una CE50 de 6,46E-7 M.

En la Tabla 10 se observa un resumen que incluye los sensores, topología, protocolos de comunicación, software y características de los datos del artículo [35].

Tabla 10 *Resumen Monitoreo de la calidad del agua de la acuicultura: diseño de un sensor de alerta temprana con Aliivibrio fischeri y modelos predictivos*

Sensores topología	Protocolos de comunicación	Software	Características de los datos
Oxygard Pacific (OxyGuard International A/S, Denmark)	n/a	Excel	Amoniac no ionizado
Pentair Point Four (Pentair, UK)		Origin Pro 8	Nitrito Cobre
Chip microfluidoico para el monitoreo de la calidad del agua potable			Aluminio Zinc

En [36] se implementó una plataforma de Internet de las Cosas (IoT) con capacidades de detección, procesamiento de datos y comunicación inalámbrica para soportar el monitoreo remoto del medio ambiente acuático, se presentó el diseño y desarrollo de una plataforma IoT con múltiples nodos de sensores móviles (MSN) para la evaluación de la calidad espacio-temporal del agua superficial. Se propone un planificador de encuestas para distribuir las ubicaciones de muestreo de interés (SLoI) sobre el área de estudio y generar rutas para que los MSN visiten los SLoI, dados los limitados presupuestos de energía y tiempo. Los SLoI se eligen en función de una descomposición celular que se compone de células hexagonales uniformes. Los MSN los visitan a lo largo de un anillo de ruta generado por un enfoque de planificación que utiliza un árbol de expansión. Para la evaluación de la calidad, se desarrolla un Índice de calidad del agua en línea (OLWQI) para interpretar las grandes cantidades de mediciones en línea. Las formulaciones del índice son modificadas por un índice de última generación, el CCME WQI, que ha sido desarrollado por el Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME) para la indexación fuera de línea. El índice propuesto ha demostrado un rendimiento efectivo y confiable en la indexación en línea de un gran volumen de mediciones de parámetros de calidad del agua. La

plataforma IoT se implementa en el campo, y su rendimiento se demuestra y discute en este documento.

En la Tabla 11 se observa un resumen que incluye los sensores, topología, protocolos de comunicación, software y características de los datos del artículo [36]

Tabla 11 *Tabla resumen evaluación y calidad del agua automatizada utilizando una plataforma IoT con nodos de sensores móviles*

Sensores topología	Protocolos de comunicación	Software	Características de los datos
Raspberry Pi 3	WiFi	Java	pH y calidad del agua
Nodos de sensores móviles	ZigBee	Robotic Operating System (ROS)	Desempeño de los sensores móviles
Sensor de pH del agua	GPRS		
Panel solar	3G/4G	MySQL database	
	IP		

Los autores [37] proponen un conjunto de sensores para monitorear la calidad del agua y el comportamiento de los peces en los tanques de acuicultura durante el proceso de alimentación. El WSN se basa en sensores físicos, compuestos de componentes electrónicos simples. El sistema propuesto puede monitorear los parámetros de calidad del agua, el estado del tanque, la caída del alimento y la profundidad y velocidad de natación de los peces. Además, el sistema incluye un algoritmo inteligente para reducir el desperdicio de energía al enviar la información desde el nodo a la base de datos. El sistema está compuesto por tres nodos en cada tanque que envían la información a través de la red de área local a una base de datos en Internet y un algoritmo inteligente que detecta valores anormales y envía alarmas cuando ocurren. Todos los sensores están diseñados, calibrados y desplegados para garantizar su idoneidad. Los mayores esfuerzos se han logrado con el sensor de presencia de peces. El costo total de los sensores y nodos para el sistema propuesto es inferior a 90.

En la Tabla 12 se observa un resumen que incluye los sensores, topología, protocolos de comunicación, software y características de los datos del artículo [37]

Tabla 12 *Tabla resumen Diseño e implementación de sensores de bajo costo para monitorear la calidad del agua y el comportamiento de los peces en tanques de acuicultura durante el proceso de alimentación*

Sensores topología	Protocolos de comunicación	Software	Características de los datos
sensor de iluminación	WiFi	C++	Temperatura
sensor de nivel de agua	Ethernet	SQL database	Turbidez
sensor de capa de aceite			Ausencia de capa de aceite
sensor de presencia de los trabajadores			Presencia de capa de aceite
sensor de comportamiento de los peces			Iluminación
sensor de temperatura			Presencia de trabajadores
sensor de turbidez			Ausencia de trabajadores
sensor de conductividad			Presencia de pescado
sensor detector de caída de alimentación			Caída de alimentación
sensor de humedad			
Router, Switch			

Se presentó en [38] una aplicación práctica de redes inalámbricas: un sistema de monitoreo de agua en línea basado en ZigBee y GPRS. Se detecta el contenido de varios productos químicos en el agua. Los datos del sensor se recopilan y transmiten a través de ZigBee y GPRS. Técnicas especiales están involucradas en la implementación del sistema mientras se emplean TinyOS, LabVIEW y MySQL.

En la Tabla 13 se observa un resumen que incluye los sensores, topología, protocolos de comunicación, software y características de los datos del artículo en [38].

Tabla 13 *Tabla resumen Sistema de monitoreo de agua en línea basado en ZigBee y GPRS*

Sensores topología	Protocolos de comunicación	Software	Características de los datos
GPRS DTU	WiFi	TinyOS	Muestreo del agua
ZigBee Module	ZigBee	LabVIEW	Óxido de nitrógeno
dispositivo de monitoreo en línea que utiliza CP1H PLC hecho por OMRON (es responsable de probar la concentración de óxido de nitrógeno, polonio y valor de PH)	GPRS	MySQL	Polonio
	IP		Nivel de pH
CC2420 RF chip (lee datos del agua en PLC)			
MSP430 MCU (se conecta a al PLC y al GPRS DTU)			

En este artículo, los autores [39] describieron un sistema de monitoreo en línea de la calidad del agua para el cultivo intensivo de peces en China, que combina la tecnología integrada en el servidor web con la tecnología de telecomunicaciones móviles. Basado en datos históricos, este sistema está diseñado para pronosticar la calidad del agua con redes neuronales artificiales (ANN) y controlar la calidad del agua a tiempo para reducir las pérdidas catastróficas. El modelo de pronóstico para oxígeno disuelto con media hora de anticipación ha sido validado con datos experimentales. Los resultados demuestran que el monitoreo multiparamétrico, de larga distancia y en línea para obtener información sobre la calidad del agua se puede adquirir y predecir con precisión mediante el uso de este sistema de monitoreo establecido.

En la Tabla 14 se observa un resumen que incluye los sensores, topología, protocolos de comunicación, software y características de los datos del artículo en [39]

Tabla 14 *Tabla resumen Sistema inalámbrico remoto para el monitoreo en línea de la calidad del agua en cultivos de peces.*

Sensores topología	Protocolos de comunicación	Software	Características de los datos
Sensor de temperatura marca Nantu (china)	CDMA Unicom China	JSP	Temperatura del agua
Sensor de OD marca Nantu (China)	Ipssec VPN	Netscape	OD (mg/L)
Sensor de pH marca Nantu (China)	LAN	MATLAB	Salinidad del agua
Sensor de salinidad marca Nantu (China)	WiFi	MySQL	Mortalidad de pescados
Sensor de calidad de agua de OD y temperatura HQ 40d18 (USA)	TCP/IP	Apache tomcat server	Nivel de pH del agua

En este estudio [40], se desarrolló un sistema inteligente de control y seguimiento de piscicultura basado en Internet de las cosas (IoT) que incluye un método de pronóstico que permite la gestión automática de la calidad del agua y apoya el seguimiento de la cría y venta de peces de agua dulce. Este sistema puede ayudar a los acuicultores a controlar y administrar de manera inteligente los equipos de tratamiento de calidad de agua de estanques y ayudar a los consumidores a rastrear y ver los datos históricos del proceso de cría utilizando la etiqueta de código QR de un producto acuático, lo que puede aumentar los ingresos de los acuicultores y salvaguardar la seguridad alimentaria de los consumidores. También se propuso un conjunto de métodos de pronóstico de indicadores de calidad del agua para un módulo de gestión inteligente de estanque de peces que primero detecta y elimina datos anormales utilizando el algoritmo de factor atípico local (LOF) después de compararlo con DBSCAN. Luego, los datos clave de estanques de peces se analizan, modelan y predicen utilizando el algoritmo *Model Tree*, lo que permitió que los

indicadores de calidad del agua se aborden con anticipación y se mantengan dentro de un rango seguro que cumpla con los estándares.

En la Tabla 15 se observa un resumen que incluye los sensores, topología, protocolos de comunicación, software y características de los datos del artículo en [40].

Tabla 15 *sistema inteligente de control y trazabilidad basado en IoT para pronosticar y mantener la calidad del agua en granjas de peces de agua dulce*

Sensores topología	Protocolos de comunicación	Software	Características de los datos
Sensor de temperatura de agua	ZigBee	Movil app	Nivel de pH en el agua
Sensor de conductividad eléctrica del agua	GPRS	WeChat	Temperatura del agua
	TCP/IP	B/S Framework	
Sensor de nivel de agua		LAMP Framework	Concentración de oxígeno disuelto en el agua
Sensor de nivel de pH		HTML5/CSS	
Sensor de turbidez del cuerpo de agua		JSP	
Sensor de oxígeno disuelto		Java	
		jQuery	
		MySQL	

4 Metodología de trabajo

Para definir las etapas que se siguieron en el desarrollo de este trabajo, se tomaron como referencia diferentes metodologías para la implementación de proyectos de tecnología. Por ejemplo, la metodología *stage-gate* propone 4 etapas [41], donde primero se define el alcance del proyecto y establece un plan de trabajo, luego se realiza una evaluación técnica para dar viabilidad al inicio del trabajo técnico y experimental, para así implementar el plan y definir si se profundiza en ciertos aspectos y, finalmente, hacer una evaluación. Una característica interesante de esta metodología es

la verificación de ciertos requisitos antes de continuar con la siguiente etapa, a través de lo que esta metodología define como “puertas” para entrar a la respectiva etapa. Las puertas son decisiones para: dar inicio, iniciar pruebas, rediseñar la investigación profundizando en aspectos de forma más detallada y determinar la aplicabilidad del resultado, respectivamente.

De otra parte, se tomó en cuenta algunos estándares globales del *Project Management Institute* (PMI), donde se definen cinco (5) categorías de procesos para la dirección de proyectos: inicio, planificación, ejecución, monitoreo y control, y cierre. Estas categorías deben ser diseñadas teniendo en cuenta la identificación de acciones integradoras, el alcance del trabajo, el tiempo con que se cuenta para la ejecución del proyecto, los costos, la calidad requerida, los recursos necesarios y los posibles riesgos.

Haciendo una adaptación de estas dos metodologías, para este proyecto se definieron las siguientes etapas y, además, se formula para cada etapa un objetivo previo a ser cumplido antes de continuar con la siguiente:

Etapas preliminares: Definición del plan operativo de trabajo.

En esta etapa se definió detalladamente el cronograma y las actividades a realizar, identificando los productos o resultados de cada actividad. En este proyecto es importante definir aspectos como:

- Variables del proceso productivo seleccionado para el Centro de Desarrollo Agroalimentario granja El Limonal.
- Sistema de captura y transmisión de variables.
- Sistema para almacenamiento de datos.
- Algoritmo de predicción.
- Los instrumentos de evaluación del algoritmo.
- Solución IoT

Todos estos aspectos deben tener tiempos límites de desarrollo. Este plan (ver Anexo B) debe ser definido a máximo 6 meses, donde el primer trimestre se hizo la valoración de las variables

involucradas en la solución IoT propuesta y el segundo trimestre se seleccionó el algoritmo que mejor se ajuste al proceso piscícola en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal.

Objetivo a ser cumplido para pasar a la siguiente etapa: Plan elaborado.

Etapa 1: Análisis del estado del arte en granjas inteligentes. (2 meses).

Se buscó en las distintas redes de conocimiento que se encuentran disponibles en internet y en artículos científicos, información sobre trabajos similares realizados por otros autores sobre diseños y aplicaciones de granjas inteligentes, de tal forma que sirvió para detectar puntos positivos comunes y elementos de mejora. En esta etapa analizaron los casos ya reportados donde se han usado sistemas IoT y se identifiquen los sistemas para la captura, transmisión y almacenamiento de las variables más relevantes en una granja.

Objetivo a ser cumplido para pasar a la siguiente etapa: Documento con el resumen del estado del arte consultado y los principales aspectos identificados en relación a implementaciones IoT en granjas inteligentes, que serán tomados como base del modelo a realizar dentro del proyecto.

Etapa 2: Creación framework IoT. (2 meses)

En esta etapa, se definieron los sistemas para la captura transmisión y almacenamiento de las variables que simplifican el manejo de la información y el algoritmo de predicción con mayor precisión para el proceso de producción piscícola.

Objetivo a ser cumplido para pasar a la siguiente etapa: Desarrollo de un framework propuesto en las etapas de adquisición y transmisión de datos a través de cuadros de caracterización de los diferentes sensores y protocolos de transmisión de información utilizados en sistemas IoT e Incorporación de sistemas de análisis de datos y predicciones en la solución propuesta.

Etapa 3: Arquitectura IoT. (1 mes)

Una vez aplicado el algoritmo de predicción se evaluó el desempeño del algoritmo de aprendizaje automático entrenado, contrastando los resultados de estimación con datos reales.

Objetivo a ser cumplido en la última etapa: Validación de la solución propuesta, definiendo las características de la forma de implementación del Internet de las Cosas en la adquisición, el transporte y el análisis de información valorando el algoritmo de predicción utilizado.

Las actividades que se desprendieron de cada una de las etapas:

1. Consulta en redes de conocimiento especializado por internet y en artículos de casos similares al planteado en el objetivo general.
2. Diagnóstico de procesos productivos presentes en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal.
3. Caracterización y selección de las variables más relevantes para el proceso productivo seleccionado en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal.
4. Caracterización diferentes tipos de sensores para la captura de datos en una granja inteligente y de métodos de transmisión de datos utilizados en IoT.
5. Asociación de los sensores y los métodos de transmisión analizados para el proceso productivo seleccionado en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal.
6. Diseño de la arquitectura IoT adecuada para el proceso productivo seleccionado en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal.
7. Diferenciación de los más relevantes métodos de análisis de datos utilizados en IoT teniendo en cuenta las necesidades y los productos de la piscicultura trabajados en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal.
8. Búsqueda de datasets para realización del análisis de datos.
9. Selección de algoritmos de predicción, para el respectivo análisis de datos.
10. Validación de los parámetros seleccionados y de los algoritmos de predicción.

A continuación en la *Fig. 10* se muestran las etapas de la solución a construir en el proyecto:

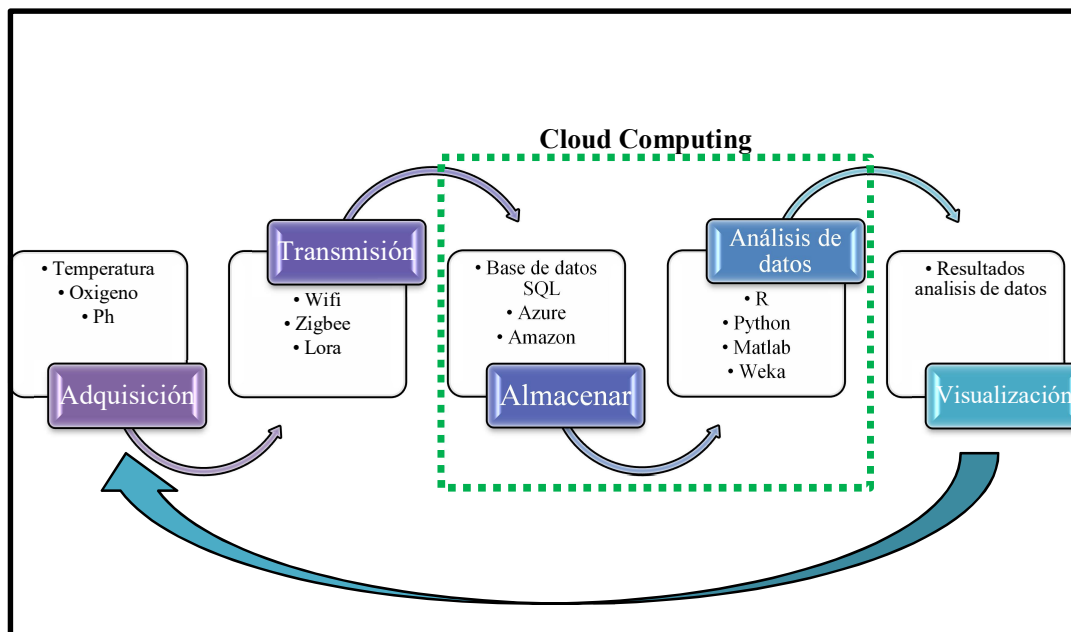


Fig. 10 Etapas solución IoT

5 Resultados

En este capítulo se plantea el desarrollo de la solución tecnológica. Se divide en tres apartados, un primer apartado el 5.1 surge del estudio del estado del arte y los principales aspectos identificados en relación a implementaciones IoT en granjas inteligentes, el cual se tomó como base para el diagnóstico realizado al proceso de piscicultura, junto con la selección de la especie a monitorear, la caracterización del cultivo en estanques, un análisis de costos para su producción y las variables seleccionadas para medir la calidad del agua. Un segundo apartado el 5.2 que corresponde a las etapas de adquisición de datos, transmisión de datos y validación de la propuesta, donde se especifica el *framework* IoT que permite observar el equipo base de medición seleccionada, junto con los sensores para medir las variables, el protocolo para la transmisión de los datos y el análisis de los datos realizado en WEKA. Finalmente un tercer apartado 5.3 que contiene el diseño de la arquitectura IoT.

5.1 Diagnóstico del proceso productivo, caracterización y selección de las variables más relevantes en una granja

Para la realización del diagnóstico al proceso productivo que es la piscicultura, se tuvo en cuenta la producción anual de la actividad pesquera y la temperatura media de la zona donde se centró el estudio; para la estimación de las especies de pesca continental que tiene mayor tendencia de producción, se caracterizaron las etapas del cultivo, la estructura de los costos necesarios para la producción comercial y se enumeraron las variables relevantes en la piscicultura para medir la calidad del agua.

5.1.1 Actividad a ser intervenida bajo arquitectura IoT: En la autoridad Nacional de acuicultura y pesca se evidencia la tendencia de la producción anual acuícola continental en Colombia desde 1986 hasta 2017, de las especies tilapia, cachama, trucha bocachico, yamu, bagre y carpa. De dicha gráfica, se puede deducir que la especie con mayor producción Nacional es la tilapia con 73.340 toneladas al año, seguido de la cachama con una producción de 22.844 toneladas.

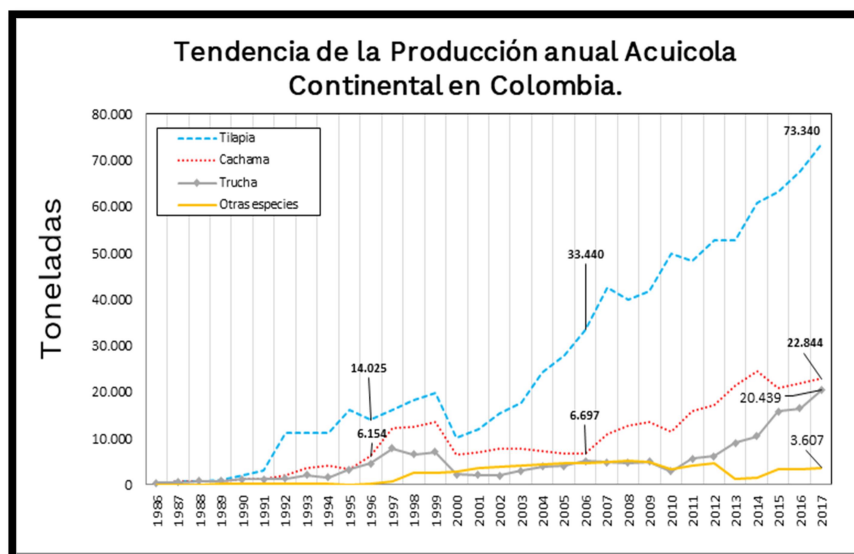


Fig. 11 Producción anual de la actividad pesquera anual desde 1986 a 2017; Tilapia, Cachama, Trucha y Otras especies (Bocachico, Yamu, Bagre, Carpa)

Fuente: Tomado de [42]

En los diagnósticos del estado de la acuicultura de Colombia [43] indican que aproximadamente el 90% de la acuicultura continental se centraliza en la Tilapia, Trucha y Cachama, siendo la tilapia la mayor muestra con el 63% de la producción total piscícola. En Colombia el sector piscícola es considerado pequeño ya que solo existen alrededor de 2.130 hectáreas utilizadas para esta actividad, de las cuales 98% son estanques en tierra y el 1,2% restante produce en embalajes flotantes en diferentes cuerpos de agua naturales o artificiales. Las personas naturales o jurídicas que se dedican a la acuicultura se estima en unos 29.400, de los cuales, más del 99% se dedican a la piscicultura, y de ellos, un poco más del 90% son Acuicultores de Recursos Limitados (AREL), y apenas 245 son acuicultores medianos y grandes.

El departamento de Santander es una zona geográfica apta para realizar acuicultura continental y este se encuentra dentro de los 10 departamentos donde se concentra el 92% de la producción piscícola [44]. Una de las variables biofísicas para evaluar el desarrollo de las especies en la piscicultura es la temperatura ambiental, la cual en el Departamento de Santander es variable. Específicamente en el municipio de Piedecuesta donde se centra esta investigación, se tiene una temperatura media anual entre los 20 y 24 °C como se observa en Fig. 12, lo que lo hace apto solo para la cría de especies cálidas.

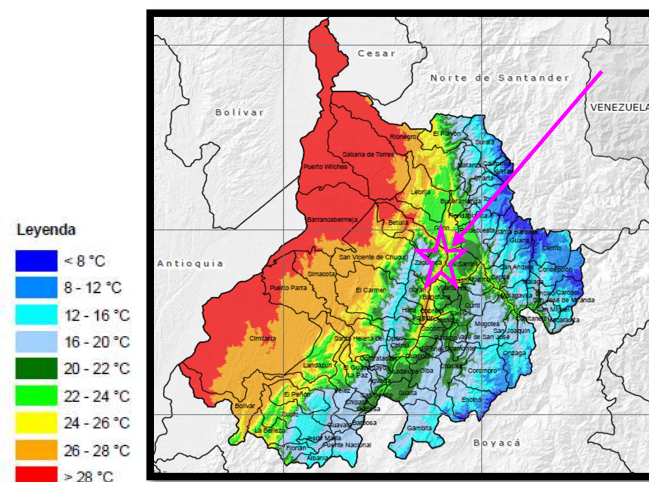


Fig. 12 Temperatura media anual (°C) Departamento de Santander

Fuente: Tomado de [45]

Colombia se encuentra zonificada según la acuicultura Nacional, basándose en el relieve y temperatura (Fig. 13); el municipio de Piedecuesta específicamente del departamento de Santander, se encuentra apto para el cultivo de especies de aguas cálidas, como la cachama y la tilapia.

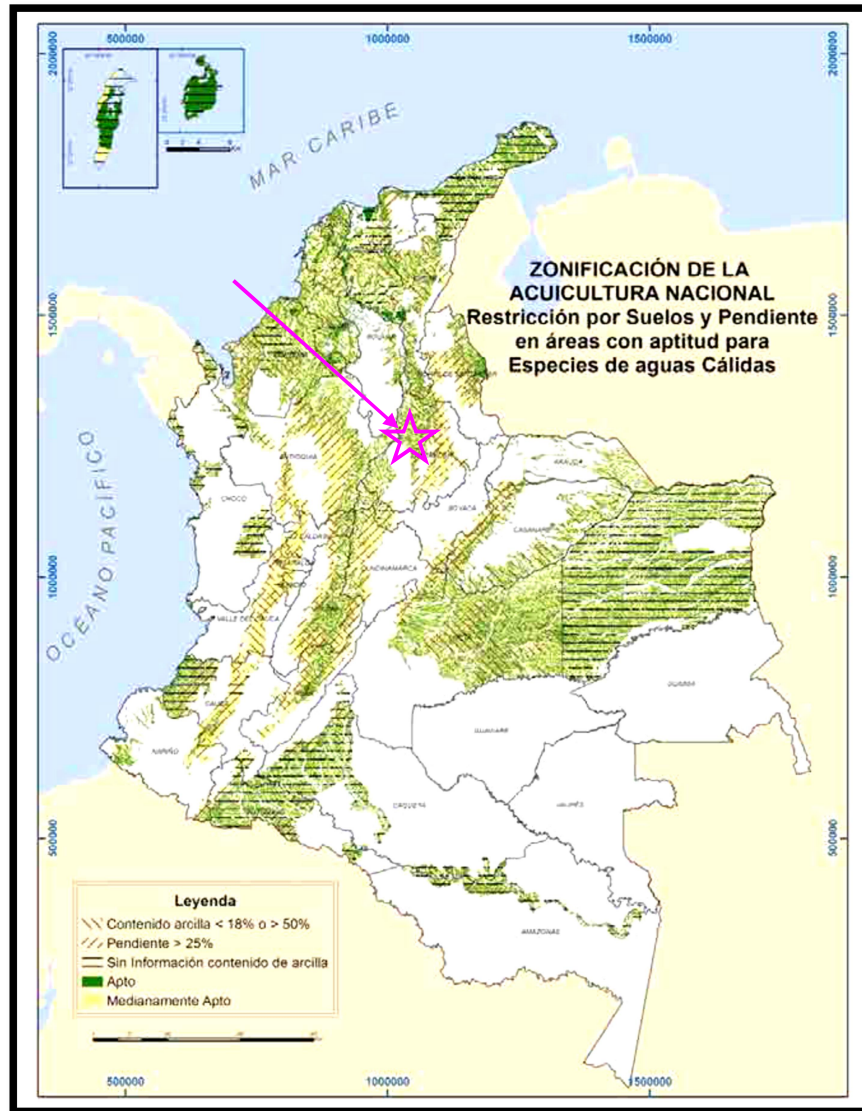


Fig. 13 Zonificación especies aguas cálidas

Fuente: Tomado de [44]

Dentro de las perspectivas que tiene la AUNAP para los años 2015 al 2040 sobre el ordenamiento y la administración pesquera y acuícola [46] se pueden destacar un aspecto donde se

refieren a la brecha digital que es: poner en funcionamiento un sistema de información en línea (plataforma tecnológica) para procesos de administración pesquera y acuícola.

Actualmente en el país solo 10 empresas son las que están habilitadas para la exportación de pescado aprobados por el INVIMA, como se observa en la Tabla 16.

Tabla 16 *Exportación habilitada según el INVIMA, por departamento*

Especie	Empresa	Departamento	Capacidad de las plantas de proceso (ton/mes)
Tilapia	Piscícola el Rosario	Antioquia	450
Tilapia	Proceal	Huila	600
Tilapia	Piscícola New York	Huila	750
Tilapia	Comepez	Huila	600
Tilapia	Piscícola Botero	Huila	500
Tilapia	Truchas Belmira	Antioquia	80
Tilapia	Piscícola el Diviso	Cauca	65
Tilapia	Truchicol	Boyaca	25
Tilapia	Trout Co	Cundinamarca	40
Tilapia	Pezfresco	Risaralda	55
Total			3.165

Fuente: FEDEACUA – INVIMA, 2012

La piscicultura desarrollada en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal de la Universidad Santo Tomás, es de notar que se realiza para fines investigativos y de producción y consumo interno para la comunidad Tomasina. Dicha actividad, cuenta con dos estanques para su cultivo, pero dicha infraestructura presenta falencias en su estructura lo que genera pérdida de agua, oxígeno y comida, lo que conlleva a tener una deficiencia en la producción. Se ve necesario plantear una solución que genere un control adecuado de los factores que están afectando la producción negativamente.

5.1.1 Selección de la especie a monitorear: Según el estudio realizado para la selección de la especie a monitorear, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

1. El Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal de la Universidad Santo Tomás, está ubicado en el municipio de Piedecuesta el cual es apto para la acuicultura, ya que no tiene restricciones de suelos y uno de los factores biofísicos de la zona es la temperatura que se encuentra entre los 20 y 24 °C (*Fig. 12*), por lo que es necesario seleccionar una especie cálida (*Fig. 13*).

2. La especie con mayor volumen de oferta al transcurrir de los años en Colombia es la tilapia con más de 70 mil toneladas en el año, tal como se observa en la *Fig. 11*

3. La tilapia una especie tipo exportación, al ser una de las de mayor producción a nivel Nacional.

Según lo anterior se puede definir que la especie a monitorear en este proyecto será la Tilapia (*Fig. 14*), para lograr una trazabilidad del producto desde su crianza hasta su venta y lograr convertirla en una especie de tipo exportación en el Departamento de Santander.



Fig. 14 Ejemplo tilapia roja

Un resumen de la caracterización de las etapas de un cultivo de tilapia en estanques de tierra se puede observar en la Tabla , tomado de [43]

Tabla 17 *Caracterización tilapia*

Etapa	Alevinaje	Pre-engorde	Engorde
Peso promedio (gr) inicial y final	de 1 - 3 hasta 5 - 20	20 - 150	150 - 460
Densidad (kg/m²)	0,06 - 0,9	0,24 - 1,8	0,75 - 2,0
% de proteína en el alimento	45 - 40	30	24
Alimento diario (% de la biomasa)	8 al inicio	4 al inicio	3 al inicio
	4 al final	3,5 al final	2 al final
Número de comidas al día	4 - 6	4	2

Fuente: INCODER, 2006

5.1.2 Selección de variables de la actividad productiva: Para poder tomar decisiones en la investigación y tener mayor alcance, es necesario definir variables relevantes en la acuicultura, para este caso en particular se basará en la calidad del agua donde se criarán las tilapias.

Según los autores [31] y [33], algunos elementos esenciales para una óptima producción piscícola en cuanto a calidad del agua son los siguientes:

- Temperatura
- Alcalinidad
- PH
- Oxígeno Disuelto
- Turbidez
- Dureza
- Amonio

En un estudio [47] realizado en años anteriores se puede detallar, la medición de los parámetros mencionados anteriormente en los dos estanques con los que cuenta el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal de la Universidad Santo Tomás, los cuales arrojaron los siguientes resultados:

Temperatura: La temperatura en ambos estanques está dentro de los valores permisibles y óptimos, oscilan entre los 22 y 29 grados.

Alcalinidad: Los niveles de alcalinidad se encuentran en los 57 y 58 mg CaCO₃ / L respectivamente, estando dentro de los valores permisibles para la producción piscícola.

PH: ambos estanques se encuentran en los valores permisibles.

Oxígeno Disuelto: En los estanques se cuenta con una baja cantidad de OD (en el estanque 1 con 2,2ppm/L y en el estanque 2 con 2,5ppm/L) ya que la cantidad óptima es 5ppm/L.

Turbidez: En el caso de los estanques 1 y 2 arrojaron unos resultados muy positivos, lo que quiere decir que está apto para iniciar el proyecto.

Dureza: La cantidad de calcio y magnesio que se requiere para la producción piscícola oscila entre 41 y 49 mg CaCO₃ / L, esto quiere decir que los estanques 1 y 2 presentan condiciones aptas para llevar a cabo este proyecto.

Amonio: la cantidad de amoníaco superan los 2mg /L; lo que no es bueno para los peces.

Para nuestro estudio se han seleccionado los siguientes parámetros para medir la calidad del agua donde se criaran las Tilapias:

- Temperatura, si este parámetro varía más de 5 grados en el día, es causante de mortalidad en los peces.
- Oxígeno disuelto, es necesario para que la supervivencia y el crecimiento de los peces en el agua.
- PH, indica el potencial eléctrico que es inducido por la solución acida.
- Turbidez, detecta la presencia de partículas colgantes en el agua.
- Nitrato, indican la toxicidad en el agua originada por las heces de los peces.

Como resultado del diagnóstico de los procesos productivos presentes en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal, y la caracterización de las variables más relevantes en una

granja, en la *Fig. 15* se resume la especie que se sugiere ser criada y las variables que se deben medir, para tener unos buenos resultados sobre la calidad del agua donde se criarán las tilapias.

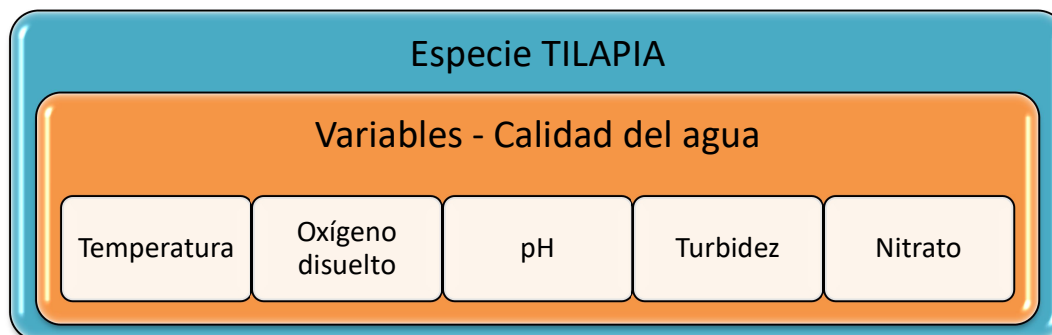


Fig. 15 Especie y variables seleccionadas

5.2 Framework basado en Internet de las Cosas para la optimización del desempeño de las variables en la piscicultura

En el diseño del framework basado en Internet de las Cosas para la optimización del desempeño de las variables del proceso de piscicultura tratado en este apartado, se detalla la identificación de las características tecnológicas como tipos de sensores, protocolos de transmisión, almacenamiento de datos y el algoritmo de predicción apropiado usado para el análisis de los datos.

5.2.1 Selección de equipos de medición: Para la selección de los equipos de medición, se estudiaron alternativas de equipos IoT industriales y no industriales de empresas internacionales (Libelium, Envira) y nacionales (Siot, Bismark), también se observaron alternativas de otros autores con dispositivos como el NodeMCU, Arduino Uno y ESP8266 como se observa en la Tabla , para la medición de las características del agua seleccionados en 5.1.2

Se realizó una comparación de superioridad, según las características, sensores y costos entre dos fabricantes internacionales, uno es Libelium y en otro es Envira, el primero es una empresa multinacional Española que se dedica a la fabricación de sensores y dispositivos que realizan la interconexión de los mismos, el envío y análisis de datos. El segundo es Envira empresa Española experta en el desarrollo de soluciones, para la monitorización de parámetros ambientales, de salud,

entre otros. De igual manera, se revisaron dos soluciones con dispositivos que se encuentran en el mercado que son NodeMCU y Arduino Uno, pero que necesitan que el usuario, realice la configuración y desarrollo, para que se adapte a las necesidades específicas del cliente.

Tabla 18 *Equipos IoT de medición - características del agua*

Categoría	Ejemplo de empresas	Sensores	Protocolo de red de acceso	Almacenamiento	Análisis de datos
Empresas internacionales	Libelium Smart water [48]	- Temperatura - Oxígeno disuelto - pH - Amonio - Nitrato	LoraWAN 3G	Loriot	Thing+
	Envira Nanoenvi water [49]	- pH - conductividad - Temperatura - Oxígeno disuelto - Turbidez - Nitrato	LoraWAN 3G WiFi	Seleccionada por el cliente	Cualquier plataforma (protocolos CoAP, REST, MQTT)
Empresas Nacionales	Siot Ingeniería [50]	- pH - Conductividad - Turbidez - Oxígeno Disuelto - Cloro	LoraWAN Ethernet WiFi 3G/GPRS	Local Almacenamiento en la nube	Cualquier plataforma (protocolos CoAP, REST, MQTT)
	Bismark [51]	- Temperatura - Oxígeno disuelto - pH	4G LPWAN	Cumoloccity IoT	Trendminer
Diseños de otros autores y propio	NodeMCU [52]	- Humedad y temperatura del aire - Nivel del agua - Temperatura del agua - pH - Oxígeno disuelto	WiFi SPI I2C UART	Local SD MySQL	Cualquier plataforma (protocolos CoAP, REST, MQTT)
	Arduino UNO [53]	- Ph - Turbidez - Temperatura - Conductividad	WIFI GSM	Local	Android ThingSpeak
	ESP8266	- Humedad y temperatura del aire	WiFi	Local (Excel)	
	Sparkfun octopart	- Nivel del agua - Temperatura del agua	SPI I2C	SQL Oracle	R Matlab
	Arduino Raspberry Adafruit	- pH - Oxígeno disuelto	UART LORA	Especializadas (Azure, amazon, thing speak, Thinger, etc)	WEKA Python

Si se hace referencia a las características técnicas todos los equipos cumplen las condiciones necesarias, sin embargo el almacenamiento de los datos y el análisis de los mismos en Libelium y Bismark están sujetos a aplicaciones web propietarias por lo que generan un costo adicional de gestión de datos y se está limitado a lo que sugiera el proveedor. De igual manera, otro factor en contra de Libelium y de Envira son los costos altos de los equipos, mientras que con las soluciones mostradas en la sección de diseño propio, se puede obtener los mismos resultados a un menor costo. Lo que se debe tener en cuenta al momento de la adquisición de los equipos y sensores, es que los parámetros cumplan con el rango de valores a medir.

Una vez revisado las soluciones anteriores, para la Solución IoT que ayudará a la optimización del proceso de piscicultura en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal, se ve viable utilizar como dispositivo el ESP8266, junto con los sensores para medir, temperatura del agua, pH, Turbidez, Nitrato y oxígeno disuelto, tal y como se observa en la Fig. 16.

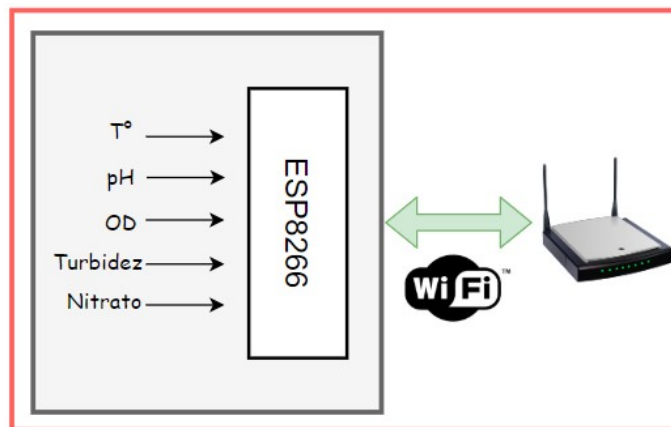


Fig. 16 Esquema adquisición de datos

Para la propuesta de implementación en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal, es necesario contar con dos sistemas dispositivos ESP, como los vistos en la Fig. 15, uno para cada estanque, los cuales se proponen estén instalados en una boya, junto con un sistema de energía autónomo (panel solar) y los cinco sensores que medirán la calidad del agua. El costo aproximado de este sistema se detalla a continuación en la Tabla 19.

Tabla 19 *Costo equipos implementación*

Dispositivo	Cantidad	Valor aproximado
Panel solar	2	\$ 150.000
Controlador y cargador solar	2	\$120.000
Batería recargable	2	\$ 140.000
ESP8266	2	\$ 36.000
Sensores de temperatura, pH, oxígeno disuelto, Turbidez y Nitrato	2 de cada uno	\$ 545.000
Gateway	1	\$ 400.000
Total		\$ 1.391.000

5.2.2 Transmisión de datos: Una vez seleccionado los sensores, controladores, elementos para el suministro de energía y gateways a utilizar, que sirven para determinar la calidad del agua, es necesario seleccionar la tecnología de comunicación entre los controladores y gateways, teniendo en cuenta el área geográfica donde se desea dejar el diseño.



Fig. 17 Distancia entre la estación piscícola y la zona de centralización de datos

Al revisar las distancias entre el sitio donde serían ubicados los sensores y los dispositivos Gateway en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal como se observa en la Fig. 16,

esta no supera los 100 metros, de igual forma los costos estimados de los dispositivos como se pudo observar en la sección 6.2.1, la comercialización y uso de WiFi hacen que la elección de la tecnología de comunicación a utilizar sea ésta. El estándar que se empleará será el 802.11g de WiFi, el cual es usado por los dispositivos ESP8266 en la banda de frecuencias de 2.4GHz y con potencia de transmisión 2dBm.

A medida que los estanques para piscicultura crecen en número y tamaño, el área de cobertura para la transmisión de datos crece también. WiFi tiene limitaciones de cobertura máxima cuando hay elementos como vegetación que no permiten la línea de vista, en este caso hay que utilizar otro tipo de tecnología que logre una mayor distancia. LoRa es una tecnología de área extensa y bajo consumo (Low Power Wide Area Network - LPWAN) que puede resolver este problema. Existen dispositivos Esp (Esp8266 y Esp32) que contienen un módulo integrado con tecnología LoRa, la cual es utilizada para conexiones a grandes distancias en redes IoT, como en nuestro caso, donde estos dispositivos se pueden alimentar a través de baterías debido a su bajo consumo con una velocidad de transferencia baja (50 kbps). Recordemos que la información de los sensores que se transmite no requiere de velocidades altas en el caso del proyecto de piscicultura su tasa de datos por muestra es de 24kbps y en general en casi todos los casos de IoT. Con las ventajas de LoRa se puede pasar de tener 100 metros aproximadamente entre el controlador y el gateway con WiFi a tener hasta cinco kilómetros de distancia dependiendo de la topografía de la zona y de los dispositivos LoRaWAN usados para la adquisición, control y envío de datos. En el Anexo C, se presenta una oferta de servicio para dar solución IoT a la optimización del proceso de piscicultura en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal.

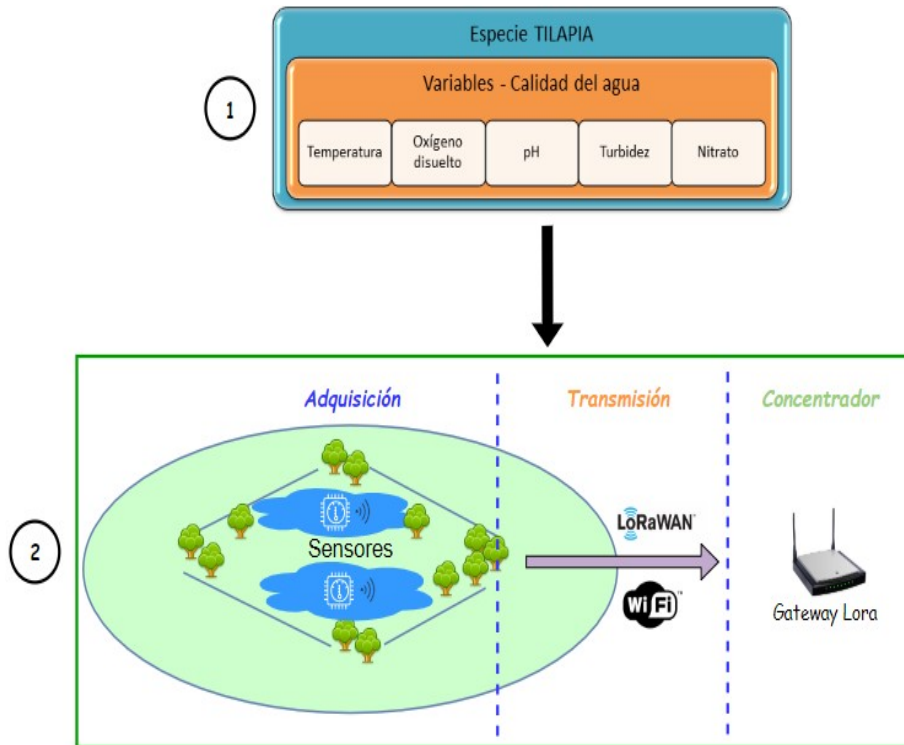


Fig. 18 Adquisición, transmisión y concentrador

En la Fig. 18 se muestra la etapa siguiente a la elección de los parámetros a medir en el agua, que hace parte del framework y son la adquisición de datos a través de sensores, la transmisión usando las tecnologías de WiFi o LoRaWAN y el equipo concentrador un Gateway de LoRa, donde llegan los datos tomados por los sensores.

5.2.3 Análisis de datos: El análisis de los datos es un punto primordial para la obtención de información relevante y útil con respecto a toda la cascada de datos que se recolecta, este análisis se puede destinar a las necesidades empresariales necesarias. Por otra parte, es necesario tener una arquitectura de datos de IoT que sea acorde al propósito para poder recopilar adecuadamente e interpretar los resultados importantes de una forma sencilla.

Para la realización del análisis de datos fue necesario buscar datasets que son un conjunto de datos contenidos de una única tabla de base de datos, donde cada columna de la tabla representa una variable en relacionada con la calidad del agua, y cada fila representa a un miembro en un tiempo determinado del conjunto de datos, el cual contaba con las características físicas del Centro

de Desarrollo Agroalimentario El Limonal de la Universidad Santo Tomás y con la misma especie. En los datos suministrados por los sensores en los cuales están algunas características físicas del agua, también se han tomado el número de peces vivos y muertos en el tiempo alrededor de varios meses. Estos datos son guardados en un archivo CSV (*comma-separated values*) los cuales son un tipo de documento para representar datos en forma de tabla, en las que las columnas se separan por comas.

De los diferentes tipos de análisis (3.2.5) que se pueden realizar en el sector piscícola y teniendo en cuenta los datos suministrados por los sensores y los resultados que se requieren, se decide tomar una analítica predictiva. La analítica predictiva a diferencia de la analítica descriptiva y de diagnóstico; ofrece información sobre lo que es probable que suceda. En este caso se emplea los resultados de analíticas descriptivas y de diagnóstico para detectar tendencias, agrupaciones y excepciones, y para predecir tendencias futuras. En este proyecto se buscó hacer un análisis de los datos para predecir la muerte de los peces teniendo en cuenta las variables suministradas por los sensores. Sin embargo, las predicciones son solo estimaciones y dependen de la calidad de los datos que se han tomado a través de los sensores y la estabilidad de la situación que se analiza, que en este caso es el agua en el cual están los peces. La analítica predictiva puede proporcionar información sobre una o varias acciones que se pueden tomar para evitar que algo suceda, en este caso la muerte de los peces. Aunque también se puede utilizar para beneficiarse de las tendencias comerciales y de marketing emergentes.

Hay que tener en claro que en este proyecto se realizó como piloto un tipo de análisis predictivo cuyo resultado puede variar dependiendo de los datos adquiridos y la información que se desea consultar.

Para obtener este análisis de datos es importante escoger una herramienta como WEKA, R, Python u otras. En este caso, se utilizó *Waikato Environment for Knowledge Analysis* (WEKA), software de código abierto emitido bajo la GNU *General Public License*, el cual es una librería

Java de *Machine Learning*, con la que se puede resolver una amplia variedad de tareas de *Machine Learning* permitiendo la clasificación, la regresión y el *clustering*.

Se ha escogido WEKA, por presentar características como ser licencia de software libre, fácil de usar, puede ser instalado en cualquier dispositivo ya que no requiere de altos requerimientos, las cuales son condiciones propias de granjas o fincas donde se trabaja la piscicultura, pero no se tiene un poder adquisitivo grande. Otro motivo para escoger WEKA es que en el proyecto propuesto no es necesario crear algoritmos para la predicción o análisis de datos ya que estos existen y se busca es la aplicación de estos en el sector de la piscicultura de una forma sencilla y rápida. Adicional a ello, se puede realizar el análisis de información guardada en archivos Excel o de tipo csv, lo que hace que la información que se almacene se realice en archivos de texto normales (tablas), que no necesitan de ninguna capacitación especial.

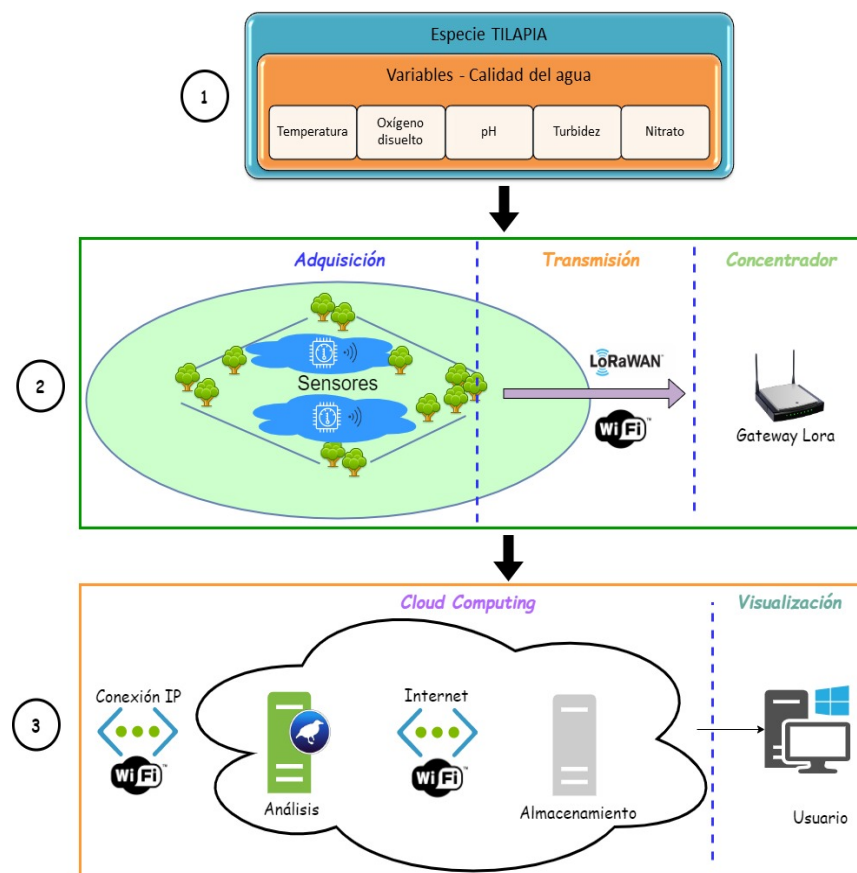


Fig. 19 Cloud computing y visualización de los datos

En la *Fig. 19* se muestra el siguiente paso del framework creado, que es cloud computing, el cual encierra el análisis a través de WEKA y el almacenamiento en un equipo local, también se observa la etapa de visualización de la información.

5.2.4 Clasificación de datos: Para poder realizar las respectivas pruebas y clasificación de datos, fue necesario revisar un dataset, que tuviera las mismas características del terreno donde se encuentra ubicado el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal de la Universidad Santo Tomás, y que tuvieran la especie Tilapia. Los algoritmos de clasificación se usan en este caso debido a que la respuesta de la pregunta “¿Cuál es el número de peces que pueden morir?”, cae dentro de un conjunto finito de resultados posibles lo cual ayuda a identificar una nueva categoría de observación. Por lo anterior se consideran los algoritmos como Maquinas de vectores de soporte (SVM) Naive Bayes, árboles de decisión, y redes neuronales. Una vez realizadas las pruebas con cada uno de estos algoritmos, se llega a la conclusión que el único capaz de predecir con los datos que se tienen es el de Naive Bayes, el cual basa la forma de clasificar en probabilidades que hace más fácil su entendimiento, tiene bajo costo computacional y utiliza solo un paso para procesamiento de datos si estos son discretos. Este algoritmo corresponde a la variedad de clasificadores estadísticos que pronostican la clase de pertenencia de un ejemplo Z por medio de probabilidades, la posibilidad que una muestra dada pertenezca a una clase específica, se fundamenta en el supuesto que los efectos de un atributo son independientes de los valores de los otros atributos de un ejemplo Z .

En WEKA si se quiere realizar una clasificación, lo primero es elegir un clasificador y configurarlo a nuestro gusto, como se muestra en *Fig. 20*.

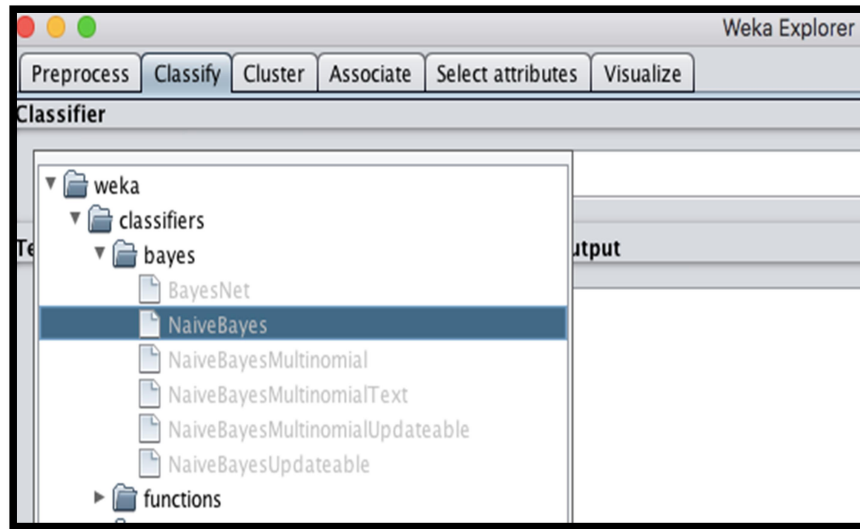


Fig. 20 Elección del clasificador en Weka

Los datos utilizados para la predicción son los generados por los sensores, el objetivo de este ejercicio es poder establecer por medio de un algoritmo de clasificación que tan preciso puede ser el algoritmo, para alertar si van a generar muertes de peces según las variables del entorno.

La clase o variables a predecir, indican si van o morir peces o no; la base de datos describe una serie de características que influyen en el sano entorno de los peces y además si en esa hora se presentaron muerte de peces.

La clase, es el atributo a predecir tiene valores de si/no indicando si para esta hora con esos atributos se presentó o no la muerte de peces, las demás variables son atributos que influyen en la clase.

El algoritmo utilizado para realizar el ejercicio de predicción, es el Naive Bayes, el cual es una técnica de clasificación basada en probabilidades que predice la asociación de clases de acuerdo con la probabilidad previamente observada de todos los atributos potenciales. La información obtenida del algoritmo de Bayes, puede ser utilizada para clasificar instancias, por ejemplo, si el día de hoy va llover o no va llover o en este caso si se van a morir peces o no.

A continuación se describen los datos utilizados:

Tabla 20 Datos utilizados para el análisis

Variable	Descripción	Tipo
Hora	Tiempo en el que se tomó la medición de las variables	Atributo
Temperatura	Temperatura del agua, si este parámetro varía más de 5 grados en el día, es causante de mortalidad en los peces.	Atributo
Conductividad	Determina la cantidad de sales disueltas en el agua	Atributo
pH	Indica el potencial eléctrico que es inducido por la solución acida.	Atributo
Oxígeno	Oxígeno del agua que determina la supervivencia y el crecimiento de los peces en el agua.	Atributo
Turbidez	Detecta la presencia de partículas colgantes en el agua.	Atributo
Clorofila	Permite estimar la concentración de fitoplancton	Atributo
Ficocianina	Indican la toxicidad en el agua originada por las heces de los peces.	Atributo
Vivos	Cantidad de peces vivos	Atributo
Muertos	Cantidad de peces muertos	Clase

A continuación se describen los pasos para la ejecución del algoritmo:

- 1) Cargar el archivo .csv en Weka y hasta visualizar los atributos con los que se va a realizar el análisis, como se muestra en la *Fig. 21*

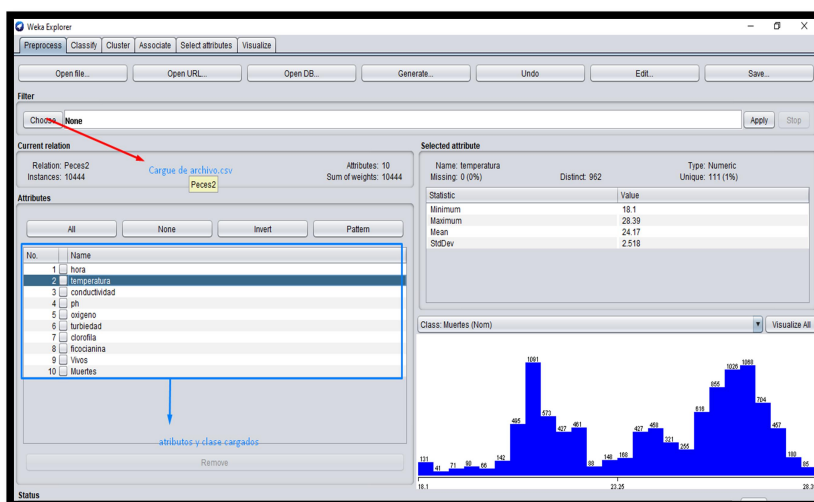


Fig. 21 Cargar archivo en Weka

2) Dar clic en la pestaña de clasificación y escoger la opción *NaiveBayes*, dar clic en *start* para ejecutar el algoritmo (Fig. 22).

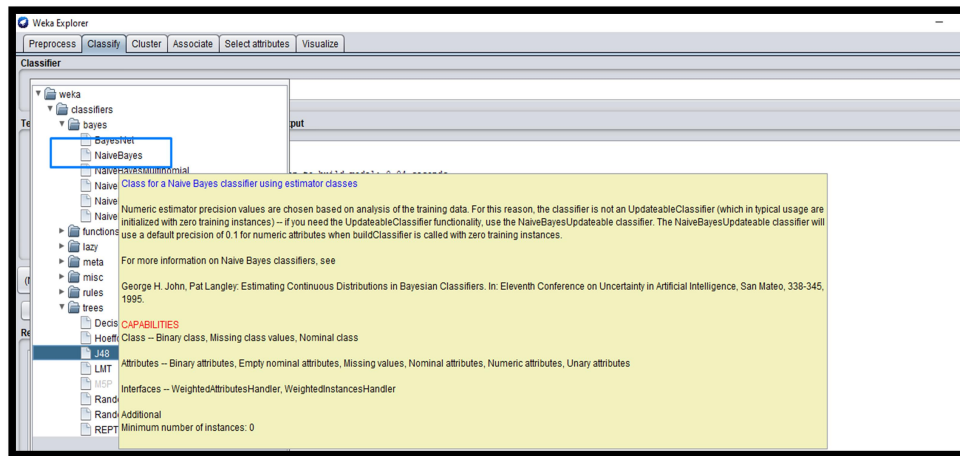


Fig. 22 Selección de algoritmo en Weka

3) Observar el resultado se muestra a continuación:

En el primera parte se muestra un resumen del *dataset*, listando la cantidad de instancias (filas) del archivo, cantidad de atributos y los nombres de cada uno de los atributos, igualmente los valores de la clase como se muestran en la Fig. 23:

```

=== Run information ===

Scheme:      weka.classifiers.bayes.NaiveBayes
Relation:    Peces2
Instances:   10444
Attributes:  10
             hora
             temperatura
             conductividad
             ph
             oxigeno
             turbiedad
             clorofila
             ficocianina
             Vivos
             Muertes

Test mode:   10-fold cross-validation

=== Classifier model (full training set) ===

Naive Bayes Classifier

Attribute      Class
              No      SI
              (1)    (0)
=====

```

Fig. 23 Resumen dataset

La siguiente parte del resultado muestra los valores mínimos y máximos de cada atributo, la desviación estándar de los datos para verificar que no existan valores extremos.

```

Naive Bayes Classifier

Attribute          Class
                   No      SI
                   (1)    (0)
=====
hora
  mean             11.5085 11.8824
  std. dev.        6.9565  6.4158
  weight sum       10427   17
  precision        1       1

temperatura
  mean             24.1674 25.6163
  std. dev.        2.5179  1.8332
  weight sum       10427   17
  precision        0.0107 0.0107

conductividad
  mean             0.2419 0.2312
  std. dev.        0.0388 0.0377
  weight sum       10427   17
  precision        0.01    0.01

```

Fig. 24 Valores mínimos y máximos de cada atributo

En la Fig. 25 muestra el resultado del algoritmo y define que tan preciso es al momento de clasificar una instancia.

```

Time taken to build model: 0.01 seconds

=== Stratified cross-validation ===
=== Summary ===

Correctly Classified Instances  10330      98.9085 %
Incorrectly Classified Instances  114      1.0915 %
Kappa statistic                 0.0473
Mean absolute error             0.0343
Root mean squared error         0.1048
Relative absolute error         1021.4445 %
Root relative squared error     260.0181 %
Total Number of Instances      10444

=== Detailed Accuracy By Class ===

          TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
          0,990   0,824   0,999     0,990   0,995     0,068   0,724   0,999   No
          0,176   0,010   0,029     0,176   0,050     0,068   0,724   0,009   SI
Weighted Avg.   0,989   0,822   0,997     0,989   0,993     0,068   0,724   0,998

=== Confusion Matrix ===
      a    b  <-- classified as
10327  100 |  a = No
   14    3 |  b = SI

```

Fig. 25 Resultados del algoritmo

El resumen del resultado es el siguiente:

- El 98% de las instancias fueron clasificadas correctamente.

- Para la clase No la precisión fue de un 0.99 muy cercano a 1 lo cual quiere decir que es alta y se puede confiar en el resultado.

- Para la clase Si, el resultado no es tan satisfactorio pues la precisión es muy baja, esto se debe a que existen muy pocas instancias donde se presente la muerte de peces por lo tanto la información no es suficiente para que el algoritmo realice la predicción correctamente.

- La matriz de confusión nos muestra la siguiente información:

- 10327 instancias fueron clasificadas correctamente como No y 100 fueron clasificadas incorrectamente como No.

- 3 instancias fueron clasificadas correctamente como Si mientras 14 instancias fueron clasificadas incorrectamente como Si.

5.3 Arquitectura de solución

En el diseño de una solución IoT para la optimización del proceso de piscicultura en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal, se llegó a la conclusión que la arquitectura debe ser de la siguiente manera Fig. 26.

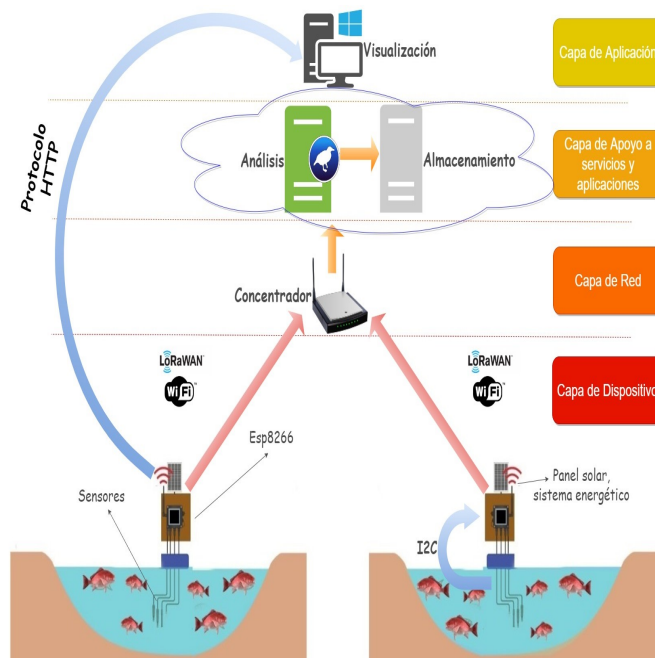


Fig. 26 Arquitectura solución IoT

Según el modelo de referencia IoT de [54], en la capa de dispositivo, se recomienda un ESP8266, el cual tendrá conectados sensores para la medición de temperatura, oxígeno disuelto, pH, turbidez y nitrato, soportando así en pasarela dispositivos conectados a través de WiFi o de la tecnología de LoRaWAN, debido a que el dispositivo tiene integrado en un módulo el cual permite manejar las dos tecnologías. El protocolo usado para la transmisión de los datos a través del modelo de capas es HTTP puro. En la capa de red se tendría apoyo y control de infraestructura de manera local. En la capa de soporte y aplicaciones se propone almacenamiento de datos en equipos ubicados en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal, en archivos Excel, y analizados y depurados con Weka, la visualización, también se realizará desde los equipos de cómputo ubicados localmente. Una vez el algoritmo arroje resultados estos serán almacenados en la nube, para llevar una secuencia de registros.

6 Conclusiones

En la realización del diagnóstico de los procesos productivos presentes en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal, se lograron caracterizar los distintos criaderos de animales que poseen, en consecuencia a esto se optó por la piscicultura como el objeto de estudio, se seleccionaron las variables más relevantes de dicho proceso en la granja, que logran determinar la calidad del agua para que los peces estén en un entorno que no sea mortal, esto se hizo bajo un modelo de Internet de las Cosas, teniendo en cuenta lo revisado en documentos científicos.

Basándose en el estado del arte se logró plantear un framework conceptual basado en el Internet de las Cosas para la optimización del desempeño de las variables del proceso productivo seleccionado, mediante la identificación de sus características tecnológicas como tipos de sensores, transmisión, almacenamiento de datos y posteriormente se usó un algoritmo de clasificación *Naive Bayes*, que permite la predicción de las muertes de los peces según las características que obtienen los sensores sobre la calidad del agua del estanque donde se están criando. La predicción como

mecanismo de alerta ante la muerte de peces, fue posible con los atributos seleccionados sin embargo, es necesario tener un histórico más amplio de las veces en que se ha presentado la muerte de peces con el fin de dar más insumos al algoritmo para la predicción, como se puede visualizar en el resultado para los casos en que no se presentan muerte la precisión fue bastante alta porque de los 10445 registros 10427 eran No y solo 17 Si. El histórico utilizado se puede obtener teniendo una medición constante por medio de los sensores, que se almacene en una base de datos y permita posteriormente crear mecanismos de alerta automáticos.

Finalmente, se diseñó la arquitectura de solución tecnológica IoT para la optimización de un proceso productivo en el Centro de Desarrollo Agroalimentario El Limonal, basándose en las capas del modelo de referencia UIT Y.2060, en la que se incluyen la capa de dispositivo, la capa de red y la capa de soporte y aplicaciones.

Referencias

- [1] E R.Barrientos-Avendaño, «Granja inteligente: definición de infraestructura basada en Internet de las cosas, IPv6 y redes definidas por software,» *Revista Ibérica de sistemas y Tecnologías de información*, vol. E, nº 17, pp. 183-197, 2019.
- [2] The university of waikato, «Cs waikato,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>. [Último acceso: 10 Junio 2019].
- [3] D. A. Tavera Amado, «Plan de Desarrollo Departamental 2016-2019,» 20 Marzo 2016. [En línea]. Available: <http://www.santander.gov.co/index.php/gobernacion/documentacion/category/687-plan-de-desarrollo-departamentaln>.
- [4] Codecti, «Gobernación de Santander,» Acta de actualización del plan y acuerdo estratégico Departamental de ciencia, tecnología e innovación Departamento de Santander, 2017. [En línea]. Available: www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/santander_-_actualizacn_no._3.pdf. [Último acceso: 10 Junio 2019].
- [5] International Telecommunications Union , «Recomendación Y.4000/Y.2060 (06/12),» 15 Junio 2012. [En línea]. Available: <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11559>.
- [6] P. Nintanavongsa y I. Pitimon, «Impact of sensor mobility on UAV-based smart farm communications,» de *International Electrical Engineering Congress (iEECON)*, Pattaya, 2017.
- [7] M. De la Paz Graells, «Manual práctico de piscicultura: ó, Prontuario para servir de guía al piscicultor en España, y á los empleados de la administracion pública en nuestras aguas dulces y saladas,» D.E Aguado, 1864, 2008, p. 264.
- [8] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, *IEEE Guide for Terms and Concepts in Intelligent Process Automation*, New York: IEEE-SA Standards Board, 2017.
- [9] QuestionPro, «QuestionPro,» 01 Julio 2019. [En línea]. Available: <https://www.questionpro.com/es/analisis-de-datos.html>.
- [10] S. Mora Gonzalez, «Entendiendo el internet de las cosas,» *Investiga.TEC*, nº 24, 2015.
- [11] Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Aspectos técnicos y operativos de las redes de área extensa y baja potencia para las comunicaciones entre máquinas y la Internet de las*

cosas en gamas de frecuencias armonizadas pra el funcionamiento de dispositivos de corto alcance, Ginebra: Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2018.

- [12] Internet Engineering Task Force (IETF), «Low-Power Wide Area Network (LPWAN),» Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc8376>.
- [13] LoRa Alliance, «LoRa Alliance,» 10 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://loralliance.org/about-lorawan>. [Último acceso: 10 Agosto 2019].
- [14] Sigfox, «Sigfox,» 15 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://www.sigfox.com/en>. [Último acceso: 10 Agosto 2019].
- [15] ANE, «Agencia Nacional del Espectro,» Agosto 2018. [En línea]. Available: https://www.ane.gov.co/images/ArchivosDescargables/newsletter/DEFINICION_PARAMETROS_TECNICOSIOT_InternetOfThings_COLOMBIA.pdf.
- [16] CIC, «CIC Consulting Informático,» 23 Julio 2019. [En línea]. Available: <https://www.cic.es/analisis-de-datos-una-solucion-de-negocios-iot/>. [Último acceso: 10 Diciembre 2019].
- [17] international telecommunication union, «Recomendación Y.2069 (07/12),» 29 Julio 2012. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2069-201207-I/es>.
- [18] International Telecommunications Union, «Recomendación Y.4113 (09/16),» 13 Septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.4113-201609-I/es>.
- [19] Ministerio de Tecnologías de la información y las Comunicaciones, «Ley 1341 de 2009,» 29 Julio 2009. [En línea]. Available: <https://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-articulo-3707.html>.
- [20] Comisión de Regulación de Comunicaciones República de Colombia, «Resolución 711 DE 2016,» 18 Noviembre 2016. [En línea]. Available: https://normograma.info/crc/docs/pdf/resolucion_ane_0711_2016.pdf.
- [21] Instituto Colombiano Agropecuario, «Resolución 64 de 2016,» 5 Enero 2016. [En línea]. Available: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/col157654.pdf>. [Último acceso: 29 Octubre 2019].
- [22] Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca, «AUNAP - Resolución 601 de 2012,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.aunap.gov.co/images//proyectos-de-consulta/resol-601->

- 2019.pdf. [Último acceso: 29 Octubre 2019].
- [23] Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca, «AUNAP - Resolución 602 de 2012,» 23 Agosto 2012. [En línea]. Available: http://tramites1.suit.gov.co/registro-web/suit_descargar_archivo?A=34644. [Último acceso: 29 Octubre 2019].
- [24] C. L. Garcia Quintero, A. A. Rosado Gómez y C. M. Duran Chinchilla, «Revisión de la aplicación del internet de las cosas en la acuicultura,» *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, pp. 152-159, 2017.
- [25] C. Contreras, J. A. Molina, P. Osma y D. Zambrano, «Construcción de un Sistema de Adquisición y Transmisión Remota de la Calidad del Agua Basado en el Internet de las Cosas (IoT) para la acuicultura,» de *16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Innovation in Education and inclusion*, Lima, 2018.
- [26] F. J. Córdova Briones y D. J. Gonzabay Bailón, «Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil,» Abril 2019. [En línea]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/39749>.
- [27] J. Duran Pesantez, D. Hernandez Rojas, P. Quizhpe Cordero, I. Ramirez Morales, B. Mazon Olivo y C. Escudero Cascon, «Sistema hydroacústico para caracterizar el comportamiento alimentario de especies acuícola, Repositorio Universidad de Machala,» 15 Diciembre 2017. [En línea]. Available: http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12472/1/T-2627_DURAN%20PESANTEZ%20JORDI%20MARCELO.pdf.
- [28] F. Espinosa Faller y G. Rendón Rodriguez, «A zigboo wireless sensor network for monitoring an aquaculture recirculating system,» *Journal of applied research and technology*, n° 10, pp. 380-387, 2012.
- [29] F. Indachaba, J. Olowoleni, A. Ibhaze y O. Oni, «IoT Enabled Real-Time Fishpond Management system,» *Proceedings of the world congress on engineering and computer science*, vol. I, pp. 25-27, 2017.
- [30] S. Nocheski y A. Naumoski, «Water monitoring iot system for fish farming ponds,» *International scientific journal industry 4.0*, vol. III, n° 2, pp. 77-79, 2018.
- [31] R. S. Rama Raju y H. Kumar Varma, «Knowledge Based Real Time Monitoring System for Aquaculture Using IoT,» *IEEE computer society digital library*, vol. I, pp. 318-321, 2017.

- [32] L. Chuan Bi, Y. Kai Cheng y W. Ching Chuan, «Aquaculture Monitoring System Based on Internet of Things by Mesh Wi-Fi Access,» 2017. [En línea]. Available: http://ir.lib.cyut.edu.tw:8080/bitstream/310901800/34482/2/2018_AIT_073.pdf. [Último acceso: 02 Diciembre 2019].
- [33] D. Simbeye y S. Feng Yang, «Water Quality Monitoring and Control for Aquaculture Based on Wireless Sensor Networks,» *Journal of networks*, vol. IX, n° 4, pp. 840-849, 2014.
- [34] I. Ullah y K. DoHyeun, «An Optimization Scheme for Water Pump Control in Smart Fish Farm with Efficient Energy Consumption,» *MDPI*, vol. 6, n° <https://doi.org/10.3390/pr6060065>, 2018.
- [35] L. Da Silva, Z. Yang, N. Pires, T. Dong y H. C. Teien, «Monitoring Aquaculture Water Quality: Design of an Early Warning Sensor with *Aliivibrio fischeri* and Predictive Models,» *Researchgate*, p. 18.2848.10.3390/s18092848, 2018.
- [36] L. Teng, X. Min, C. Jiahong, Z. Yuanjie y d. S. Clarence, «Automated Water Quality Survey and Evaluation Using an IoT Platform with Mobile Sensor Nodes,» *PMC Us national library of medicine national institutes of health*, n° doi: 10.3390/s17081735, 2017.
- [37] L. Parra, S. Sendra, L. Garcia y J. Lloret, «Design and Deployment of Low-Cost Sensors for Monitoring the Water Quality and Fish Behavior in Aquaculture Tanks during the Feeding Process,» *PMC Us National Library of medicine national institutes of health*, n° doi: 10.3390/s18030750, 2018.
- [38] x. Wang, L. Ma y H. Yang, «Online water monitoring system based on ZigBee and GPRS,» *Researchgate*, n° 15.2680-2684, 2011.
- [39] Z. Xiuna, L. Daoliang, H. Dongxian, W. Jianqin, M. Daokun y L. Feifei, «A remote wireless system for water quality online monitoring in intensive fish culture,» *Computers and Electronics in Agriculture 71S*, pp. s3-s9, 2009.
- [40] G. Guandong, X. Ke y C. Miaomiao, «An intelligent IoT-based control and traceability system to forecast and maintain water quality in freshwater fish farms,» *Computers and electronics in agriculture, Elsevier B.V*, n° <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105013>, 2019.
- [41] L. E. Vivas Alzate, «Metodologías para la implementación de proyectos de tecnología. Un Caso de estudio en la virtualización de aplicaciones y hardware.,» Universidad Militar Nueva

Granada, Bogotá, 2014.

- [42] Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca, «AUNAP,» Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.aunap.gov.co/index.php/dir-tecnicas-y-regionales/direccion-tecnica-de-administracion-y-fomento#tendencia-historica-de-la-acuicultura-en-colombia>. [Último acceso: 25 Octubre 2019].
- [43] M. C. Merino, S. P. Bonilla y F. Bages, Diagnóstico del estado de la acuicultura en Colombia, Bogotá: AUNAP, ISBN: 978-958-57974-0-6, 2013.
- [44] N. G. Hortúa Cortés, «Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca AUNAP,» Zonificación de la Acuicultura Nacional, Julio 2013. [En línea]. Available: <https://www.aunap.gov.co/wp-content/uploads/2016/05/Zonificaci%c3%b3n-de-la-Acuicultura-en-Colombia.pdf>. [Último acceso: 18 Noviembre 2019].
- [45] Ideam, «Instituto de hidrología, metereología y estudios ambientales,» Subdirección de metereología, 2018. [En línea]. Available: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>. [Último acceso: 18 Noviembre 2019].
- [46] V. Puentes, F. Escobar, C. Polo, J. Gutierrez, F. Castaño, C. Amado, J. Alonso, D. Mojica, A. Suarez y J. Ramirez, «Evaluación integral y perspectivas del sector acuícola y pesquero de Colombia 2015 – 2040,» *Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca – AUNAP-*, vol. 1, n° ISBN 978-958-58993-7-7, pp. 51-76, 2015.
- [47] F. A. Gonzalez Sanchez y C. C. F. José, «Repositorio Universidad Santo Tomás Bucaramanga,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.dropbox.com/home/BELLEZA?preview=RDC+96.BELLEZA271119.docx>. [Último acceso: 01 Diciembre 2019].
- [48] Libelium, «Libelium,» Libelium world, 21 Febrero 2018. [En línea]. Available: <http://www.libelium.com/controlling-fish-farms-water-quality-with-smart-sensors-in-iran/>. [Último acceso: 10 Diciembre 2019].
- [49] Envira IOT, «Envira IOT,» Nanoenvi Water, [En línea]. Available: <https://enviraiot.es/nanoenvi-water/>. [Último acceso: 10 Diciembre 2019].
- [50] Siot Ingenier+ia, «Siot Ingeniería,» 10 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://www.siot-ingenieria.com.co/>. [Último acceso: 09 Diciembre 2019].
- [51] Bismark, «Bismark,» 15 Abril 2017. [En línea]. Available: <http://www.bismark.net.co/iot>.

[Último acceso: 11 Diciembre 2019].

- [52] C. Contreras, J. Molina y D. Zambrano, «Construcción de un sistema de adquisición y transmisión remota de la calidad del agua basado en el internet de las cosas (IoT) para la acuicultura,» *Researchgate*, p. 10.18687/LACCEI2018.1.1.367, 2018.
- [53] S. Manoharan, G. Sathiyaraj, K. Thiruvekadarishnan y G. V. Vetriselvan, «Water quality analyzer using IoT,» *International journal of innovative technology and exploring engineering (IJITEE)*, vol. 8, n° Issue-8S, pp. ISSN:2278-3075, 2019.
- [54] Unión Internacional de Telecomunicaciones, «Serie Y: infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo internet y redes de la próxima generación,» UIT Y.2060, <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>, 2012.

- M. A. Rodriguez Peña, «Vanguardia Liberal,» Solo 47% de leche que se produce en el país, es acopiada por industria, 2019. [En línea]. Available: <http://www.mendeley.com/documents/?uuid=8d5ad758-cb2f-3d02-83fe-49896be090cc>.
[Último acceso: 10 Junio 2019].