



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN -TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA



**Uso de una red de sensores para el monitoreo en tiempo real de la calidad del
agua en los estanques de alevinos de tilapia de la estación pesquera**

Ahuashiyacu - Tarapoto

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Sistemas e Informática

AUTOR:

Roman Saavedra Torres

ASESOR:

Ing. M. Sc. Pedro Antonio Gonzales Sánchez

CO – ASESOR:

Ing. Carlos Armando Ríos López

Tarapoto – Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN -TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA



Uso de una red de sensores para el monitoreo en tiempo real de la calidad del agua en los estanques de alevinos de tilapia de la estación pesquera

Ahuashiyacu – Tarapoto

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Sistemas e Informática

AUTOR:

Roman Saavedra Torres

Sustentado y aprobado el 20 de diciembre del año 2018, ante el honorable jurado:

.....
Ing. Buenaventura Ríos Ríos
Presidente

.....
Ing. M.Sc. Andy Hirvyn Rucoba Reátegui
Secretario

.....
Ing. M.Sc. José Enrique Celis Escudero
Vocal

Declaratoria de autenticidad

Yo, **Roman Saavedra Torres** identificado con DNI N° 75712752, egresado de la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática, Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas e Informática, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada **“USO DE UNA RED DE SENSORES PARA EL MONITOREO EN TIEMPO REAL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LOS ESTANQUES DE ALEVINOS DE TILAPIA DE LA ESTACIÓN PESQUERA AHUASHIYACU – TARAPOTO”**.

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiada; es decir, no ha sido plagiada, ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, de mostrar indicios de plagio(al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación(al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 05 de abril del 2019



.....
Roman Saavedra Torres
DNI N° 75712752



Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Saavedra Torres Roman		
Código de alumno :	117123	Teléfono:	980152791
Correo electrónico :	roman.leo16@gmail.com	DNI:	75712752

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ingeniería de Sistemas e Informática
Escuela Profesional de:	Ingeniería de Sistemas e Informática

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de investigación	<input type="checkbox"/>
Trabajo de suficiencia profesional	<input type="checkbox"/>		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título:	Uso de una red de sensores para el monitoreo en tiempo real de la calidad del agua en los estanques de alevinos de tilapia de la Estación Pesquera Ahuashiyacu - Tarapoto
Año de publicación:	

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	<input checked="" type="checkbox"/>	Embargo	<input type="checkbox"/>
Acceso restringido **	<input type="checkbox"/>		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **“Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA”**.



.....
Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

06 / 05 / 2019



.....
Firma del Responsable de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

* **Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

A Dios, por darme la vida y darme la oportunidad de crecer en un entorno adecuado, por permitirme conocer muchas personas que me ayudaron en el camino.

A mis amados padres, Zonia Torres Paredes y Luis Alberto Saavedra Bravo, por ser mis mejores amigos y apoyo incondicional durante todo el transcurso de mi educación y mi vida, mi mayor ejemplo de fortaleza y dedicación.

A mis amigos que me apoyaron durante mi formación profesional y que, hasta ahora, seguimos compartiendo lazos de amistad.

A los docentes de la FISI –UNSM por su tiempo dedicado a impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional.

Agradecimiento

A Dios, por darme la vida y permitirme seguir el camino correcto, por darme las fuerzas necesarias para continuar luchando y salir adelante.

A mis padres que son el pilar principal de mi formación y ejemplo a seguir, por brindarme su apoyo incondicional día a día y por apoyarme siempre en mis decisiones.

Agradezco al Ing. Pedro Antonio Gonzales Sánchez y al Ing. Carlos Ríos López por asesorarme en el desarrollo de este proyecto de tesis y por su apoyo incondicional durante la elaboración del mismo.

Al biólogo Gilmer Montejo Sánchez por brindarme las facilidades de desarrollar la investigación en las instalaciones de la Estación Pesquera Ahuashiyacu.

Índice

Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento.....	vii
Índice.....	viii
Índice de tablas	x
Índice de figuras.....	xi
Lista de siglas, abreviaturas y símbolos	xiii
Resumen	xiv
Abstract	xv
Introducción.....	xvi
CAPÍTULO I.....	2
EL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes del problema.....	2
1.2. Definición del problema.....	3
1.3. Formulación del problema.....	5
1.4. Justificación e importancia	5
1.5. Alcance y limitaciones	6
CAPÍTULO II.....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.2. Definición de términos	9
2.2.1. Arduino	9
2.2.2. Piscicultura	10
2.2.3. Piscicultura intensiva	10
2.2.4. Piscicultura extensiva.....	11
2.2.5. Piscicultura semi-intensiva.....	11
2.2.6. Estanques.....	11
2.2.7. Alevinos.	12
2.2.8. Sensor de temperatura.....	12
2.2.9. Sensor de pH.....	12
2.2.10. Sensor de oxígeno disuelto.....	12
2.3. Bases Teóricas	13
2.3.1. Monitoreo.....	13
2.3.2. Redes de sensores	21
2.4. Hipótesis.....	32
2.4.1. Hipótesis alterna	32

2.4.2.	Hipótesis nula	32
2.5.	Sistema de variables.....	32
2.5.1.	Variable dependiente	32
2.5.2.	Variable Independiente	32
2.6.	Escala de medición	33
2.7.	Objetivos	33
2.7.1.	Objetivo General.....	33
2.7.2.	Objetivos Específicos.....	33
CAPÍTULO III.....		34
MATERIALES Y MÉTODOS.....		34
3.1.	Universo y muestra	34
3.1.1.	Universo	34
3.1.2.	Muestra.....	34
3.2.	Ámbito geográfico	34
3.3.	Diseño de la Investigación	34
3.4.	Procedimientos y Técnicas	35
3.4.1.	Procedimientos	35
3.4.2.	Técnicas.....	36
3.5.	Instrumentos	36
3.5.1.	Instrumentos de recolección de datos	36
3.5.2.	Instrumentos de procesamiento de datos.....	37
3.6.	Sobre el desarrollo del sistema de la red de sensores	38
3.7.	Sobre la implementación de la red de sensores	55
3.8.	Prueba de hipótesis	69
CAPÍTULO IV		73
RESULTADOS		73
CAPITULO V.....		75
DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....		75
CONCLUSIONES		86
RECOMENDACIONES		87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		88
ANEXOS.....		91

Índice de tablas

Tabla 1: Escala de medición de las variables	33
Tabla 2: Diseño cuasi-experimental.....	34
Tabla 3: Administración de especie	44
Tabla 4: Administración de estanque.....	45
Tabla 5: Reporte diario de mediciones	46
Tabla 6: Reporte semanal de mediciones.....	47
Tabla 7: Reporte mensual de mediciones.....	47
Tabla 8: Descripción de las tablas de la base de datos.....	53
Tabla 9: Detalle de la tabla especie	53
Tabla 10: Detalle de la tabla estanque	54
Tabla 11: Detalle de la tabla mediciones	54
Tabla 12: Características del arduino mega 2560.....	63
Tabla 13: Resumen de resultados de encuesta	70
Tabla 14: Tabla resumen del monitoreo de la calidad del agua	73
Tabla 15: Cuadro resumen de las alertas y valoración del grupo de control.....	75
Tabla 16: Cuadro resumen de las alertas y valoración del grupo experimental.....	75
Tabla 17: Porcentaje de las valoraciones del grupo de control	78
Tabla 18: Porcentaje de las valoraciones del grupo experimental.....	79
Tabla 19: Porcentaje de las valoraciones de la utilidad de los informes diarios	80
Tabla 20: Porcentaje de las valoraciones de la exactitud de las mediciones.....	80
Tabla 21: Porcentaje de las valoraciones de la calificación de la interfaz	81
Tabla 22: Porcentaje de las valoraciones del seguimiento durante el día	82
Tabla 23: Porcentaje de las valoraciones de la información actualizada.....	83

Índice de figuras

Figura 1: Ilustración del monitoreo de un programa	13
Figura 2: Red de sensores inalámbrica	22
Figura 3: Arquitectura de hardware genérica de un nodo en una red de sensores	24
Figura 4: Métodos de posicionamiento de los nodos.....	27
Figura 5: Nodos sensores desplegados en un área forestal	29
Figura 6: Pila de protocolos de las redes de sensores	30
Figura 7: Tipos de topologías: a) estrella, b) mesh, c) híbrida	31
Figura 8: Diagrama de casos de uso de negocio.....	38
Figura 9: Diagrama mon de gestión de mantenimiento	40
Figura 10: Diagrama mon de gestión de monitoreo	40
Figura 11: Diagrama mon de gestión de reportes.....	41
Figura 12: Diagrama del modelo de dominio.....	41
Figura 13: Diagrama dcur de gestión de mantenimiento	42
Figura 14: Diagrama dcur de gestión de monitoreo	42
Figura 15: Diagrama dcur de gestión de reportes.....	43
Figura 16: Diagrama de colaboración registrar y editar especie	48
Figura 17: Diagrama de colaboración registrar y editar estanque	49
Figura 18: Diagrama de secuencia registrar y editar especie	50
Figura 19: Diagrama de secuencia registrar y editar estanque	51
Figura 20: Diagrama de clases.....	52
Figura 21: Diagrama del modelo de base de datos	53
Figura 22: Sensor digital de temperatura ds18b20	56
Figura 23: Alimentación a través del pin de datos	57
Figura 24: Alimentación usando una fuente externa	57
Figura 25: Conexiones del ds18b20 con arduino	58
Figura 26: Módulo sensor ph.....	59
Figura 27: Esquema del módulo sensor de ph.....	60
Figura 28: Estructura interna y externa de la sonda de oxígeno disuelto	61
Figura 29: Diagrama de cableado del sensor de oxígeno disuelto.....	62
Figura 30: Comunicación entre el sensor - circuito ezo – arduino	62
Figura 31: Arduino mega 2560.....	63
Figura 32: Shield ethernet w5100.....	64

Figura 33: Esquema de montaje shield ethernet y arduino mega	65
Figura 34: Pines shield gprs/gsm a6	66
Figura 35: Cableado shield gprs/gsm a6 y arduino.....	66
Figura 36: Esquema del nodo sensor	67
Figura 37: Diseño general de la red de sensores inalámbricos.....	68
Figura 38: Diagrama de la red de área local inalámbrica.....	69
Figura 39: Región crítica.....	71
Figura 40: Monitoreo de la calidad del agua	73
Figura 41: Número de alertas generadas	76
Figura 42: Valoración semanal de la información de alertas	77
Figura 43: Valoración promedio de la información de alertas	77
Figura 44: Valoración de la información de alertas del grupo de control.....	78
Figura 45: Valoración de la información de alertas del grupo experimental	79
Figura 46: Valoración de la utilidad de los informes diarios	80
Figura 47: Valoración de la exactitud de las mediciones.....	81
Figura 48: Valoración de la calificación de la interfaz	82
Figura 49: Valoración del seguimiento durante el día	83
Figura 50: Valoración de la información actualizada	84
Figura 51: Influencia de la variable x sobre la variable y	84

Lista de siglas, abreviaturas y símbolos

pH	: Potencial de Hidrógeno
CITE	: Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica.
PUCP	: Pontificia Universidad Católica del Perú.
SEE	: Sección de Electricidad y Electrónica.
HTML	: Lenguaje de Marcado para Hipertexto.
LAN	: Red de área local.
GSM	: Servicio de Mensajería geográfica.
NTC	: Coeficiente Negativo de Temperatura.
PTC	: Coeficiente Positivo de Temperatura.
WSN	: Red de Sensores Inalámbricos.
FAO	: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura.

Resumen

El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la estación Pesquera Ahuashiyacu, la cual está ubicada en la carretera a Bello Horizonte kilómetro 2.3 – Banda de Shilcayo, provincia y departamento de San Martín.

La hipótesis y los objetivos de la investigación han sido formulados teniendo en cuenta la variable independiente Red de Sensores y también la variable dependiente Monitoreo de la calidad del agua.

El objetivo principal de este estudio es mejorar el monitoreo de la calidad del agua en los estanques de alevinos de tilapia en la Estación Pesquera Ahuashiyacu y tiene como objetivos específicos implementar un sistema de monitoreo usando una red de sensores y también evaluar la influencia del sistema de monitoreo usando una red de sensores en el control de la calidad del agua en los estanques de alevinos de tilapia en la Estación Pesquera Ahuashiyacu.

Se formuló dos hipótesis: la hipótesis alterna sustenta que Con el uso de una red de sensores se mejorará el monitoreo de la calidad del agua en los estanques de alevinos de tilapia en la Estación Pesquera Ahuashiyacu, y en contraparte la hipótesis nula sustenta que no habrá mejora alguna con la implementación de la red de sensores.

La investigación tiene un diseño Cuasi-experimental, se tomaron como muestra 2 estanques de alevinos de tilapia, un estanque para el grupo experimental y un estanque para el grupo de control. La red de sensores sólo se implementó en el grupo experimental, y al final del estudio se realizó una prueba para contrastar la diferencia que había entre el grupo experimental y el de control.

Al realizar la comprobación de la hipótesis, los resultados indicaron que el uso de la red de sensores si mejora el monitoreo de los parámetros de calidad del agua en los estanques de alevinos de tilapia.

Palabras clave: Sensores inalámbricos, monitoreo, calidad del agua, parámetros, alevinos de tilapia.

Abstract

The following research work was carried out in the facilities of the Ahuashiyacu Fishing Station, which is located on the road to Bello Horizonte kilometer 2.3 Banda de Shilcayo, province and department of San Martin.

The hypothesis and the objectives of the research have been formulated taking into account the independent variable Network of Sensors and also the dependent variable Monitoring of water quality.

The aim of this research is to improve the monitoring of water quality in tilapia fish ponds in the Ahuashiyacu Fishing Station and has as specific objectives to implement a monitoring system using a network of sensors and also to evaluate the influence of the monitoring system using a sensor network in the control of water quality in tilapia fish ponds.

Two hypotheses were formulated: the alternative hypothesis supports that the use of a sensor network will improve the monitoring of water quality in the tilapia fish ponds in the Ahuashiyacu Fishing Station on the other hand the null hypothesis supports that there will be no improvement with the implementation of the sensor network.

The research has a quasi-experimental design, two ponds of tilapia fish were taken as sample, one pond for the experimental group and the other for the control group. The sensor network was implemented in the experimental group only, and at the end of the study a test was carried out to contrast the difference between the experimental group and the control group.

Keywords: Wireless sensor network, water quality monitoring, parameters, tilapia fry.



Introducción

El presente proyecto de investigación tiene como título “Uso de una Red de Sensores para el Monitoreo en Tiempo Real de la Calidad del Agua en los Estanques de Alevinos de Tilapia de la Estación Pesquera Ahuashiyacu - Tarapoto” y es presentado por el bachiller Roman Saavedra Torres, egresado de la Universidad Nacional de San Martín, con el objetivo de obtener el Grado de Ingeniero de Sistemas, consta de 5 capítulos, el primero referido al Problema, el segundo al Marco Teórico Conceptual, el tercero a los Materiales y Métodos, el cuarto a los Resultados, el quinto a la Discusión de resultados, las Conclusiones y Recomendaciones de la investigación y además contiene 13 anexos que complementan el proyecto de investigación.

El propósito de este proyecto es de mejorar el monitoreo de la calidad del agua en los estanques de alevinos de tilapia en la Estación Pesquera Ahuashiyacu, el mencionado proyecto se desarrolló desde el mes de julio hasta diciembre del año 2017.

La investigación es de tipo Aplicada, y se trabajó con un grupo denominado experimental y un grupo de control, pudiendo de esta manera comparar los resultados obtenidos por el sistema. El autor, al ejecutar el presente proyecto, contribuyó con los objetivos nacionales, regionales y locales, en acuicultura.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Antecedentes del problema

En los últimos años la acuicultura se ha convertido en una de las principales actividades productivas en muchos países de Europa, Asia y América debido a que proporcionan una gran fuente de alimentación y trabajo para la sociedad en general. Según datos de la FAO, el año 2009 la acuicultura proporcionaba el 81% del marisco, el 76% del pescado de agua dulce, el 69% del salmón y el 42% del camarón que se consume en el mundo, generando empleo para 9 millones de personas, convirtiendo de esta manera a la acuicultura como el sector alimentario con mayor crecimiento en el mundo: un 7% por año.

Todo esto ha ocasionado que grandes compañías acuícolas se preocupen por el desarrollo de nuevas herramientas computarizadas que permitan tener un mejor control y monitoreo de todo el proceso de crianza de peces, ahora los grandes criaderos de peces del mundo cuentan con la más alta tecnología para cumplir de manera eficiente con esta labor.

Las tecnologías empleadas en estos sofisticados centros acuícolas van desde equipamiento para la reproducción artificial de especies, sistemas de control alimenticio por etapas y especies, grandes equipos para la cosecha y procesamiento de peces, hasta complejos sistemas de monitoreo de la calidad del agua de los estanques, siendo este último uno de los más importantes al desempeñar un papel vital en el desarrollo y bienestar de las especies acuáticas.

Según artículo publicado por el Diario El Comercio, El Perú no ha sido ajeno al crecimiento de la actividad acuícola, por eso en el 2016 el entonces Viceministro de Pesca y Acuicultura señor Juan Carlos Requejo Alemán afirmó que la acuicultura en el Perú se ha incrementado el 20% en los últimos años y se ha convertido en una importante industria que busca satisfacer la creciente demanda de alimentos con alto valor nutritivo, convirtiéndose a su vez en una actividad muy rentable, generadora de empleo e ingresos económicos. (Diario El Comercio, 2016)

En la región San Martín contamos con un centro acuícola denominado Estación Pesquera Ahuashiyacu, el cual tiene como principal actividad la reproducción y venta de alevinos de tilapia y de especies nativas de la Amazonía peruana tales como Paco, Gamitana y Paiche. Además, se desarrollan actividades menores como la crianza de reproductores de las especies antes mencionadas y venta de tilapias a menor escala.

Uno de los principales aspectos a considerar dentro de la acuicultura es la calidad del agua, debido a que es el medio donde las diferentes especies subsisten y a su vez juega un papel muy importante en el éxito de las operaciones acuícolas, cada parámetro de la calidad del agua puede influenciar directamente en el bienestar de los peces. Por ejemplo, la exposición a niveles no apropiados de oxígeno, temperatura, pH, amonio no ionizado puede llegar a producir pérdida de apetito, crecimiento lento, susceptibilidad a las enfermedades y parásitos, y un incremento de la mortalidad de los peces.

A raíz de lo anteriormente expuesto estamos conscientes de la importancia que tiene la calidad del agua dentro del proceso acuícola y por ende debe ser una de las prioridades en los CITEs acuícolas, en este caso, la Estación Pesquera Ahuashiyacu debería contar con herramientas que le permitan diagnosticar y conocer la calidad del agua de sus estanques de crianza, porque de esto dependerá el éxito en la crianza de especies acuáticas. En la actualidad, nuestro centro pesquero no cuenta con herramientas automatizadas que proporcionen dicha información y sólo cuenta con una herramienta que le permite medir el pH y la temperatura de forma manual, lo que imposibilita el eficiente diagnóstico y accionar frente a situaciones adversas.

El presente Proyecto de Tesis busca desarrollar una herramienta que proveerá de información relevante sobre los parámetros principales a considerar dentro de la calidad del agua, con el objetivo de agilizar y facilitar el proceso de toma de acciones correctivas y preventivas.

1.2. Definición del problema

La estación pesquera Ahuashiyacu es un centro acuícola situado en la carretera Bello Horizonte Km. 2.3, Banda de Shilcayo, que empezó a funcionar en 1983 con la finalidad de producir semillas de peces nativos de la amazonia peruana, además la Estación Pesquera Ahuashiyacu Tarapoto es la primera estación más grande en todo el Perú. El centro de Producción e Innovación Tecnológica en Pesca y Acuicultura Estación Pesquera Ahuashiyacu, trabaja para promover la actividad acuícola con especies de Tilapia, Gamitana, Paco y Paiche, en este sentido su actividad principal es la venta de alevinos y cuenta con la producción de semillas de Tilapia durante todo el año y también con alevinos de otras especies como Paco y Gamitana, pero en temporadas que van desde octubre hasta abril de cada año.

Actualmente la Estación Pesquera Ahuashiyacu está bajo la dirección del biólogo Gilmer

Montejo Sánchez y éste cuenta con el apoyo de 5 trabajadores acuícolas encargados de la alimentación, mantenimiento de los estanques y la venta de alevinos de Tilapia, Paco y Gamitana.

La reproducción de alevinos de Tilapia se realiza en estanques de 200 m², colocando 50 reproductoras hembras y 10 reproductores machos y al cabo de dos semanas se procede a retirar los alevinos para ser transferidos a otros estanques de 40 m² a un proceso llamado reversión, en donde estarán por intervalo de 4 semanas para luego ser destinados a la venta.

Esta etapa es fundamental para la supervivencia y el desarrollo de los alevinos, pero sin embargo actualmente no se le está dando la debida importancia y/o monitoreo, ocasionando que se produzca una tasa de mortalidad del 20 % aproximadamente según lo estimado por el biólogo encargado. La calidad del agua dentro del proceso de reversión es uno de los aspectos más importantes a considerar juntamente con la alimentación ya que estos determinarán el futuro de los de las especies acuícolas. El actual proceso de medición de la calidad del agua consiste en ir introduciendo algunos aparatos como pHmetro y sensor de Oxígeno Disuelto en cada estanque para luego ser registrados en un cuaderno de apuntes, esto es útil solo para obtener información de los parámetros de la calidad del agua en un determinado momento, mas no para tener un amplio informe sobre la situación actual y/o la variación que tienen estos indicadores a lo largo del tiempo.

Este proceso se realiza escasamente 1 vez por semana en el mejor de los casos, debido que no se cuenta con el personal calificado y suficiente para realizar esta labor y además cabe resaltar que no se dispone de la cantidad necesaria de herramientas y/o sensores para realizar la medición de los parámetros del agua debido al elevado precio de éstos.

La calidad del agua es uno de los principales aspectos que se debe tener en cuenta en el campo de la acuicultura, pero sin embargo la Estación Pesquera Ahuashiyacu no cuenta con las herramientas adecuadas para realizar la medición y el diagnóstico de los múltiples factores que afectan la calidad del agua, todo esto conlleva a un inadecuado manejo del proceso de reversión de los alevinos y por ende las especies se ven afectadas en su crecimiento y estado de salud.

Por todo lo explicado anteriormente se concluye que el problema es el deficiente monitoreo de la calidad del agua en los estanques de tilapia de la Estación Pesquera Ahuashiyacu.

1.3. Formulación del problema

¿Cómo mejorar el monitoreo de la calidad del agua en los estanques de alevinos de tilapia en la Estación Pesquera Ahuashiyacu?

1.4. Justificación e importancia

El control de la calidad del agua es un aspecto muy importante a considerar dentro de la acuicultura y aún más en la primera etapa de desarrollo de los peces, pero a su vez es uno de los menos abordados dentro de la Estación Pesquera Ahuashiyacu. En la actualidad el recojo y procesamiento de datos se realiza de forma manual e involucra la participación de recursos materiales y humanos. La interpretación de los resultados obtenidos sobre la calidad del agua le permite determinar al personal encargado si es que la especie en producción se está desarrollando en un ambiente apropiado y en caso contrario ejecutar acciones pertinentes para que su trabajo sea exitoso.

Tener dicha información a la mano a través del uso de herramientas tecnológicas optimiza el tiempo que conlleva visitar cada estanque durante el día y por consiguiente muy útil para la toma de decisiones e incluso previsiones basadas en las estadísticas obtenidas.

Los centros acuícolas modernos están equipados con alta tecnología para realizar diversas tareas de manera automatizada, por ejemplo, en alimentación cuentan con máquinas expendedoras de alimento automáticas; en cuanto a la salud cuentan con laboratorios para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades; también utilizan software que les ayuda en el control de los gastos dentro del proceso productivo, etc. Con el desarrollo del proyecto se busca posicionar a la Estación Pesquera Ahuashiyacu al nivel de grandes centros acuícolas en cuanto al monitoreo de la calidad del agua se refiere, ya que pretende proporcionar información acerca de la variación de los parámetros de la calidad del agua para que los encargados del centro pesquero puedan ser capaces de tomar decisiones basadas en dicha información, esto a su vez será de mucha ayuda dentro del proceso de crianza de las especies acuáticas proporcionando un mayor rendimiento en el proceso productivo de alevinos de Tilapia en la Estación Pesquera Ahuashiyacu.

1.5. Alcance y limitaciones

Una de las limitaciones del proyecto es que la efectividad de las medidas correctivas a realizar al encontrarse un nivel inapropiado de la calidad del agua, depende directamente del actuar de los responsables de la Estación Pesquera Ahuashiyacu, debido a que el sistema se limita a ser un proveedor de información.

La escasa infraestructura tecnológica que brinda la Estación Pesquera también constituye una limitación para el proyecto ya que éste necesita algunos recursos mínimos para poder funcionar adecuadamente.

Algunos de los sensores a utilizarse en el proyecto no están disponibles en el Perú, lo que genera un inconveniente al momento de realizar la compra y demora en la entrega de los mismos.

Limitada información y documentación sobre algunos de los sensores que se utilizaran en proyecto, generando cierta incertidumbre en la fabricación del prototipo y el ensamble de los sensores con la placa de Arduino.

El limitado presupuesto destinado para el desarrollo del proyecto constituye otra limitante, provocando que sólo se pueda construir un prototipo de red de sensores destinado para un solo estanque de reversión de alevinos de tilapia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Dulanto, L (2010) en su proyecto de investigación “*Diseño de un sistema de monitoreo remoto de parámetros ambientales críticos de la planta piloto de acuicultura de la PUCP*”, tuvo como objetivo principal “Diseñar un sistema de monitoreo remoto de parámetros ambientales críticos para la planta piloto de acuicultura de la PUCP” y llegó a las siguientes conclusiones:

Se ha diseñado e implementado exitosamente los circuitos para acondicionar las señales de temperatura, pH y nivel usando sensores y transductores comerciales. Las pruebas mostraron exactitud y precisión aceptable.

El módulo de procesamiento y transmisión de datos MOD5282 ha posibilitado el diseño de un sistema que monitorea de manera remota los parámetros críticos que influyen en la crianza de peces en la Planta instalada en la SEE de la PUCP. Este sistema adquiere, procesa las señales y luego las transmite hacia una red de trabajo de área local (LAN), para su visualización desde cualquier punto de esta red en formato HTML.

Se ha implementado el sistema en su totalidad, permitiendo al usuario monitorear de manera remota, dentro de una LAN, los parámetros de la Planta Piloto de acuicultura.

Para el desarrollo de este trabajo de tesis se realizó una investigación bibliográfica sobre los diversos sistemas integrados y tecnologías aplicadas para el monitoreo de variables de una planta. Así como también, estudiar las diversas técnicas para la adquisición y acondicionamiento de señales físicas hacia una interfaz digital.

Para los módulos de adquisición y acondicionamiento se realizó lectura sobre el diseño de filtros, configuración de amplificadores operacionales, características de diversos transductores y calibración de sensores. Posteriormente se realizó las simulaciones de estos módulos, en programas y simulación como B2spice.

Luego se seleccionó el módulo de procesamiento y conexión a la red, y su programación. Finalmente se realizó la prueba del funcionamiento del sistema.

2.1.2. Alonso, S y Volpe, M (2013) en su proyecto de investigación denominado “*Sembrando peces*” realizaron las siguientes conclusiones:

Con el tratamiento del agua implementado, se logró reducir el desperdicio en 30 veces. Luego de 3 meses de funcionamiento, se pueden observar todos los valores almacenados en la base de datos y se comprueba que se garantiza el control eficiente de la temperatura.

Cambios de temperatura de 2 grados o más en algunas horas, pueden producir dicho estrés y volver a los ejemplares más propensos a contraer enfermedades. Se observó que la oxigenación del agua tiene una gran influencia en la temperatura de la misma. Al oxigenar el agua, observamos que la temperatura baja, y consecuentemente aumenta el consumo energético del termotanque.

Con este modelo, constatamos que no hubo problemas de salud en los animales, ganaron peso de acuerdo a lo previsto (esto fue verificado por personal del Ministerio Nacional de Agricultura).

La metodología usada en el proyecto fue la siguiente: Durante el período de investigación se realizaron diversas consultas a la Licenciada Marcela Álvarez para recibir orientación en los aspectos biológicos, la elección de la especie, etc. Para resolver los problemas presentes en las instalaciones de acuicultura, se decidió implementar una solución consistente en automatizar la planta, realizar las mediciones pertinentes utilizando un microcontrolador, y relevar todos los datos vía USB con una computadora. A la vez, se desarrolló un software para dicha computadora, que recibe los datos de la estación, los almacena en una base de datos, la gráfica en tiempo real y los sincroniza con un sistema de monitoreo que a través de Internet y telefonía móvil que le permite al productor conocer siempre lo que sucede en su instalación, evitando riesgos.

También se desarrolló un sistema de reportes vía e-mail, donde se detalla lo que sucede en la instalación y se adjuntan los gráficos de las últimas 24 horas.

2.1.3. Rivera, D y Yopez, E (2015) en su proyecto de investigación “*Diseño e implementación de un prototipo para la medición de calidad del agua y control de la oxigenación en forma remota orientada a la producción acuícola*”, que tuvo como principal objetivo “Optimizar el proceso de la obtención de datos de los parámetros de calidad del agua de estanques durante el monitoreo del cultivo de peces en fase de producción mediante el desarrollo de un sistema automatizado de monitoreo”, concluyen lo siguiente:

Con el desarrollo de la presente investigación, se corrobora la veracidad de la hipótesis planteada, la cual indica que es factible diseñar un prototipo capaz de registrar mediciones de los parámetros de la calidad del agua en un estanque criadero de peces de forma automática y en tiempo real, con el fin de aplicarlo en la piscicultura y a su vez controlar el oxígeno a través de la aireación del agua.

En base a la investigación realizada y a la información obtenida de artículos, libros, consulta a profesionales, se determinó que los principales parámetros que permiten una buena condición del ambiente de producción de una especie acuática son: Oxígeno Disuelto, Temperatura y potencial de Hidrógeno los mismos que fueron los principales actores del desarrollo del prototipo (hardware y software).

Se diseñó un aplicativo web que facilita el acceso a la información de las mediciones obtenidas desde un módulo electrónico que conecta los sensores que reposan en el estanque y que obtienen los parámetros de la calidad del agua. Así como también se diseñó un Módulo electrónico que es capaz de interconectar sensores y componentes Arduino que facilitan la obtención de las mediciones de los parámetros de la calidad del agua las mismas que se envían vía GSM a una base de datos para su posterior manipulación. Los valores almacenados son consultados por rangos de fecha en un archivo en Excel y en gráficos.

Con los anteriores puntos se logró automatizar la recolección de la información que actualmente se toma de manera manual, con la diferencia de que se obtiene mayor cantidad de mediciones permitiendo una mayor capacidad de análisis del comportamiento de los parámetros de la calidad del agua, así como permitir la disponibilidad de la información en cualquier momento y lugar.

Para el desarrollo del presente prototipo se aplicaron dos métodos de investigación: El método experimental (aplicado) realizando pruebas de funcionamiento del sistema (hardware-software) y el método de campo.

- Método Experimental
- Método de Campo

2.2. Definición de términos

2.2.1. Arduino

Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada/salida. Los microcontroladores más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, ATmega8 por su sencillez y bajo coste que permiten el desarrollo de múltiples diseños. Por otro lado, el software consiste en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing/Wiring y el cargador de arranque (boot loader) que corre en la placa.

Al ser open-hardware, tanto su diseño como su distribución son libres. Es decir, puede utilizarse libremente para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto sin haber adquirido ninguna licencia. La plataforma Arduino se programa mediante el uso de un lenguaje propio basado en el popular lenguaje de programación de alto nivel Processing.

Es un lenguaje de programación y entorno de desarrollo integrado de código abierto basado en Java, de fácil utilización, y que sirve como medio para la enseñanza y producción de proyectos multimedia e interactivos de diseño digital. También es desarrollado por artistas y diseñadores como una herramienta alternativa al software propietario.

2.2.2. Piscicultura

La piscicultura tiene por objeto el cultivo racional de los peces, lo que comprende particularmente el control de su crecimiento y su reproducción. Se practica en estanques naturales o artificiales, vigila y regula la multiplicación, alimentación y el crecimiento de los peces, así como la puesta en funcionamiento y mantenimiento de estos recintos acuáticos, en lugar de dejar a la naturaleza encargarse de estas cuestiones.

2.2.3. Piscicultura intensiva

Consiste en lograr la producción a un control lo más completo posible, se efectúa básicamente con fines comerciales y para esto se necesitan estanques técnicamente contruidos con entrada y salida de agua. Las cosechas y las siembras se llevan a cabo periódicamente, obedeciendo a una programación de la producción. En este tipo de piscicultura se realiza un control permanente de la calidad de agua y se practican abonamientos frecuentes con estiércol de animales o fertilizantes químicos. Se suministra alimento concentrado con niveles mayores de proteína en forma permanente y se programa la densidad de siembra la cual varía de acuerdo a la especie y el grado de

explotación. Se aplica una mayor tecnología cuya base está dada por los recambios continuos de agua y/o la aireación.

2.2.4. Piscicultura extensiva

Es considerada como la contraparte de la intensiva, en ella el control que se ejerce sobre el cultivo es reducido. Por lo general se efectúa en embalses o reservorios bien sea naturales o artificiales, dejando que los peces subsistan de la oferta de alimento natural que allí se produzca. En este sistema de cultivo no se proporciona ninguna clase de alimento suplementario y el aprovechamiento se efectúa a partir del momento en que se detectan animales de talla comercial. Las densidades a las cuales se siembran los organismos son bajas y la intervención del hombre se limita simplemente a la siembra y al aprovechamiento de estos organismos.

2.2.5. Piscicultura semi-intensiva

Se practica en forma similar a la extensiva, pero en este caso ya existen por lo general estanques o reservorios contruidos por el hombre y las técnicas de manejo se limitan simplemente a la siembra de los peces, abonamiento y preparación del estanque en forma incipiente y esporádica. En ocasiones, si se suministra algún tipo de alimento, estará compuesto principalmente por desechos domésticos y residuos agrícolas. Cuando se suministra alimento concentrado, es de bajo contenido de proteína.

2.2.6. Estanques

Es una de las estructuras que componen una finca acuícola, la cual es diseñada y construida bajo especificaciones que permiten el cultivo eficiente de organismos acuáticos. En la piscicultura los estanques de más aplicación son los estanques de presa, se construyen en el fondo de un valle colocando un dique a través de éste y quedando alimentado por una o varias fuentes de agua y los estanques de derivación están dispuestos sobre un lado del valle y se alimentan de agua por una derivación que parte de un arroyo o fuente principio de abastecimiento.

2.2.7. Alevinos

Plural de Alevín, estado larval de peces desde la eclosión hasta el final de la dependencia del vitelo como fuente de nutrición. A menudo este término está restringido a salmónidos y peces afines, antes que dejen el sustrato de incubación (grava de desove) de las ovas, para iniciar libremente la natación.

2.2.8. Sensor de temperatura

El termistor es un sensor de temperatura conformado por materiales semiconductores. Existen básicamente dos tipos: los de coeficiente negativo de temperatura (NTC) que son los más usados y los de coeficiente positivo de temperatura (PTC). La curva característica de un termistor individual se gobierna según de la ecuación de Steinhart-Hart mostrada en:

$$\frac{1}{T} = A + B(\ln R) + C(\ln R)^3$$

Donde:

T = Temperatura absoluta en °Kelvin.

R = Resistencia del Termistor en Kohm (KΩ).

A, B, C = Constantes de la curva de aproximación.

2.2.9. Sensor de pH

El sensor usado para la medición del potencial de hidrógeno o pH es el electrodo de vidrio, el cual está conformado por una membrana de ión selectivo, hecha de vidrio, permeable al hidrógeno. El proceso electroquímico generado en el interior del sensor permite generar una diferencia de potencial de acuerdo a la ecuación de Nernst y que se relaciona con el potencial de hidrogeno.

2.2.10. Sensor de oxígeno disuelto

El sensor usado para medir la concentración de oxígeno en el agua es el electrodo galvánico, el cual entrega una señal de corriente que es proporcional a la presión de oxígeno que esta disuelto en el agua. A su vez, esta presión puede ser expresada como porcentaje de saturación, que a nivel del mar se considera de 100%.

2.3. Bases Teóricas

A continuación, se exponen las bases teóricas del proyecto de investigación:

2.3.1. Monitoreo

Monitoreo es el proceso sistemático de recolectar, analizar y utilizar información para hacer seguimiento al progreso de un programa en pos de la consecución de sus objetivos, y para guiar las decisiones de gestión. El monitoreo generalmente se dirige a los procesos en lo que respecta a cómo, cuándo y dónde tienen lugar las actividades, quién las ejecuta y a cuántas personas o entidades beneficia.

El monitoreo se realiza una vez comenzado el programa y continúa durante todo el período de implementación. A veces se hace referencia al monitoreo como proceso, desempeño o evaluación formativa. (Endvawnow.org, s.f.)

Ilustración del monitoreo de un programa

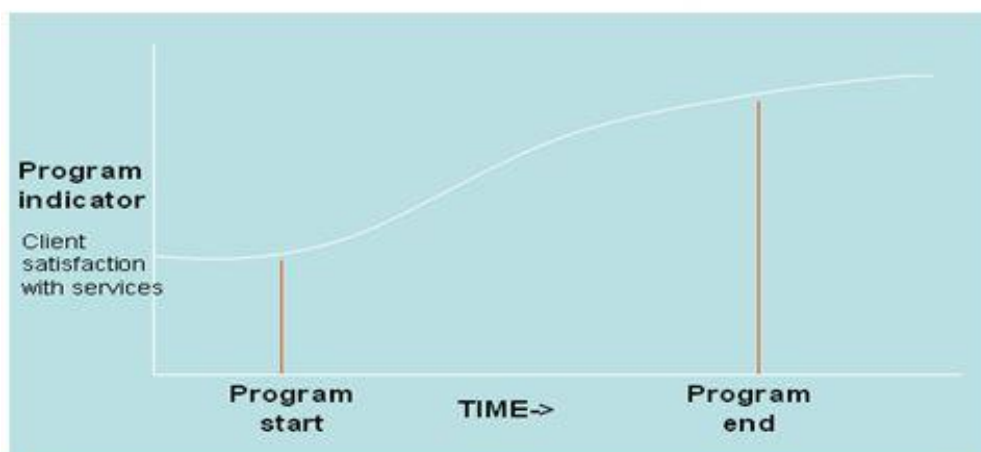


Figura 1: Ilustración del monitoreo de un programa (Fuente: <http://www.endvawnow.org>)

En la actualidad resulta casi imposible pensar al margen de la tecnología. La mayoría de las actividades tienen un componente técnico que unos años atrás era inexistente. Y la palabra que en esta entrada se analiza está muy relacionada con esta revolución tecnológica.

Monitoreo viene de la palabra monitor, es decir, una pantalla por la cual se pueden ver imágenes en tiempo real. Hay monitores para una gran variedad de sectores: en la medicina, en relación con la vigilancia, el comportamiento atmosférico, la prevención de incendios o la seguridad ciudadana. El monitoreo es la acción de supervisión y control de un monitor para valorar una situación.

Para efectuar un monitoreo eficaz tiene que haber una infraestructura que permita una correcta supervisión de aquello que se pretende observar. Pensemos en un casino. Hay una gran cantidad de jugadores, crupiers y otros trabajadores. Como hay en juego mucho dinero, existe la tentación de hacer trampas y para evitarlo hay que instalar un sistema de monitoreo. Si hay algún problema, la pantalla del monitor es analizada con detenimiento para saber con exactitud cuál es el origen de dicho problema.

A pesar de que el monitoreo se refiere al hecho de vigilar algo, también tiene otro sentido, que no se relaciona con ninguna pantalla. Es el caso de una entidad, preferentemente pública, que se ocupa de estudiar y analizar una situación que tiene un interés social. Estas entidades son los observatorios y los hay de distinta naturaleza: de la infancia, de las tendencias electorales, de la violencia hacia las mujeres o de los problemas medioambientales. Estos observatorios recogen datos de una realidad, la estudian a fondo y realizan estadísticas. En consecuencia, un observatorio se ocupa de monitorizar un aspecto que tiene una proyección social. En este sentido, monitorizar se emplea de manera figurada, ya que no hay ningún monitor o pantalla.

Los dos significados de monitoreo (como instrumento para vigilar y como plataforma de análisis) tiene un componente muy positivo y, como suele suceder, algún riesgo. Lo positivo es evidente: tener información para solucionar un problema o intentar reducirlo. Lo negativo también es evidente: un exceso de control e información puede ser un peligro para la privacidad y la libertad individual. (DefinicionMX, s.f.)

2.3.1.1. Sensores

Un sensor es un dispositivo eléctrico y/o mecánico que convierte magnitudes físicas (luz, magnetismo, presión, etc.) en valores medibles de dicha magnitud. Esto se realiza en tres fases:

- Un fenómeno físico a ser medido es captado por un sensor, y muestra en su salida una señal eléctrica dependiente del valor de la variable física.
- La señal eléctrica es modificada por un sistema de acondicionamiento de señal, cuya salida es un voltaje.
- El sensor dispone de una circuitería que transforma y/o amplifica la tensión de salida, la cual pasa a un conversor A/D, conectado a un PC. El convertidor A/D transforma la señal de tensión continua en una señal discreta.

Descriptores estáticos de un sensor:

Los descriptores estáticos definen el comportamiento en régimen permanente del sensor:

Rango: valores máximos y mínimos para las variables de entrada y salida de un sensor.

Exactitud: la desviación de la lectura de un sistema de medida respecto a una entrada conocida. El mayor error esperado entre las señales medida e ideal.

Repetitividad: la capacidad de reproducir una lectura con una precisión dada.

Reproducibilidad: tiene el mismo sentido que la repetitividad excepto que se utiliza cuando se toman medidas distintas bajo condiciones diferentes.

Resolución: la cantidad de medida más pequeña que se pueda detectar.

Error: es la diferencia entre el valor medido y el valor real.

No linealidades: la desviación de la medida de su valor real, supuesto que la respuesta del sensor es lineal. No-linealidades típicas: saturación, zona muerta e histéresis.

Sensibilidad: es la razón de cambio de la salida frente a cambios en la entrada:

$$s = \partial V / \partial x.$$

Excitación: es la cantidad de corriente o voltaje requerida para el funcionamiento del sensor.

Estabilidad: es una medida de la posibilidad de un sensor de mostrar la misma salida en un rango en que la entrada permanece constante.

Descriptores dinámicos de un sensor:

Tiempo de retardo: t_d , es el tiempo que tarda la salida del sensor en alcanzar el 50% de su valor final.

Tiempo de subida: t_r , es el tiempo que tarda la salida del sensor hasta alcanzar su valor final. => velocidad del sensor, es decir, lo rápido que responde ante una entrada.

Tiempo de pico: t_p , es el tiempo que tarda la salida del sensor en alcanzar el pico máximo de su sobreoscilación

Pico de sobreoscilación: M_p , expresa cuanto se eleva la evolución temporal de la salida del sensor respecto de su valor final.

Tiempo de establecimiento: t_s , el tiempo que tarda la salida del sensor en entrar en la banda del 5% alrededor del valor final y ya no vuelve a salir de ella. (Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, s.f.)

Tipos de sensores:

Detectores de ultrasonidos. Los detectores de ultrasonidos resuelven los problemas de detección de objetos de prácticamente cualquier material. Trabajan en ambientes secos y polvorientos. Normalmente se usan para control de presencia/ausencia, distancia o rastreo.

Productos encapsulados. Diseños robustos, de altas prestaciones y resistentes al entorno o herméticamente sellados. Esta selección incluye finales de carrera miniatura, interruptores básicos estándar y miniatura, interruptores de palanca y pulsadores luminosos.

Productos para fibra óptica. El grupo de fibra óptica está especializado en el diseño, desarrollo y fabricación de componentes optoelectrónicos activos y submontajes para el mercado de la fibra óptica. Los productos para fibra óptica son compatibles con la mayoría de los conectores y cables de fibra óptica multimodo estándar disponibles actualmente en la industria.

Productos infrarrojos. La optoelectrónica es la integración de los principios ópticos y la electrónica de semiconductores. Los componentes optoelectrónicos son sensores fiables y económicos. Se incluyen diodos emisores de infrarrojos (IREDS), sensores y montajes.

Sensores de caudal de aire. Los sensores de caudal de aire contienen una estructura de película fina aislada térmicamente, que contiene elementos sensibles de temperatura y calor. La estructura de puente suministra una respuesta rápida al caudal de aire u otro gas que pase sobre el chip.

Sensores de corriente. Los sensores de corriente monitorizan corriente continua o alterna. Se incluyen sensores de corriente lineales ajustables, de balance nulo, digitales y lineales. Los sensores de corriente digitales pueden hacer sonar una alarma, arrancar un motor, abrir una válvula o desconectar una bomba. La señal lineal duplica la forma de la onda de la corriente captada, y puede ser utilizada como un elemento de respuesta para controlar un motor o regular la cantidad de trabajo que realiza una máquina.

Sensores de efecto Hall. Son semiconductores y por su costo no están muy difundidos, pero en codificadores ("encoders") de servomecanismos se emplean mucho.

Sensores de humedad. Los sensores de humedad relativa/temperatura y humedad relativa están configurados con circuitos integrados que proporcionan una señal acondicionada. Estos sensores contienen un elemento sensible capacitivo en base de

polímeros que interacciona con electrodos de platino. Están calibrados por láser y tienen una intercambiabilidad de +5% HR, con un rendimiento estable y baja desviación.

Sensores de posición de estado sólido. Los sensores de posición de estado sólido, detectores de proximidad de metales y de corriente, se consiguen disponibles en varios tamaños y terminaciones. Estos sensores combinan fiabilidad, velocidad, durabilidad y compatibilidad con diversos circuitos electrónicos para aportar soluciones a las necesidades de aplicación.

Sensores de presión y fuerza. Los sensores de presión son pequeños, fiables y de bajo costo. Ofrecen una excelente repetitividad y una alta precisión y fiabilidad bajo condiciones ambientales variables. Además, presentan unas características operativas constantes en todas las unidades y una intercambiabilidad sin recalibración.

Sensores de temperatura. Los sensores de temperatura se catalogan en dos series diferentes: TD y HEL/HRTS. Estos sensores consisten en una fina película de resistencia variable con la temperatura (RTD) y están calibrados por láser para una mayor precisión e intercambiabilidad. Las salidas lineales son estables y rápidas.

Sensores de turbidez. Los sensores de turbidez aportan una información rápida y práctica de la cantidad relativa de sólidos suspendidos en el agua u otros líquidos. La medición de la conductividad da una medición relativa de la concentración iónica de un líquido dado.

Sensores magnéticos. Los sensores magnéticos se basan en la tecnología magnetoresistiva SSEC. Ofrecen una alta sensibilidad. Entre las aplicaciones se incluyen brújulas, control remoto de vehículos, detección de vehículos, realidad virtual, sensores de posición, sistemas de seguridad e instrumentación médica.

Sensores de presión. Los sensores de presión están basados en tecnología piezoresistiva, combinada con microcontroladores que proporcionan una alta precisión, independiente de la temperatura, y capacidad de comunicación digital directa con la computadora. Las aplicaciones afines a estos productos incluyen instrumentos para aviación, laboratorios, controles de quemadores y calderas, comprobación de motores, tratamiento de aguas residuales y sistemas de frenado. (Profesormolina, s.f.)

2.3.1.2. Calidad del agua

La acuicultura se refiere al cultivo de organismos acuáticos, animales y vegetales, que cumplen su ciclo de vida total o parcialmente en el agua a través de diferentes sistemas

y técnicas. Dichos cultivos son generalmente destinados al consumo humano, esparcimiento, conservación y repoblamiento de ambientes naturales, en este último caso, para especies nativas. El cultivo de peces es una alternativa que los productores han incorporado a sus sistemas productivos, con el objeto de diversificar su producción. La calidad del agua es una condición general que permite que el agua se emplee para usos concretos. Esta calidad es determinada por la hidrología, la fisicoquímica y la biología de la masa de agua a que se refiera. Las características hidrológicas son importantes ya que indican el origen, cantidad del agua y el tiempo de permanencia. Estas condiciones tienen relevancia ya que, según los tipos de substratos por los que viaja el agua, ésta se cargará de materiales de dicho substrato.

La cantidad y la temperatura también son importantes a la hora de analizar las causas que concurren para que el agua presente una calidad u otra para un uso en concreto. En el cultivo de peces se menciona que el crecimiento de los mismos depende en gran parte de la calidad del agua; por lo que, para lograr una buena producción, es necesario mantener las condiciones físico-químicas del agua dentro de los límites de tolerancia para la especie a cultivar. En algunos estudios se reporta que la concentración de minerales influye principalmente en la calidad del agua y los peces se ven afectados a nivel de branquias reduciendo su capacidad respiratoria y metabólica, provocando lento crecimiento que se expresa en bajos rendimientos.

La presencia de sustancias químicas y biológicas disueltas e insolubles en el agua (que pueden ser de origen natural o antropogénico) define su composición física y química. El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria.

Para decidir si un agua califica para un propósito particular menciona que su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar. Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial. Las principales características fisicoquímicas y biológicas que definen la calidad del agua para el cultivo de peces, el origen de los constituyentes, su importancia en la salud, la relación con los principales procesos de tratamiento y los límites de concentración establecidos por las normas de calidad del agua, se tratan a continuación (Bautista Covarrubias & Velazco Arce, 2011).

Características físicas:

De acuerdo a la Organización Panamericana de la Salud y a la Organización Mundial de la Salud, se consideran importantes las siguientes:

Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista y olfato), tienen directa incidencia sobre la aceptabilidad del agua (turbiedad, color, olor y sabor, temperatura).

Turbiedad: La turbiedad es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, tierra finamente dividida, etcétera). La turbiedad es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua.

Color: Esta característica del agua puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independientemente de ella. Aún no es posible establecer las estructuras químicas fundamentales de las especies responsables del color. Esta característica del agua se atribuye comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos y ácidos grasos. Se considera que el color natural del agua, excluyendo el que resulta de descargas industriales, puede originarse por las siguientes causas; la extracción acuosa de sustancias de origen vegetal, la descomposición de la materia, la materia orgánica del suelo, la presencia de hierro, manganeso y otros compuestos metálicos y una combinación de los procesos descritos.

Olor y Sabor: El sabor y el olor están estrechamente relacionados; por eso es común decir que “a lo que huele, sabe el agua”. En términos prácticos, la falta de olor puede ser un indicio indirecto de la ausencia de contaminantes, tales como los compuestos fenólicos. Por otra parte, la presencia de olor, puede indicar una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua. Las sustancias generadoras de olor y sabor en aguas pueden ser compuestos orgánicos derivados de la actividad de microorganismos y algas o provenir de descargas de desechos industriales.

Temperatura: Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, sedimentación y filtración. Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la

temperatura del agua varíe continuamente (Bautista Covarrubias & Velazco Arce, 2011).

Características químicas de iones presentes en el agua:

Amonio: Es el producto final de la reducción de las sustancias orgánicas e inorgánicas nitrogenadas y debe su origen a los siguientes factores: El nitrógeno atmosférico, por fijación química, Las proteínas animales o vegetales, por putrefacción mediante acción bacteriana y la reducción de nitritos.

El amoniaco o ion amonio (NH_4^+) se encuentra en cantidades notables cuando el medio es fuertemente reductor. En un medio oxidante, el ion amonio (NH_4^+) se transforma en nitrito (NO_2^-). Se le considera un constituyente normal de las aguas superficiales y está íntimamente relacionado con descargas recientes de desagües. Cuando su concentración es mayor de $0,1 \text{ mgL}^{-1}$, podría constituirse como un indicador de contaminación por aguas residuales domésticas o industriales. El amoniaco en las aguas residuales es producido en su mayor parte por la eliminación de compuestos que tienen nitrógeno orgánico y por la hidrólisis de la urea. En casos menos frecuentes, se puede producir por reducción de nitratos en condiciones anaeróbicas. El amoniaco es un nutriente para microorganismos y algas en los sistemas de distribución, su presencia en el agua favorece la multiplicación de estos.

Nitratos y Nitritos: La concentración de nitratos en el agua subterránea es un tópico común de muchas discusiones acerca de la calidad del agua, ya que es de importancia tanto para humanos como para animales. Debido a sus propiedades físicas, no pueden olerse ni sentirse y su presencia en concentraciones potencialmente peligrosas, es detectada cuando se manifiesta un problema de salud en organismos de cultivo. Niveles de nitrato entre 0 y 40 ppm son generalmente seguros para los peces. Cualquier valor superior a 80 ppm puede ser tóxico. A menudo es difícil precisar el origen de un alto contenido de nitratos, debido a que puede provenir de muchas fuentes. La entrada de los nitratos a las aguas subterráneas es un resultado de procesos naturales y del efecto directo o indirecto de las actividades humanas. Los procesos naturales incluyen la precipitación, el constante movimiento de los minerales y descomposición de la materia

orgánica. Niveles de nitritos superiores a 0,75 ppm en el agua pueden provocar estrés en peces y mayores de 5 ppm pueden ser tóxicos.

Oxígeno: Durante la época seca, el caudal de un río disminuye, por lo que también lo hace la cantidad total de oxígeno disponible y, por tanto, el consumo de este por los seres vivientes acuáticos aumenta por unidad de volumen, asimismo la temperatura influye en relación inversa con el oxígeno. Por esa situación, no es extraño que haya grandes diferencias de oxígeno disuelto entre el verano y el invierno. En el cultivo es recomendable que la cantidad de oxígeno no sea menor a 5 ppm.

pH: Es una variable básica que indica el grado de acidez o alcalinidad del agua. Esta variable tiene mucha influencia en una serie de reacciones que ocurren en el agua. Dentro de la calidad del agua el pH interviene determinando si un cuerpo de agua es dura o blanda, es decir, evalúa los niveles de carbonatos presentes para el desarrollo del cultivo de una especie acuícola.

La tilapia es un pez nativo de África que ha sido introducido a muchos países del mundo. Es resistente a enfermedades, se reproduce con facilidad, consume una gran variedad de alimentos y tolera aguas con variabilidad significativa de pH y bajas concentraciones de oxígeno disuelto. Comúnmente, es cultivada en estanques, jaulas y arrozales inundados. La mayoría de las especies de tilapia pueden crecer en aguas salobres y algunas se adaptan al agua de mar. Todas estas características hacen que la tilapia sea una especie de cultivo apta en la mayoría de los países en vía de desarrollo. Para cultivar tilapia es importante que las propiedades fisicoquímicas del agua se mantengan dentro de los parámetros óptimos para garantizar el desarrollo de los peces (Bautista Covarrubias & Velazco Arce, 2011).

2.3.2. Redes de sensores

Una red de sensores (del inglés Sensor Network) es una red de ordenadores pequeñísimos (nodos), equipados con sensores, que colaboran en una tarea común. Las redes de sensores están formadas por un grupo de sensores con ciertas capacidades sensitivas y de comunicación los cuales permiten formar redes inalámbricas Ad-Hoc sin infraestructura física preestablecida ni administración central. Las redes de sensores es un concepto relativamente nuevo en adquisición y tratamiento de datos con múltiples

aplicaciones en distintos campos tales como entornos industriales, domótica, entornos militares, detección ambiental.

Esta clase de redes se caracterizan por su facilidad de despliegue y por ser autoconfigurables, pudiendo convertirse en todo momento en emisor, receptor, ofrecer servicios de encaminamiento entre nodos sin visión directa, así como registrar datos referentes a los sensores locales de cada nodo. Otra de sus características es su gestión eficiente de la energía, que con ello conseguimos una alta tasa de autonomía que las hacen plenamente operativas.

La miniaturización de ordenadores creciente dio a luz la idea de desarrollar computadoras extremadamente pequeñas y baratas que se comunican de forma inalámbrica y se organizan autónomamente. La noción es repartir aleatoriamente estos nodos en un territorio grande, el cual los nodos observan hasta que sus recursos energéticos se agoten. Los atributos pequeño, barato y autónomo dieron a conocer la idea como polvo inteligente (Smart Dust).

La evolución de redes de sensores tiene su origen en iniciativas militares. Por eso no hay mucha información sobre las fuentes de la idea. Como predecesor de las redes de sensores modernos está considerado Sound Surveillance System (SOSUS), una red de boyas sumergidas instaladas en los Estados Unidos durante la Guerra Fría para detectar submarinos usando sensores de sonido.

A eso de 1980 comenzó la exploración de redes de sensores con el proyecto Distributed Sensor Networks (DSN) de la agencia militar de Estados Unidos Defense Advanced Research Projects Agency (nuevatecnologias, 2016).

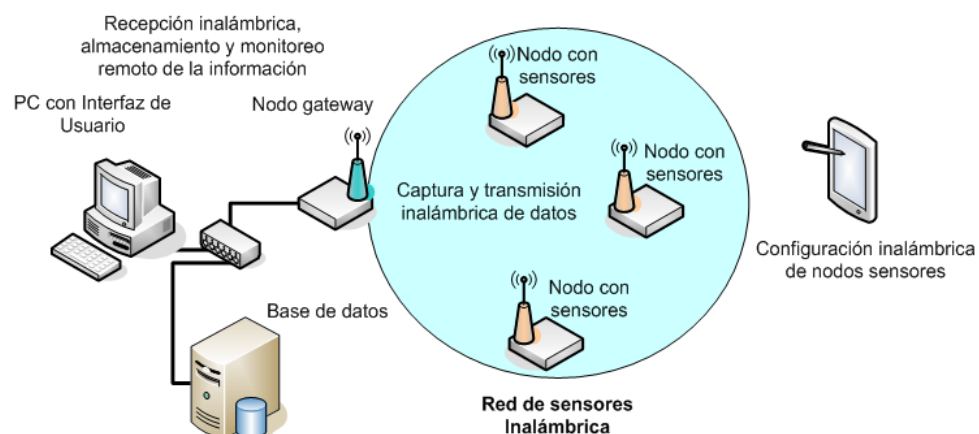


Figura 2: Red de sensores inalámbrica (Fuente: Milton Ríos, Ricardo Yauri, John K. Rojas, Viky C. Camarena. 2014)

Ventajas de una red de sensores inalámbrica

La comunicación inalámbrica en aplicaciones industriales tiene muchas ventajas. Además de una mayor fiabilidad, la ventaja más reconocida es el bajo coste de instalación. Los emplazamientos industriales suelen ser entornos severos, con requisitos muy exigentes en cuanto al tipo y calidad del cableado. Prescindir de los cables significa que las instalaciones son más baratas, sobre todo cuando se trata de modernizar o actualizar versiones antiguas, un caso en que puede ser difícil proyectar los cables adicionales necesarios en una instalación ya de por sí congestionada.

Aunque la definición formal no sea aplicable directamente en marcos industriales, WSN introduce nuevas técnicas de interconexión que ayudan a reducir más el coste de instalación de los sensores inalámbricos. La naturaleza ad hoc de WSN permite un sencillo ajuste y configuración, tarea que no debe subestimarse cuando la red es de considerable tamaño. Para apoyar la cobertura de sensores inalámbricos a nivel de planta se ha de minimizar el trabajo manual de configuración de la red. Además, la configuración de tipo 'plug and produce' (enchufar y producir) de la red permite desplegar redes temporales de sensores para garantizar el mantenimiento o la localización y corrección de fallos.

Aplicaciones y requisitos

Los requisitos de cualquier solución WSN siempre dependerán estrechamente de la aplicación concreta. A continuación, se consideran dos casos específicos de uso: fabricación discreta y monitorización de activos. Estos dos casos implican requisitos bajos de potencia, aunque la fuente de energía real puede variar (almacenamiento de energía en baterías, obtención de energía desde fuentes ambientales, transferencia inalámbrica de energía como, por ejemplo, por acoplamiento inductivo, etc.). En ambos casos, la unidad no puede disipar más que unos pocos milivatios (mW) como máximo de potencia media. En la fabricación discreta, el tiempo de latencia del sistema es vital. Existe un límite estricto del tiempo máximo de latencia, por encima del cual el sistema funcionará mal. Este tiempo suele ser de algunas decenas de milisegundos. Para la monitorización de activos, en cambio, el tiempo de latencia es mucho menos crítico. Esto depende, como es lógico, del activo que se esté supervisando, pero es habitual que los tiempos de actualización sean del orden de minutos o incluso de horas. La fiabilidad es un tercer parámetro de interés. Dependiendo de la aplicación concreta hay varias formas de aumentar la probabilidad de que un mensaje llegue a su destino. Una forma

posible es aumentar la redundancia, lo que puede hacerse de varias maneras. El mensaje se puede transmitir por diferentes caminos (diversidad de espacio), en diferentes frecuencias (diversidad de frecuencias), varias veces en la misma frecuencia (diversidad de tiempos) o, incluso, se puede enviar utilizando diferentes esquemas de modulación (diversidad de esquemas de modulación). Este último es un método complejo que sólo se empleará cuando los requisitos sean extremadamente estrictos y el coste no sea ningún problema. El sector de productos para oficina y de consumo es hoy en día el principal impulsor de las tecnologías inalámbricas, con aplicaciones de gran volumen en las que se requiere un tiempo de vida relativamente corto de los dispositivos. En cambio, la vida útil de los dispositivos industriales ha de ser mucho más larga que la de los productos de consumo. Esto significa que hay que prestar atención muy especial a la integración de componentes inalámbricos en los dispositivos industriales. El diseño modular (del hardware y el software) es esencial, pues permite un mantenimiento eficaz de los dispositivos –hechos con componentes estándar disponibles en el mercado– durante toda su vida útil (Aakvaag & Frey, 2006).

Componentes hardware de un nodo sensor

Los elementos del nodo sensor mostrados en la Fig. 3 tienen mucha importancia en el rendimiento y en el consumo de energía que tiene toda la red. En una red de nodos de sensores se usan protocolos de comunicación adecuados para ayudar a reducir el consumo de energía global considerando que los periodos de tiempo en que los nodos sensores están activos son muy cortos.

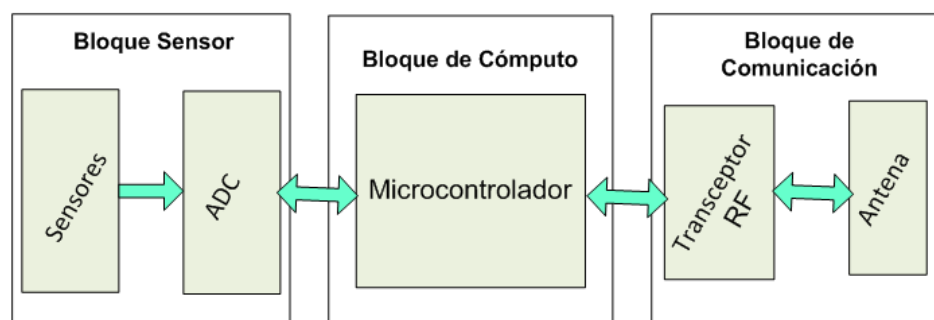


Figura 3: Arquitectura de hardware genérica de un nodo en una red de sensores (Fuente: Milton Ríos, Ricardo Yauri, John K. Rojas, Viky C. Camarena. 2014)

1) Bloque sensor: Tiene un conjunto de sensores, donde estos pueden entregar señales eléctricas digitales o analógicas. Un sensor es un dispositivo físico que detecta propiedades físicas, biológicas, químicas de su ambiente y convierte estas propiedades

en una señal eléctrica. Un actuador normalmente acepta una señal eléctrica y la convierte en una acción física para actuar sobre el medio en el que se encuentra.

2) Bloque de cómputo: Conformado por un dispositivo inteligente, que tiene memorias, temporizadores, ADC (Conversor Análogo Digital), puertos de entrada y salida, etc. Un microcontrolador es un ordenador en un chip, autosuficiente y de bajo costo que se utiliza para controlar la funcionalidad y el flujo de datos de dispositivos electrónicos para almacenar y/o procesar datos.

3) Bloque de comunicación: Consiste en un radio transceptor y una antena, el cual permite una comunicación inalámbrica entre nodos de la red. Cada uno de los nodos de un sistema de redes de sensores inalámbricos comprende una unidad de transceptor, que está a cargo de la comunicación inalámbrica con sus compañeros (Chio Cho, Tibađuiza Burgos, Aparicio Zafra, & Caro Ortiz, 2011).

Métodos de posicionamiento de los nodos

El posicionamiento de los nodos en una red de sensores inalámbricos cobra importancia en la medida que dependiendo de este acomodamiento se pueden implementar protocolos de comunicación más eficientes y mejores algoritmos con mayor escalabilidad. Entre estos, como se puede ver en la figura 4 existen dos tipos de métodos: centralizados y los distribuidos.

Optimización convexa. Las ventajas de métodos basados en optimización convexa son que es simple modelar el hardware para proveer rangos o ángulos y conectividad sencilla; además hay métodos computacionales eficientes disponibles para resolver problemas acerca la programación convexa.

MDS-map. Es un método que solo hace uso de la conectividad para proveer posiciones en una red con o sin puntos destacados. Este método opera en tres etapas. La primera etapa calcula los caminos más cortos entre todos los pares de nodos en la red. Estas distancias son usadas para inicializar una matriz de distancias para MDS. La segunda etapa es la aplicación clásica MDS en esta matriz, y retener a los dos mayores valores propios y vectores propios con el fin de construir un mapa en 2D. La tercera y última etapa tiene una complejidad lineal en el número de nodos. La ventaja de los mapas MDS

es que tienen un amplio rango de aplicabilidad, teniendo la habilidad de trabajar tanto con conectividad simple como con rangos de medición para proporcionar posicionamiento absoluto o relativo.

Posicionamiento one-hop. Esta clase de posicionamiento tiene una característica principal que es la posibilidad de que los nodos contacten a los puntos estratégicos marcados. El ejemplo más visible de este tipo de posicionamiento es el sistema GPS.

Sistema de localización ad-hoc. Define varios tipos de multilateralidad: atómica, iterativa y colaborativa. En la multilateralidad atómica la densidad del punto estratégico es suficientemente alta que un nodo tiene suficientes nodos vecinos para aplicar lateralidad triple. Una vez conocidas las distancias de tres puntos conocidos, un nodo es capaz de calcular su ubicación. Con la multilateralidad iterativa, los nodos que tratan de establecer su posición sirven de puntos marca para otros nodos, aunque con menor precisión. La multilateralidad colaborativa identifica grupos de nodos que solo pueden conocer su posición mediante colaboración grupal. En este caso particular, las distancias están indicadas con líneas, el grupo de nodos es capaz de construir un sistema no lineal usando ecuaciones para cada extremo de la gráfica.

Sistema de posicionamiento ad-hoc. Aplica un método que transmite la orientación/rango a fin de que los nodos que no están en contacto directo con los puntos marca, puedan inferir su orientación/rango con respecto a éstos. Orientación significa transporte o ángulo entre ejes de cada nodo y otro objeto. Rango significa distancia en línea recta o una estimación de la misma.

Posicionamiento relativo. Encuentra posiciones en un sistema coordinado determinado por un grupo llamado Ubicación de Referencia. Las posiciones obtenidas son coherentes a través de toda la red. Después de organizar la red en la topología adecuada y así tener los nodos posicionados según alguno de los métodos descritos es conveniente sincronizar cada uno de los dispositivos de la red. La sincronización permite que cada evento suceda en el tiempo preciso. De esta manera el flujo de información no se ve perjudicado y estará en continuo funcionamiento. (Chio Cho, Tibaduiza Burgos, Aparicio Zafra, & Caro Ortiz, 2011)

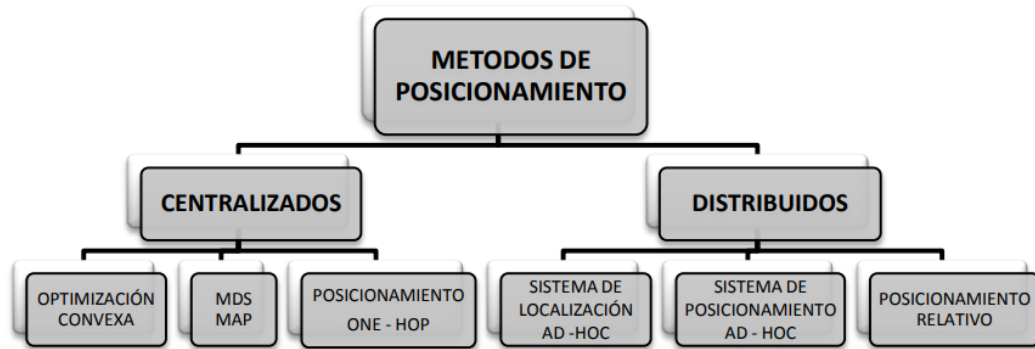


Figura 4: Métodos de posicionamiento de los nodos (Fuente: Chio Cho, Tibaduiza Burgos, Aparicio Zafra, & Caro Ortiz, 2011)

Características de una red de sensores:

Las redes de sensores tienen una serie de características propias y otras adaptadas de las redes Ad-Hoc:

- **Topología Dinámica:** En una red de sensores, la topología siempre es cambiante y éstos tienen que adaptarse para poder comunicar nuevos datos adquiridos.
- **Variabilidad del canal:** El canal radio es un canal muy variable en el que existen una serie de fenómenos como pueden ser la atenuación, desvanecimientos rápidos, desvanecimientos lentos e interferencias que puede producir errores en los datos.
- **No se utiliza infraestructura de red:** Una red de sensores no tiene necesidad alguna de infraestructura para poder operar, ya que sus nodos pueden actuar de emisores, receptores o enrutadores de la información. Sin embargo, hay que destacar en el concepto de red de sensores la figura del nodo recolector (también denominados sink node), que es el nodo que recolecta la información y por el cual se recoge la información generada normalmente en tiempo discreto. Esta información generalmente es adquirida por un ordenador conectado a este nodo y es sobre el ordenador que recae la posibilidad de transmitir los datos por tecnologías inalámbricas o cableadas según sea el caso.
- **Tolerancia a errores:** Un dispositivo sensor dentro de una red de sensores tiene que ser capaz de seguir funcionando a pesar de tener errores en el sistema propio.
- **Comunicaciones multisalto o broadcast:** En aplicaciones sensoras siempre es característico el uso de algún protocolo que permita comunicaciones multi-hop, léase AODV, DSDV, EWMA u otras, aunque también es muy común utilizar mensajería basada en broadcast.
- **Consumo energético:** Es uno de los factores más sensibles debido a que tienen que conjugar autonomía con capacidad de proceso, ya que actualmente cuentan con una

unidad de energía limitada. Un nodo sensor tiene que contar con un procesador de consumo ultra bajo, así como de un transceptor radio con la misma característica, a esto hay que agregar un software que también conjugue esta característica haciendo el consumo aún más restrictivo.

- **Limitaciones hardware:** Para poder conseguir un consumo ajustado, se hace indispensable que el hardware sea lo más sencillo posible, así como su transceptor radio, esto nos deja una capacidad de proceso limitada.
- **Costes de producción:** Dada que la naturaleza de una red de sensores tiene que ser en número muy elevada, para poder obtener datos con fiabilidad, los nodos sensores una vez definida su aplicación, son económicos de hacer si son fabricados en grandes cantidades (nuevastecnologias, 2016).

Áreas de aplicación

Pasando de largo las aplicaciones militares, éstas tienen usos civiles interesantes como vemos a continuación:

- **Entornos de alta seguridad:** Existen lugares que requieren altos niveles de seguridad para evitar ataques terroristas, tales como centrales nucleares, aeropuertos, edificios del gobierno de paso restringido. Aquí gracias a una red de sensores se pueden detectar situaciones que con una simple cámara sería imposible.
- **Sensores ambientales:** El control ambiental de vastas áreas de bosque o de océano, sería imposible sin las redes de sensores. El control de múltiples variables, como temperatura, humedad, fuego, actividad sísmica, así como otras. También ayudan a expertos a diagnosticar o prevenir un problema o urgencia y además minimiza el impacto ambiental de la presencia humana.
- **Sensores industriales:** Dentro de fábricas existen complejos sistemas de control de calidad, el tamaño de estos sensores les permite estar allí donde se requiera.
- **Automoción:** Las redes de sensores son el complemento ideal a las cámaras de tráfico, ya que pueden informar de la situación del tráfico en ángulos muertos que no cubren las cámaras y también pueden informar a conductores de la situación, en caso de atasco o accidente, con lo que estos tienen capacidad de reacción para tomar rutas alternativas.

- **Medicina:** Es otro campo bastante prometedor. Con la reducción de tamaño que están sufriendo los nodos sensores, la calidad de vida de pacientes que tengan que tener controlada sus constantes vitales (pulsaciones, presión, nivel de azúcar en sangre, etc.), podrá mejorar substancialmente.

- **Domótica:** Su tamaño, economía y velocidad de despliegue, lo hacen una tecnología ideal para domotizar el hogar a un precio asequible (nuevatecnologias, 2016).

Arquitectura de comunicación de las WSNs

Las WSNs son comúnmente desplegadas dentro de un campo de sensores, cada uno de estos nodos sensores tiene la capacidad de recolectar datos y encaminarlos hacia el dren. Los datos son encaminados hacia el administrador mediante comunicación multi-salto dirigida hacia el dren, como se muestra en la figura 5. El dren se puede comunicar con el administrador vía internet o vía satélite.

La pila de protocolos utilizada por el dren y todos los nodos sensores se muestra en la figura 5. Esta pila de protocolos combina adecuadamente la energía y el encaminamiento, integra los datos con los protocolos de red, ofrece comunicación eficiente a través de medios inalámbricos, y promueve esfuerzos cooperativos de los nodos sensores. La pila de protocolos consta de la capa de aplicación, la capa de transporte, la capa de red, la capa de enlace, la capa física, el plano de gestión de energía, el plano de gestión de movilidad y el plano de gestión de tareas. (Lino, 2012)

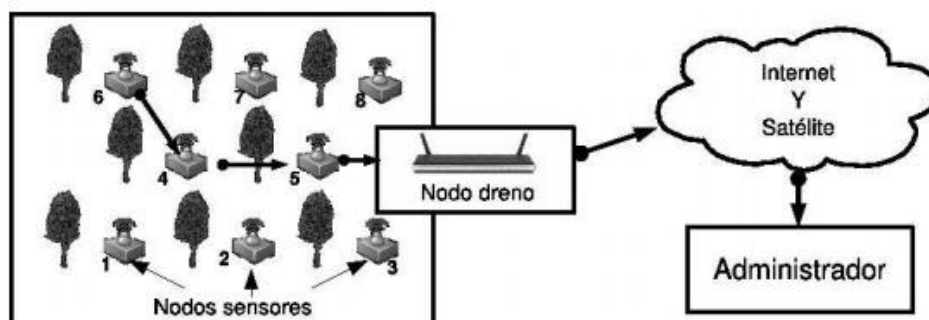


Figura 5: Nodos sensores desplegados en un área forestal (Fuente: Carlos Lino, 2012)

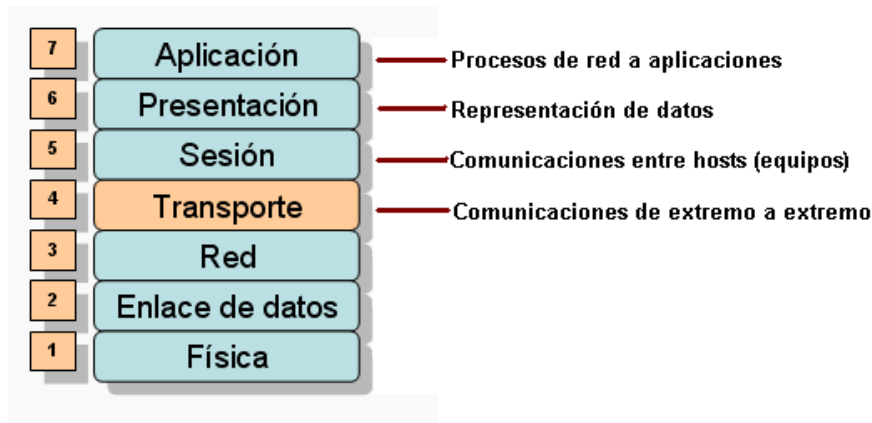


Figura 6: Pila de protocolos de las redes de sensores (Fuente: <https://www.emaze.com>, 2012)

Tipos de topologías en WSN

La topología que suele implementarse depende de la cantidad de nodos que existan, de la tasa de datos que van a ser enviados, de la distancia de transmisión y requerimientos de energía, lo cual nos deja tres posibilidades de topologías a aplicar.

Topología estrella. Esta topología es simple ya que tenemos un nodo que realiza la función de sumidero o coordinador que puede enviar y/o recibir los mensajes de los nodos restantes. Entonces, solo pueden comunicarse con el nodo sumidero mientras que entre ellos la comunicación nula (ver figura 6a). Este tipo de topología tiene la ventaja de mantener a los nodos remotos con un mínimo consumo de energía lo cual permite que existan comunicaciones de baja latencia. Los principales inconvenientes que existen en esta topología es la dependencia de un nodo para la gestión de la red y el rango del sumidero para mantenerse en comunicación con los sensores.

Topología Mesh. Esta topología permite que cualquier nodo dentro de la red pueda transmitir a cualquier otro que este dentro de su rango de comunicación. Básicamente está compuesta por nodos multi-trayecto y de bajo consumo de energía. Los primeros son los encargados de retransmitir los mensajes de los de bajo consumo hacia otros nodos de la red. Además, si un nodo desea enviar un mensaje a otro que este fuera del rango de comunicación usara un nodo intermedio que le permita redirigir el mensaje hacia el nodo de destino (ver figura 6b). Las principales ventajas de esta red están ligadas a la escalabilidad y la redundancia. Mientras que la principal desventaja radica

en el consumo de energía de los nodos debido a los multi-trayecto limitado el tiempo de vida de la batería. Además, como la comunicación hacia otro nodo depende de los saltos mientras mayor sea el número de saltos que realice hacia el destino mayor será el tiempo de entrega del mensaje.

Topología híbrida. Es una combinación de las redes mencionadas. Permite implementar una red más robusta y versátil que mantiene el consumo de energía de los nodos en el mínimo posible. Esta topología no permite que los nodos con menor consumo de energía estén en capacidad de enviar mensajes dejando la responsabilidad de transmitir a los nodos multi-trayecto (ver figura 6c). Este estándar es utilizado en la topología de red mallada para la tecnología ZigBee. (Townsend & Arms, 2004)

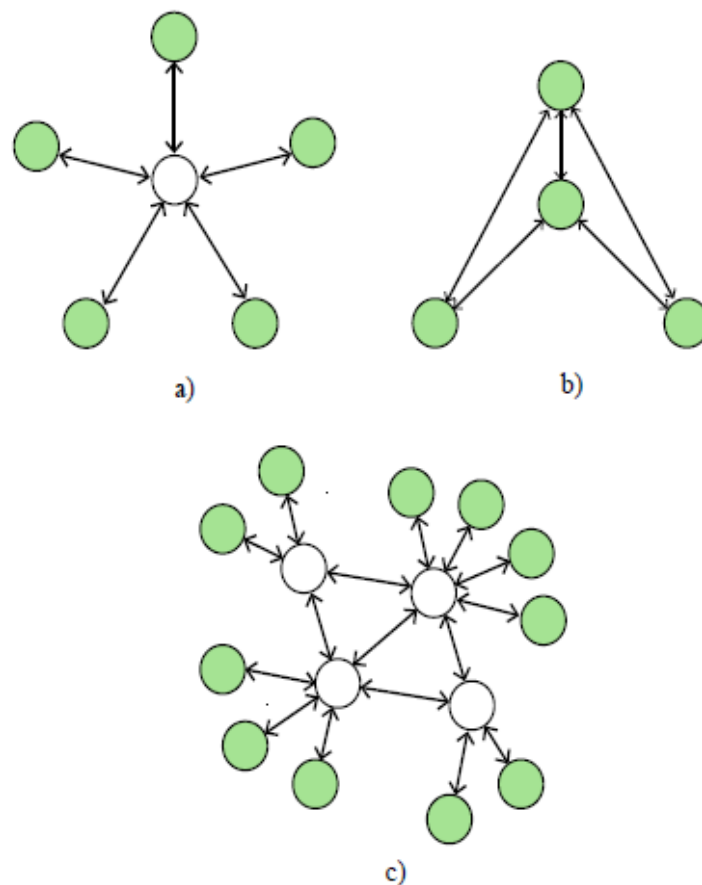


Figura 7: Tipos de topologías: a) Estrella, b) Mesh, c) Híbrida (Fuente: Townsend & Arms, 2004)

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis alterna

“Con el uso de una red de sensores se mejorará el monitoreo de la calidad del agua en los estanques de alevinos de tilapia en la Estación Pesquera Ahuashiyacu”.

2.4.2. Hipótesis nula

“Con el uso de una red de sensores no se mejorará el monitoreo de la calidad del agua en los estanques de alevinos de tilapia en la Estación Pesquera Ahuashiyacu”.

2.5. Sistema de variables

Por el lugar que ocupan en la hipótesis las variables pueden ser dependiente e independiente. En tal sentido se considera las siguientes variables de estudio:

2.5.1. Variable dependiente

Y: Monitoreo de la calidad del agua.

Indicadores:

Y1: Número de alertas generadas

Y2: Valoración de la información de alertas.

2.5.2. Variable Independiente

X: Red de sensores

Indicadores:

X1: Valoración del sistema de monitoreo.

2.6. Escala de medición

Tabla 1
Escala de medición de las variables

Variable	Indicador	Escala de medición
Dependiente: Monitoreo de la calidad del agua	Y1: Número de alertas generadas.	Cuantitativa
	Y2: Valoración de la información de alertas.	Cualitativa
Independiente: Red de sensores	X1: Valoración del sistema de monitoreo.	Cualitativa

Fuente: Elaborado por el investigador

2.7. Objetivos

2.7.1. Objetivo General

Mejorar el monitoreo de la calidad del agua en los estanques de alevinos de tilapia en la Estación Pesquera Ahuashiyacu.

2.7.2. Objetivos Específicos

1. Evaluar el control de la calidad del agua en los estanques de alevinos de tilapia en la Estación Pesquera Ahuashiyacu.
2. Implementar un sistema de monitoreo usando una red de sensores para el control de la calidad del agua.
3. Evaluar la influencia del sistema de monitoreo usando una red de sensores en el control de la calidad del agua en los estanques de alevinos de tilapia en la Estación Pesquera Ahuashiyacu.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Universo y muestra

3.1.1. Universo

La población total está constituida por 10 estanques de levante para alevinos que posee la Estación Pesquera Ahuashiyacu.

3.1.2. Muestra

La muestra a tomar para esta investigación serán 2 estanques de levante de alevinos de tilapia.

3.2. Ámbito geográfico

La presente investigación tiene como ámbito geográfico la ciudad de Tarapoto. Geográficamente está ubicada en la selva nororiental peruana, a $06^{\circ}31'30''$ de latitud sur y $76^{\circ}21'50''$ de longitud oeste.

3.3. Diseño de la Investigación

Tabla 2
Diseño Cuasi-Experimental

Estructura	Procedimientos
GE X O ₁	1) Precisión del grupo experimental y de control.
GC - O ₂	2) Aplicación del sistema (al grupo experimental).
Donde:	3) Evaluación pos test (Grupo experimental y de control)
GE: Grupo experimental.	4) Comparación de los resultados de la evaluación pos
GC: Grupo de control.	test de los dos grupos de estudio.
O ₁ , O ₂ : Evaluación pos test	Utilidad: Este diseño es útil para conocer los resultados
X: Implementación del	de la aplicación que se aplica.
sistema.	
- : No implementación del	
sistema.	

Fuente: Elaborado por el investigador

3.4. Procedimientos y Técnicas

3.4.1. Procedimientos

Esta es la lista de procedimientos que se realizó en el desarrollo de este proyecto de investigación.

Se realizó el levantamiento de información en la Estación Pesquera Ahuashiyacu sobre el proceso de medición de los parámetros de la calidad del agua para conocer la importancia que éste tiene en el desarrollo de los peces. Posteriormente se hizo el análisis de requerimientos para el módulo web de monitoreo en tiempo real y el de la red de sensores.

Una vez obtenidos los requerimientos se procedió a la creación del prototipo de la red de sensores para la cual se empleó como base una placa de Arduino Mega 2560 R3, un sensor de temperatura DS18B20, sensor de pH, un kit de oxígeno disuelto de Atlas Scientific y un módulo Shield A6GSM GPRS para el envío de mensajes de texto.

El desarrollo e implementación de la red de sensores constó de las siguientes etapas:

Primera etapa. Implementación de un servidor web local, necesario para que el módulo de monitoreo en tiempo real sea instalado en las oficinas de la Estación Pesquera Ahuashiyacu. Se usó XAMPP 1.8.1.

Segunda etapa. Implementación de una red de área local (LAN). La Estación Pesquera no contaba con ninguna red de área local, la cual era necesaria para la implementación de la red de sensores inalámbricos e imprescindible para que ésta se comuniquen con el servidor de base de datos.

Tercera etapa. Instalación del módulo de monitoreo en tiempo real en el servidor local. Se instaló el módulo web de monitoreo en tiempo real en el servidor web local anteriormente creado con XAMPP.

Cuarta etapa. Estableciendo la comunicación entre la red de sensores inalámbricos y el módulo web de monitoreo en tiempo real.

Quinta etapa. Pruebas finales y corrección de errores. Antes de proceder a la implementación se realizaron varias pruebas de funcionamiento con el fin de verificar que la comunicación y la medición de los parámetros del agua se desarrollaran correctamente.

Sexta etapa. Implementación y puesta en funcionamiento. Para esta etapa se consideraron dos grupos principales, el grupo de control y el grupo experimental. El grupo experimental fue sometido a la variable independiente mientras que el otro grupo no.

El grupo experimental hace referencia al control de la calidad del agua en el estanque de alevinos usando una red de sensores, mientras que el grupo de control hace referencia al control de la calidad del agua empleando el método convencional usado en la Estación Pesquera Ahuashiyacu (el cual se realiza con poca frecuencia).

Posteriormente a la implementación se realizó una encuesta para medir la relevancia que la red de sensores ha tenido en la mejora del control de calidad del agua en la Estación Pesquera Ahuashiyacu. La encuesta se aplicó al biólogo Gilmer Raúl Montejo Sánchez, encargado de dicha institución.

3.4.2. Técnicas

Encuesta. Se empleó la encuesta para recolectar información sobre el control de la calidad del agua en la Estación Pesquera Ahuashiyacu. La encuesta fue presentada al biólogo encargado de la institución anteriormente mencionada.

Observación directa. Consistió en obtener información sobre todo el proceso del control de la calidad del agua en los estanques. Dicha información permitió desarrollar el flujo de información y la estructura de datos para la red de sensores inalámbricos.

Análisis Bibliográfico. Esta técnica permitió la obtención de datos bibliográficos de libros, revistas y otras publicaciones. Fue de gran utilidad principalmente en la redacción del marco teórico y la bibliografía.

3.5. Instrumentos

3.5.1. Instrumentos de recolección de datos

Cartilla de observación. La observación directa es una técnica realista porque nos permite percibir la realidad tal cual es. Cada detalle importante que es percibido por el investigador tiene que ser registrado en las cartillas de observación para un mejor manejo de la información.

Cartilla de encuesta. Este instrumento es muy indispensable por que se utilizó para contrastar las diferencias entre el grupo experimental y el grupo de control al final de la implementación de la red de sensores. Para ello se elaboró un cuestionario con preguntas claves en función de las variables e indicadores de la hipótesis.

Fichas bibliográficas. Son instrumentos para la obtención de datos bibliográficos. Sirven para reunir la información bibliográfica en forma ordenada. Facilitan el manejo simultáneo de datos de muchas fuentes. Permiten sistematizar y distribuir la información de acuerdo al esquema del informe final.

3.5.2. Instrumentos de procesamiento de datos

La media aritmética o promedio (M): Es el estadístico de tendencia central más significativo y corresponde variables de cualquier nivel de medición, pero particularmente a las mediciones de intervalo y de razón.

$$M = \frac{X_1 + X_2 + X \dots}{N}$$

Dónde: M, media aritmética; X, frecuencia de un valor cualquiera de la variable y N, número total de los valores considerados.

Desviación Estándar. - Es una medida de dispersión de las variables cuantitativas.

Tratamiento Estadístico. - Los análisis estadísticos a emplear serán descriptivos e inferenciales, en la parte descriptiva se hará uso de tabla de frecuencia, gráficos y medidas como la media y desviación estándar. En la parte inferencial, para comparar los diferentes datos que se obtienen a través del instrumento elaborado para los fines de la investigación, también se usará la estadística T-student.

Presentación de datos

- **Tablas:** Para un mejor entendimiento de los datos se presentarán en tablas distribuyéndolos en columnas y filas, agrupando los datos evitando duplicidades y superando el desorden. Servirán de ayuda visual que permitirán organizar los resultados de la investigación.

- **Figuras:** Importantes para expresar la tendencia de un hecho o fenómeno. Se usarán figuras estadísticas como barras, líneas, áreas, etc.

3.6. Sobre el desarrollo del sistema de la red de sensores

Modelado del negocio

1. Identificación de actores:
 - a. Biólogo
2. Identificación de casos de uso:
 - a. Gestión de Mantenimiento
 - b. Gestión de Monitoreo
 - c. Gestión de Reportes
3. Modelo de casos de uso de negocio.

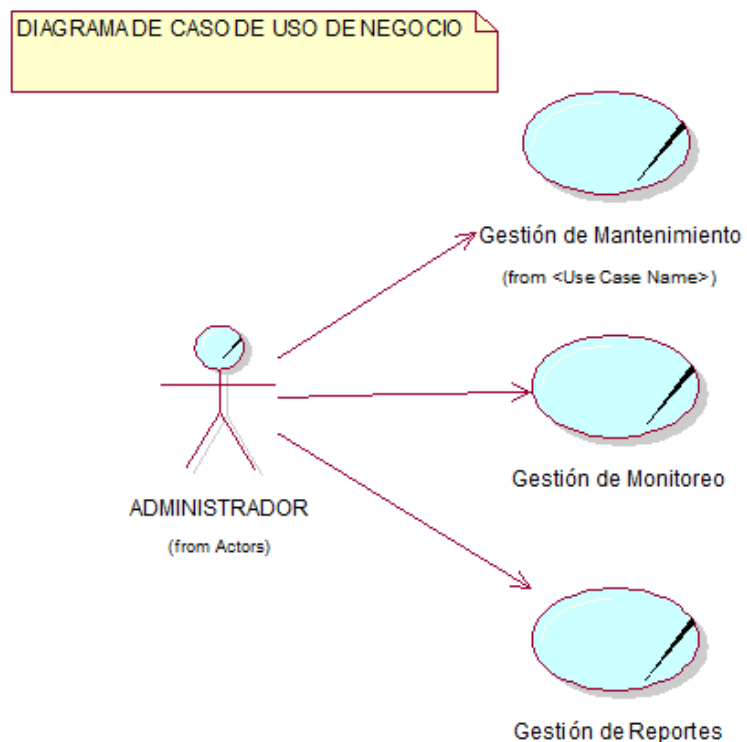


Figura 8: Diagrama de casos de uso de negocio (Fuente: Elaboración Propia)

Especificación de los casos de Uso de Negocio

A. Gestión de Mantenimiento.

- **Descripción.** Es el caso de uso del negocio que permite registrar las especies y estanques.
- **Objetivos.** Administrar los registros de las especies y estanques de la Estación Pesquera Ahuashiyacu.
- **Responsables.** Biólogo.

B. Gestión de Monitoreo.

- **Descripción.** Es el caso de uso del negocio que permite acceder a los datos para el monitoreo en tiempo real.
- **Objetivos.** Acceder a la información de las mediciones y mostrarlas en tiempo real.
- **Responsables.** Biólogo.

C. Gestión de Reportes.

- **Descripción.** Nos permite tener un mayor control de la información almacenada en la base de datos.
- **Objetivos.** Permite tener un informe de cada actividad dentro de la institución.
- **Responsables.** Biólogo.

Modelo de objetos de negocio

MON de gestión mantenimiento

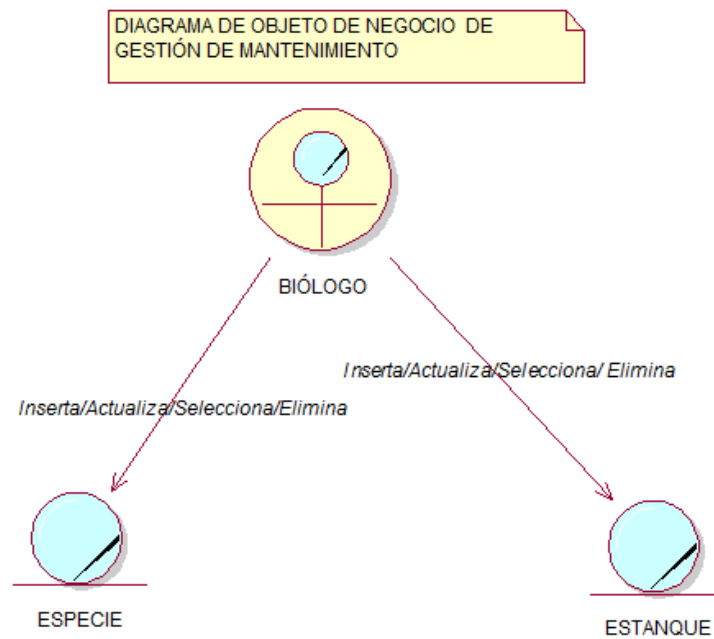


Figura 9: Diagrama MON de Gestión de Mantenimiento (Fuente: Elaboración Propia)

MON de Gestión Monitoreo

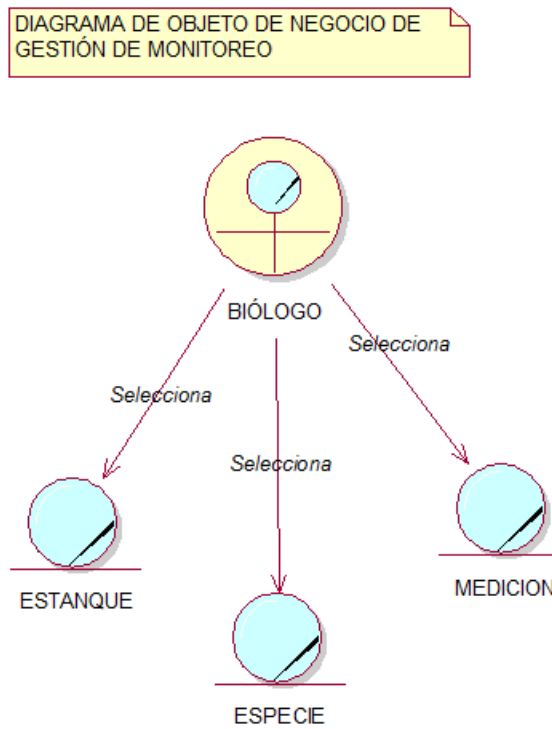


Figura 10: Diagrama MON de Gestión de Monitoreo (Fuente: Elaboración Propia)

MON de Gestión Reportes

DIAGRAMA DE OBJETO DE NEGOCIO DE GESTIÓN DE REPORTES

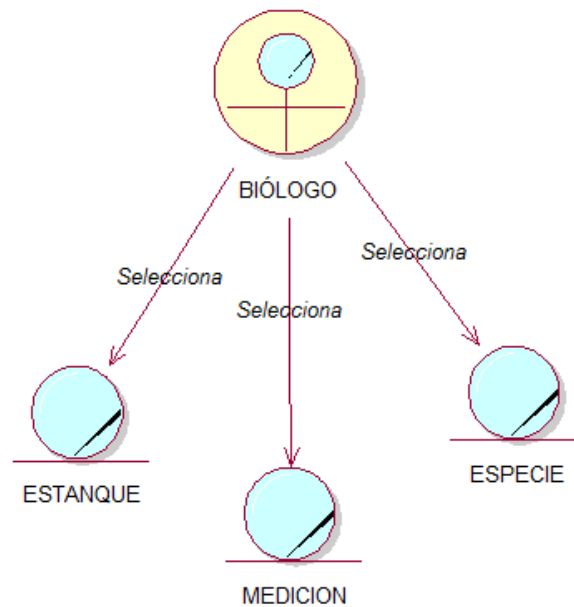


Figura 11: Diagrama MON de Gestión de Reportes (Fuente: Elaboración Propia)

Modelo de dominio

DIAGRAMA DE DOMINIO

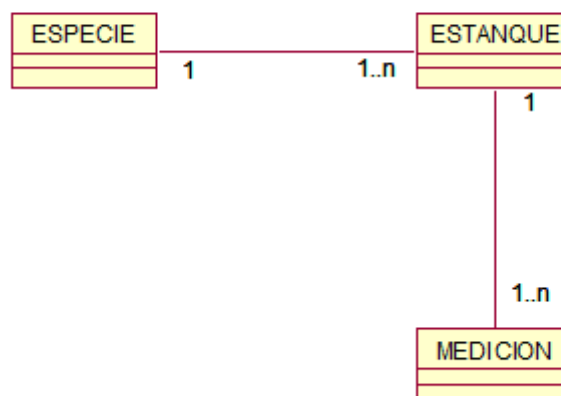


Figura 12: Diagrama del Modelo de Dominio (Fuente: Elaboración Propia)

Modelos de caso de uso de requerimientos

Gestión de mantenimiento

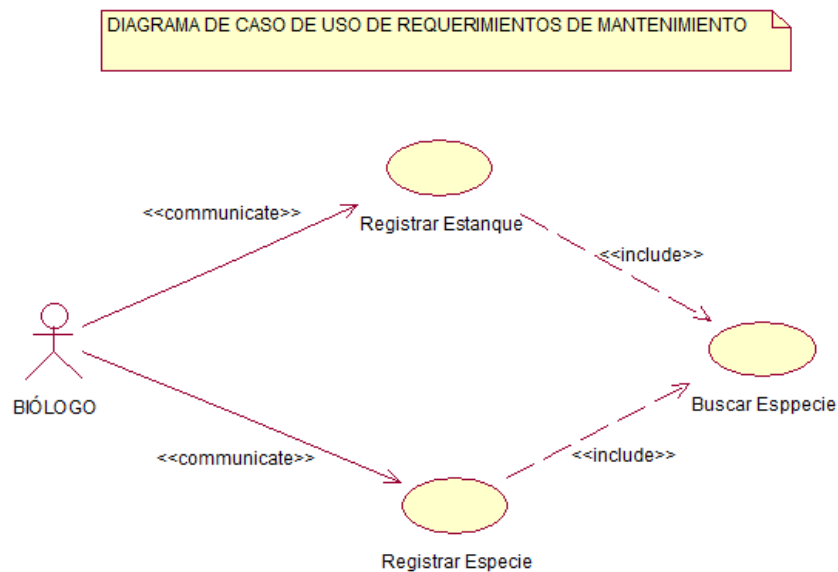


Figura 13: Diagrama DCUR de Gestión de Mantenimiento (Fuente: Elaboración Propia)

Gestión de monitoreo

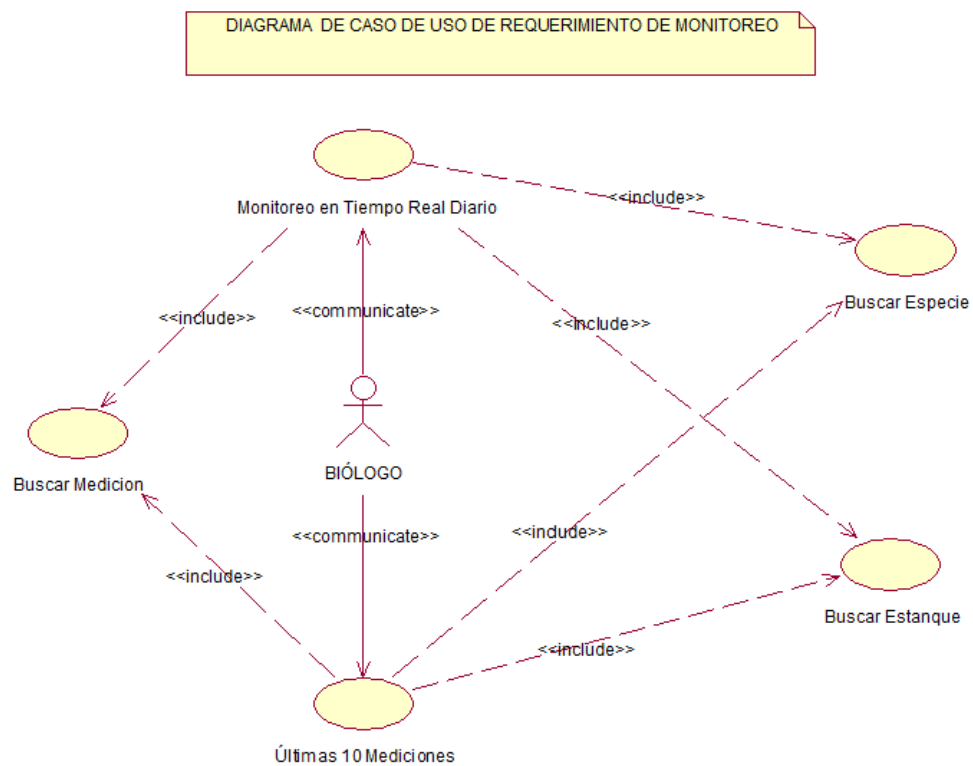


Figura 14: Diagrama DCUR de Gestión de Monitoreo (Fuente: Elaboración Propia)

Gestión de reportes

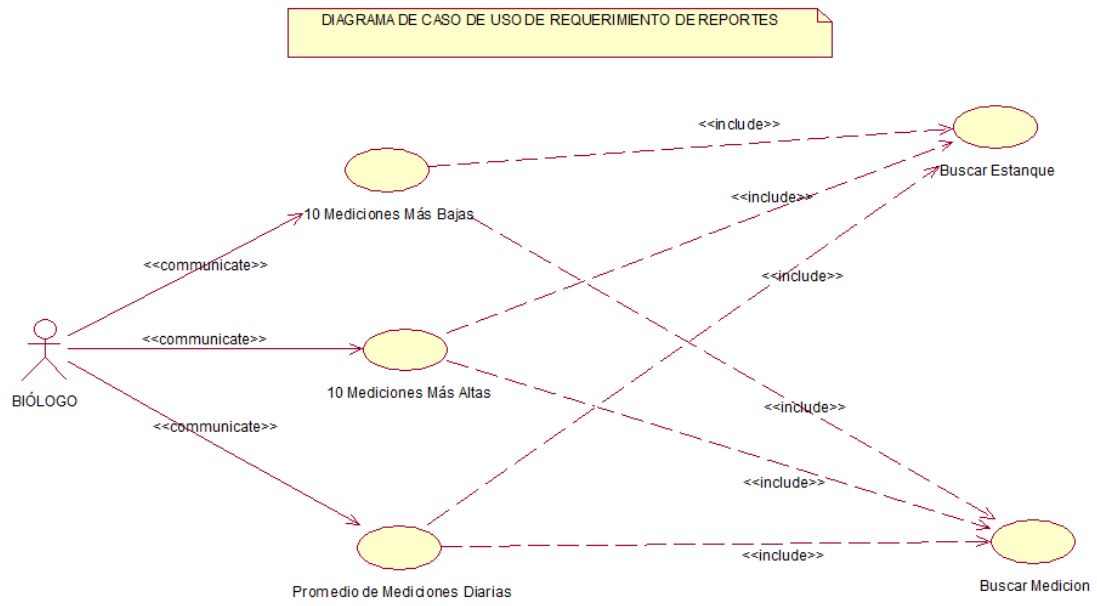


Figura 15: Diagrama DCUR de Gestión de Reportes (Fuente: Elaboración Propia)

Especificaciones de caso de uso
A) Gestión de mantenimiento

Tabla 3
Administración de Especie

NOMBRE DEL CASO DE USO	ADMINISTRAR ESPECIE
ACTOR	ADMINISTRADOR
DESCRIPCIÓN	
Este caso de uso resume la utilidad de registrar, actualizar y eliminar los datos registrados en la base de datos del sistema de monitoreo. El administrador podrá acceder a cada uno de los datos correspondientes y realizar modificaciones.	
PRECONDICIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> • El actor administrador se ha logueado correctamente en el sistema. • El actor administrador ha seleccionado registrar especie de su interfaz gráfica. 	
FLUJO BÁSICO	
<ol style="list-style-type: none"> 1. El actor administrador puede registrar nueva especie, pasar al punto 2; actualizar datos de la especie, pasar al punto 3; eliminar una especie, pasar al punto 4. 2. El actor administrador puede registrar una nueva especie. <ol style="list-style-type: none"> 2.1. El sistema muestra los campos de datos necesarios a introducir; los campos a rellenar son: Nombre, TemperaturaMax, TemperaturaMin, pHMax, pHMin, OxigenoMax, OxigenoMin. 2.2. El actor administrador pulsa el botón registrar. 2.3. El sistema genera un mensaje de aviso de registro de especie. 3. El actor administrador solicita la actualización de los datos de una Especie. <ol style="list-style-type: none"> 3.1. El sistema muestra todos los campos para la modificación. El sistema muestra todos los datos de la especie para su respectiva actualización. 3.2. El actor administrador puede modificar cualquiera de los datos de los campos mostrados por el sistema, éstos son: Nombre, TemperaturaMax, TemperaturaMin, pHMax, pHMin, OxigenoMax, OxigenoMin. 3.3. El actor administrador puede solicitar guardar los datos modificados pulsando el botón Actualizar de la interfaz gráfica o cancelar pulsando el botón Cancelar. 3.4. El sistema genera un mensaje de aviso de modificación y solicita la confirmación de la misma. 3.5. El actor administrador puede confirmar la modificación pulsando el botón Aceptar, o bien puede cancelar la modificación pulsando el botón Cancelar. 4. El actor administrador Solicita la eliminación de una Especie. <ol style="list-style-type: none"> 4.1. El sistema genera un mensaje de aviso de eliminación y solicita la confirmación de la eliminación. 4.2. El actor administrador puede confirmar la eliminación de la especie pulsando el botón Aceptar o cancelar pulsando el botón Cancelar. 	
FLUJO ALTERNATIVO	
<p>En el punto 2.2:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El sistema comprueba que todos los campos mostrados estén llenos, de lo contrario mostrará mensajes diciendo que los datos son requeridos. <p>En el punto 3.3:</p>	

<ul style="list-style-type: none"> • El sistema comprueba que todos los campos mostrados estén llenos, de lo contrario mostrará mensajes diciendo que los datos son requeridos.
POST CONDICIONES
<ul style="list-style-type: none"> • En caso de haberse registrado una nueva especie, los datos de la especie quedan almacenados en la base de datos • En caso de haberse realizado una actualización de los datos de una especie quedan almacenados en la base de datos. • En caso de haberse realizado una Eliminación de una Especie, la especie queda eliminada del sistema.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4
Administración de Estanque

NOMBRE DEL CASO DE USO	ADMINISTRAR ESTANQUE
ACTOR	ADMINISTRADOR
DESCRIPCIÓN	
Este caso de uso resume la utilidad de registrar, actualizar y eliminar los datos registrados en la base de datos del sistema de monitoreo. El administrador podrá acceder a cada uno de los datos correspondientes y realizar modificaciones.	
PRECONDICIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> • El actor administrador se ha logueado correctamente en el sistema. • El actor administrador ha seleccionado registrar estanque de su interfaz gráfica. 	
FLUJO BÁSICO	
<p>3. El actor administrador puede registrar nuevo estanque, pasar al punto 2; actualizar datos del estanque, pasar al punto 3; eliminar un estanque, pasar al punto 4.</p> <p>4. El actor administrador puede registrar un nuevo estanque.</p> <p>4.3. El sistema muestra los campos de datos necesarios a introducir; los campos a rellenar son: Nombre, IP, Especie.</p> <p>4.4. El actor administrador pulsa el botón registrar.</p> <p>4.5. El sistema genera un mensaje de aviso de registro de estanque.</p> <p>5. El actor administrador solicita la actualización de los datos de un estanque.</p> <p>5.1. El sistema muestra todos los campos para la modificación. El sistema muestra todos los datos del estanque para su respectiva actualización.</p> <p>5.2. El actor administrador puede modificar cualquiera de los datos de los campos mostrados por el sistema, éstos son: Nombre, IP, Especie.</p> <p>5.3. El actor administrador puede solicitar guardar los datos modificados pulsando el botón Actualizar de la interfaz gráfica o cancelar pulsando el botón Cancelar.</p> <p>5.4. El sistema genera un mensaje de aviso de modificación y solicita la confirmación de la misma.</p> <p>5.5. El actor administrador puede confirmar la modificación pulsando el botón Aceptar, o bien puede cancelar la modificación pulsando el botón Cancelar.</p> <p>6. El actor administrador Solicita la eliminación de un estanque.</p> <p>6.1. El sistema genera un mensaje de aviso de eliminación y solicita la confirmación de la eliminación.</p> <p>6.2. El actor administrador puede confirmar la eliminación del estanque pulsando el botón Aceptar o cancelar pulsando el botón Cancelar.</p>	

FLUJO ALTERNATIVO
<p>En el punto 2.2:</p> <ul style="list-style-type: none"> El sistema comprueba que todos los campos mostrados estén llenos, de lo contrario mostrará mensajes diciendo que los datos son requeridos. <p>En el punto 3.3:</p> <ul style="list-style-type: none"> El sistema comprueba que todos los campos mostrados estén llenos, de lo contrario mostrará mensajes diciendo que los datos son requeridos.
POST CONDICIONES
<ul style="list-style-type: none"> En caso de haberse registrado un nuevo estanque, los datos del estanque quedan almacenados en la base de datos En caso de haberse realizado una actualización de los datos de un estanque quedan almacenados en la base de datos. En caso de haberse realizado una Eliminación de un estanque, el estanque queda eliminada del sistema.

Fuente: Elaboración Propia

B) Gestión de reportes

Tabla 5
Reporte Diario de Mediciones

CASO DE USO	REPORTE DIARIO DE MEDICIONES
ACTOR	ADMINISTRADOR
RESUMEN	
Este caso de uso resume la utilidad de los reportes diarios de las mediciones realizadas en cada estanque de alevinos de la estación pesquera Ahuashiyacu.	
PRE CONDICIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> El administrador se ha logueado correctamente en el sistema para poder acceder a sus respectivas funciones. El administrador ha seleccionado “Generar reporte diario” de su interface gráfica. 	
FLUJO BÁSICO	
<ol style="list-style-type: none"> El sistema mostrará las opciones para seleccionar el estanque correspondiente, una vez hecho esto el reporte se generará automáticamente, dando como resultado una tabla con los valores de las mediciones realizadas durante el día. Adicionalmente hay un enlace llamado “Descargar reporte” el cual exportará el reporte en formato PDF para su almacenamiento. 	
FLUJO ALTERNATIVO	
<p>En el punto 1</p> <ul style="list-style-type: none"> El sistema valida si se ha seleccionado el estanque correspondiente. 	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6
Reporte Semanal de Mediciones

CASO DE USO	REPORTE SEMANAL DE MEDICIONES
ACTOR	ADMINISTRADOR
RESUMEN	
Este caso de uso resume la utilidad de los reportes semanales de las mediciones realizadas en cada estanque de alevinos de la estación pesquera Ahuashiyacu.	
PRE CONDICIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> • El administrador se ha logueado correctamente en el sistema para poder acceder a sus respectivas funciones. • El administrador ha seleccionado “Generar reporte semanal” de su interface gráfica. 	
FLUJO BÁSICO	
<ol style="list-style-type: none"> 3. El sistema mostrará las opciones para seleccionar el estanque correspondiente, una vez hecho esto el reporte se generará automáticamente, dando como resultado una tabla con los valores de las mediciones realizadas durante la semana. 4. Adicionalmente hay un enlace llamado “Descargar reporte” el cual exportará el reporte en formato PDF para su almacenamiento. 	
FLUJO ALTERNATIVO	
En el punto 1	
<ul style="list-style-type: none"> • El sistema valida si se ha seleccionado el estanque correspondiente. 	

Fuente: Elaboración Propia

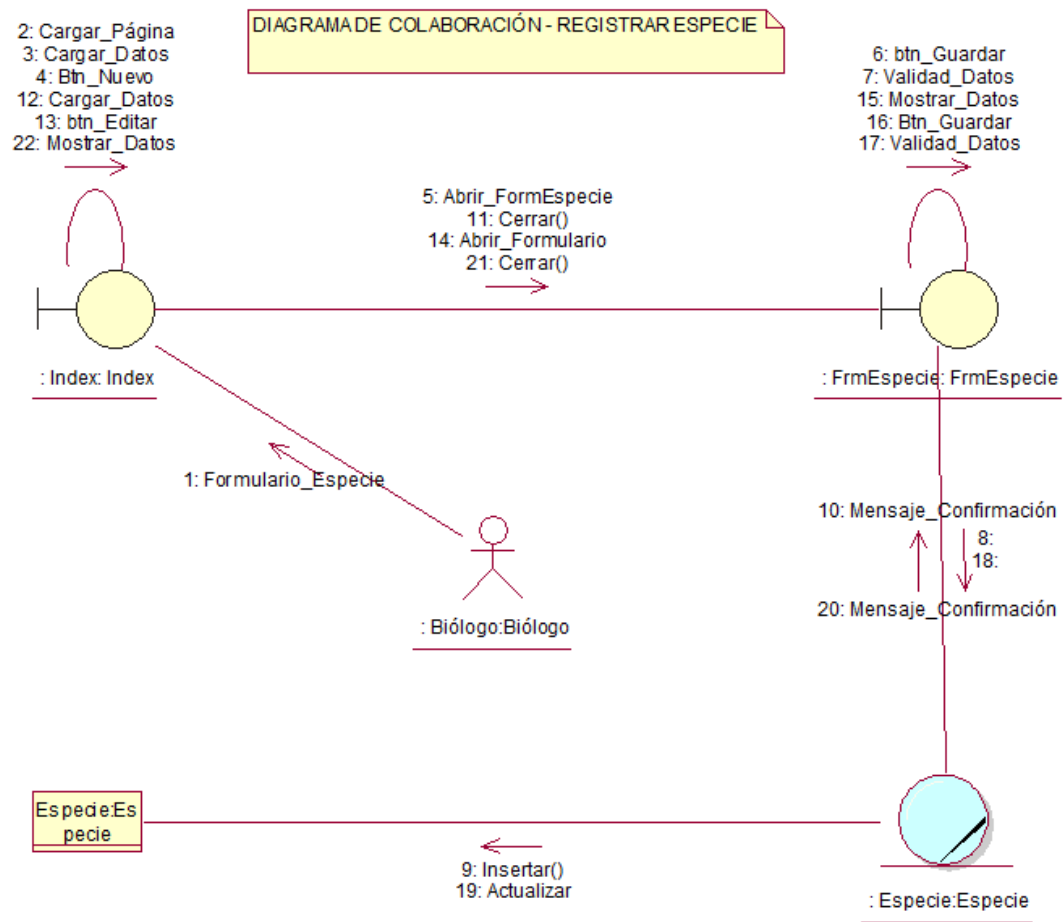
Tabla 7
Reporte Mensual de Mediciones

CASO DE USO	REPORTE MENSUAL DE MEDICIONES
ACTOR	ADMINISTRADOR
RESUMEN	
Este caso de uso resume la utilidad de los reportes mensuales de las mediciones realizadas en cada estanque de alevinos de la estación pesquera Ahuashiyacu.	
PRE CONDICIÓN	
<ul style="list-style-type: none"> • El administrador se ha logueado correctamente en el sistema para poder acceder a sus respectivas funciones. • El administrador ha seleccionado “Generar reporte mensual” de su interface gráfica. 	
FLUJO BÁSICO	
<ol style="list-style-type: none"> 5. El sistema mostrará las opciones para seleccionar el estanque correspondiente, una vez hecho esto el reporte se generará automáticamente, dando como resultado una tabla con los valores de las mediciones realizadas durante el mes. 6. Adicionalmente hay un enlace llamado “Descargar reporte” el cual exportará el reporte en formato PDF para su almacenamiento. 	
FLUJO ALTERNATIVO	

En el punto 1

- El sistema valida si se ha seleccionado el estanque correspondiente.

Fuente: Elaboración Propia

Diagramas de colaboración**Registrar y editar especie****Figura 16:** Diagrama de Colaboración Registrar y Editar Especie (Fuente: Elaboración Propia)

Registrar y Editar Estanque

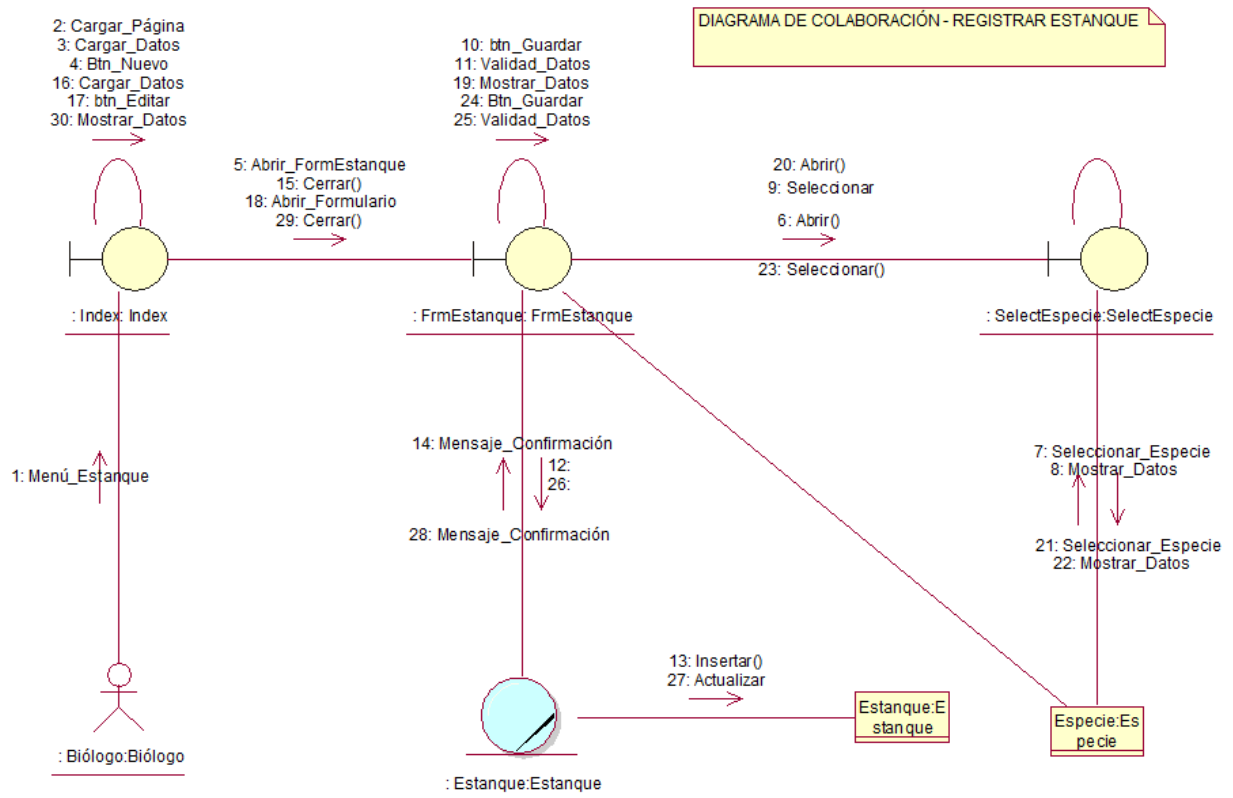


Figura 17: Diagrama de Colaboración Registrar y Editar Estanque (Fuente: Elaboración Propia)

Diagramas de secuencia Registrar y editar especie

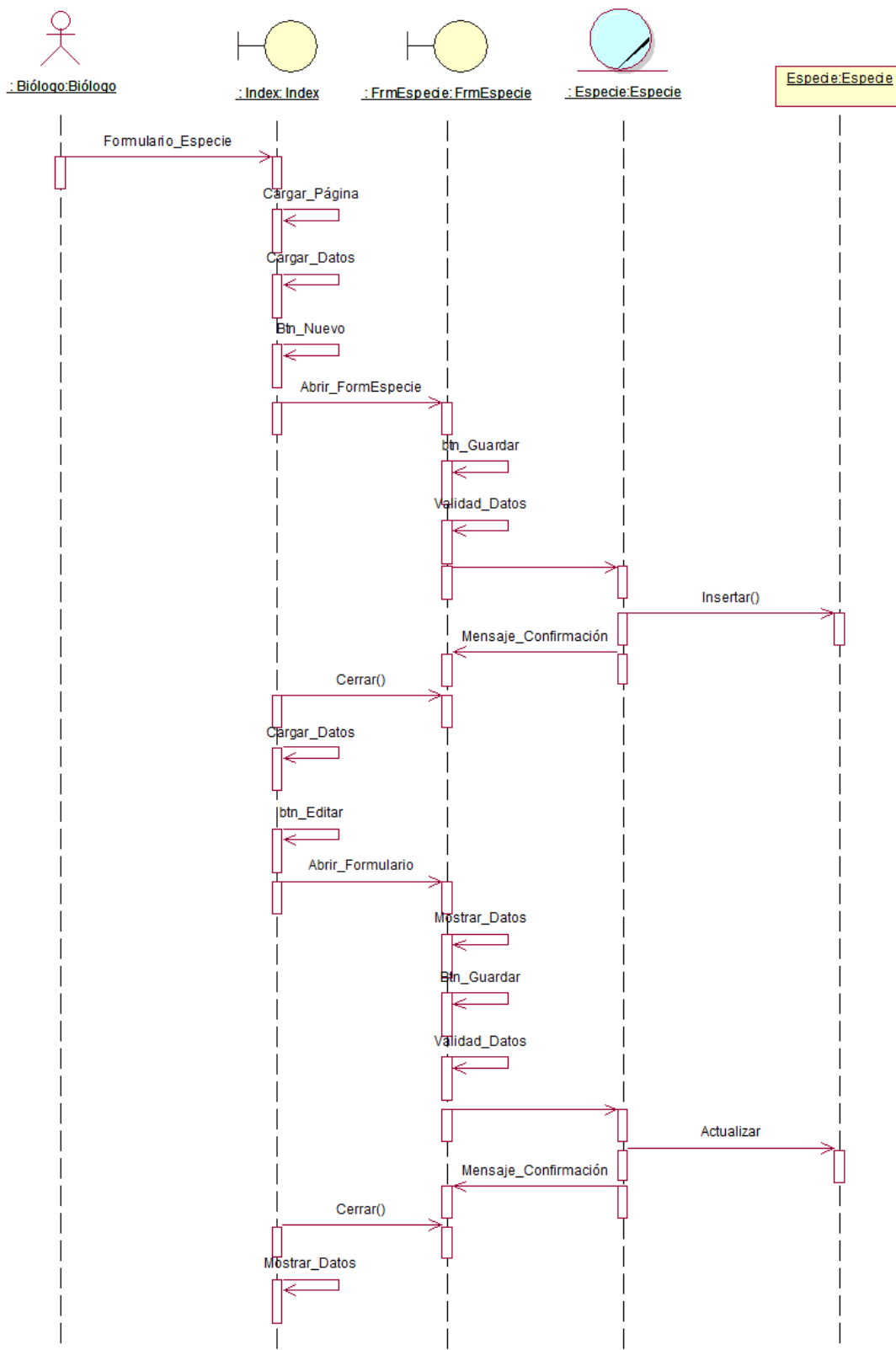


Figura 18: Diagrama de Secuencia Registrar y Editar Especie (Fuente: Elaboración Propia)

Registrar y Editar Estanque

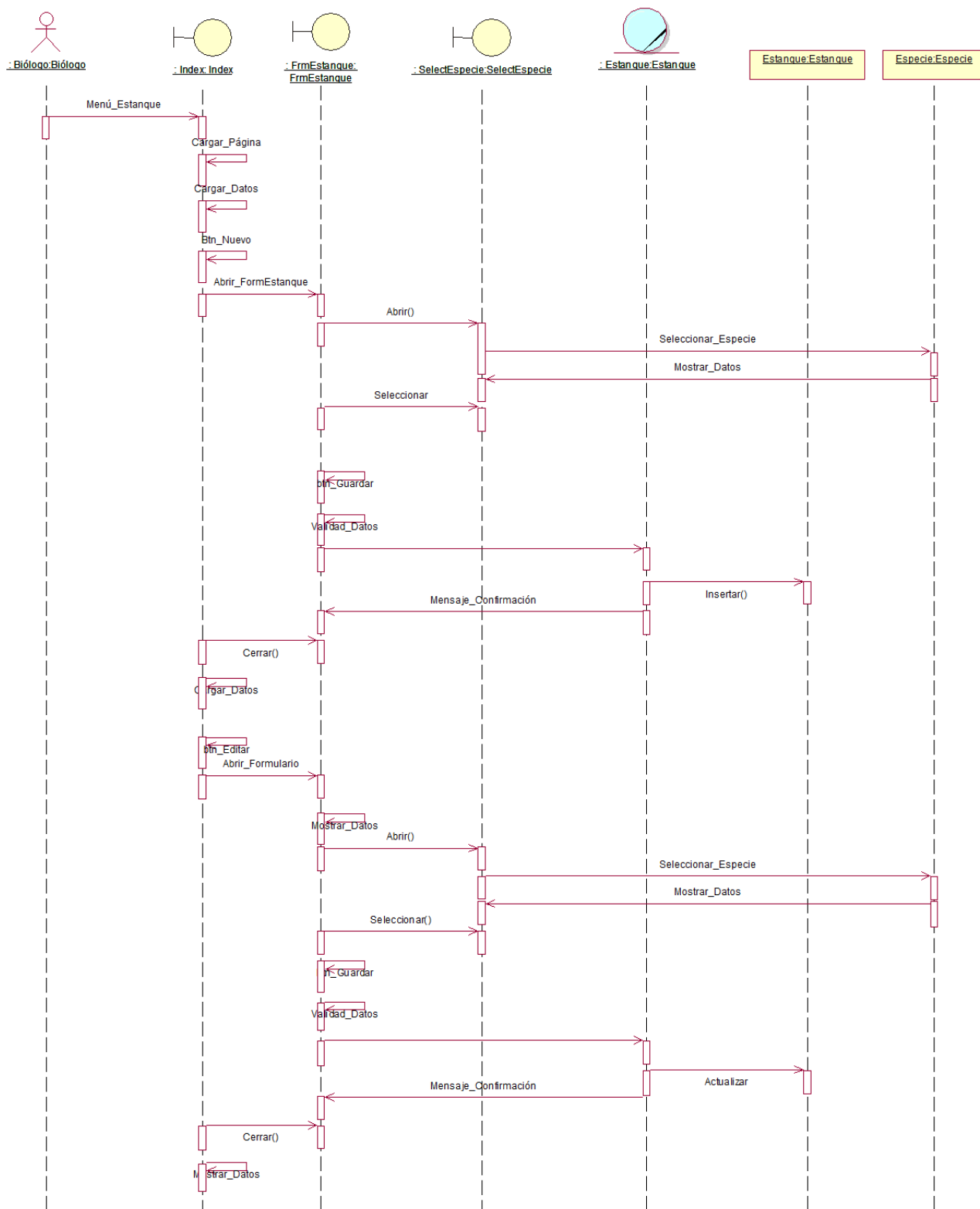


Figura 19: Diagrama de Secuencia Registrar y Editar Estanque (Fuente: Elaboración Propia)

Diagrama de clases

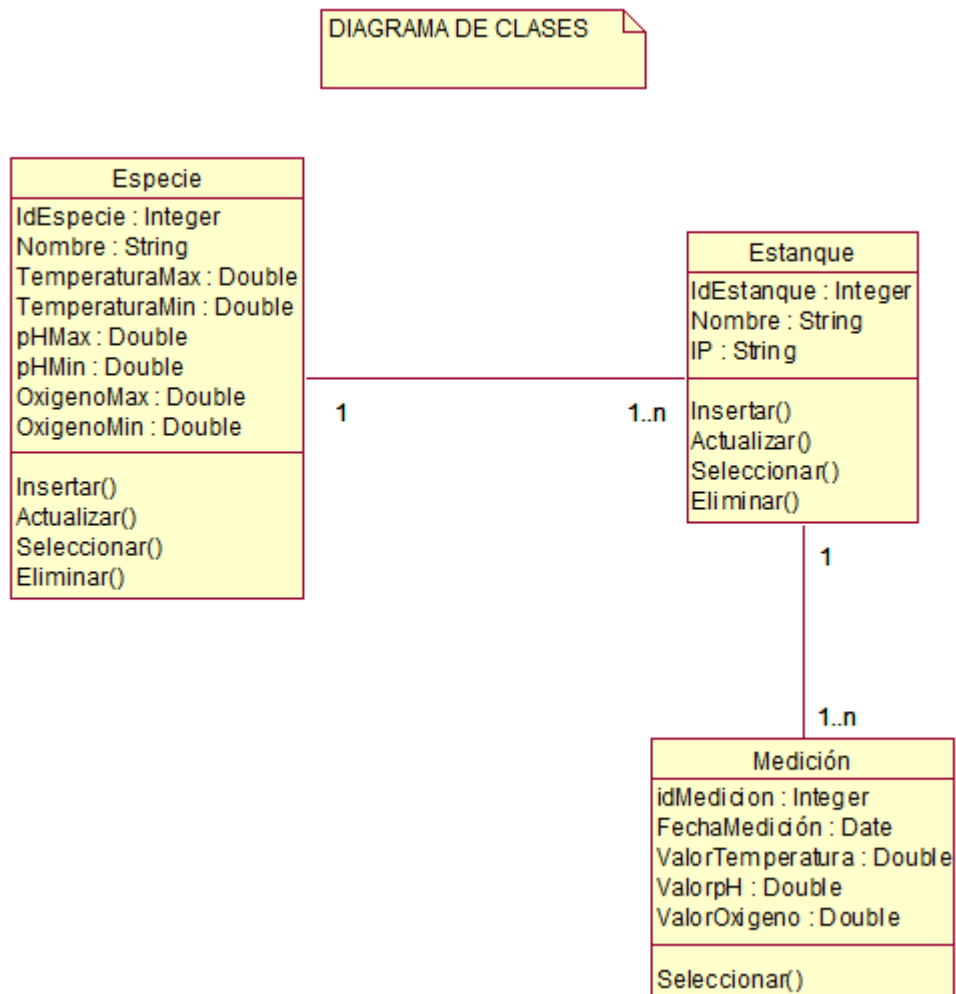


Figura 20: Diagrama de Clases (Fuente: Elaboración Propia)

Diccionario de datos:

Un diccionario de datos es un conjunto de definiciones que contienen las características lógicas y puntuales de los datos que se van a utilizar en el sistema que se programa, incluyendo nombre, descripción, alias y contenido. De esta manera se puede evitar posibles equivocaciones al realizar mantenimientos y modificaciones requeridas.

Tabla 8
Descripción de las tablas de la base de datos

Nombre de la tabla	Descripción de la tabla
Especie	Esta tabla es la encargada de registrar todas las especies que se crían dentro de la estación pesquera Ahuashiyacu.
Estanque	En esta tabla se registra los estanques que estarán siendo monitoreados por la red de sensores inalámbricos.
Mediciones	Esta tabla almacena todas las mediciones de los parámetros de la calidad del agua que son registrados por la red de sensores.

Fuente: Elaboración Propia

Diagrama del modelo de base de datos



Figura 21: Diagrama del Modelo de Base de Datos (Fuente: Elaboración Propia)

Detalle de las tablas de la red de sensores inalámbricos

Tabla 9
Detalle de la tabla especie

Key	Atributo	Tipo	Lg	Contenido	Validación
PK	idEspecie	Entero		Este campo contiene el identificador de la especie.	Autoincrementado En +1
	Nombre	Caracter	20	Este campo almacena el nombre de la especie.	
	TemperaturaMax	Decimal		Este campo contiene el valor máximo de Temperatura permitido para la especie.	

TemperaturaMin	Decimal	Este campo contiene el valor mínimo de Temperatura permitido para la especie.
pHMax	Decimal	Este campo contiene el valor máximo de pH permitido para la especie.
pHMin	Decimal	Este campo contiene el valor mínimo de pH permitido para la especie.
OxigenoMax	Decimal	Este campo contiene el valor máximo de Oxígeno disuelto permitido para la especie.
OxigenoMin	Decimal	Este campo contiene el valor mínimo de Oxígeno disuelto permitido para la especie.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10
Detalle de la tabla estanque

Key	Atributo	Tipo	Lg	Contenido	Validación
PK	idEstanque	Entero		Este campo contiene el identificador del estanque.	Autoincrementado En +1
	Nombre	Caracter		Este campo almacena el nombre del estanque.	
	IP	Caracter		Este campo contiene la dirección IP asignada al nodo sensor del estanque.	
FK	idEspecie	Entero		Este campo contiene el identificador de la especie.	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11
Detalle de la tabla mediciones

Key	Atributo	Tipo	Lg	Contenido	Validación
PK	idMedicion	Entero		Este campo contiene el identificador de la medición.	Autoincrementado En +1
	FechaMedición	DateTime		Este campo almacena la fecha en la que se realizó la medición.	

	ValorTemperatura	Decimal	Contiene el valor de la temperatura registrado por la red de sensores.
	ValorpH	Decimal	Contiene el valor del pH registrado por la red de sensores.
	ValorOxigeno	Decimal	Contiene el valor del Oxígeno Disuelto registrado por la red de sensores.
FK	IdEstanque	Entero	Contiene el identificador del estanque.

Fuente: Elaboración Propia

3.7. Sobre la implementación de la red de sensores

Para la implementación del nodo sensor se tomó en cuenta los siguientes criterios:

- 1) **Criterio 1:** Es necesario el envío de datos desde puntos físicos dispersos, lo que exige utilizar una red inalámbrica de sensores.
- 2) **Criterio 2:** El nodo sensor debe realizar las mediciones correspondientes a los parámetros de la calidad del agua a evaluar.
- 3) **Criterio 3:** Los componentes asociados al nodo sensor deben ser de muy bajo consumo de energía debido a que estos nodos de sensores módulos funcionarán solo con baterías.
- 4) **Criterio 4:** El nodo sensor debe permitir su configuración de manera local e inalámbrica.

Descripción de los componentes de hardware.

Los componentes de hardware utilizados para la creación del nodo sensor son los siguientes:

3.7.1. Sensor digital de temperatura DS18B20

El DS18B20 es un sensor digital de temperatura que utiliza el protocolo 1-Wire para comunicarse, este protocolo necesita solo un pin de datos para comunicarse y permite conectar más de un sensor en el mismo bus.



Figura 22: Sensor digital de temperatura DS18B20 (Fuente: NaylampMechatronics, 2016)

El sensor DS18B20 es fabricado por Maxim Integrated, el encapsulado de fábrica es tipo TO-92 similar al empleado en transistores pequeños. La presentación comercial más utilizada por conveniencia y robustez es la del sensor dentro de un tubo de acero inoxidable resistente al agua.

Con este sensor podemos medir temperatura desde los -55°C hasta los 125°C y con una resolución programable desde 9 bits hasta 12 bits.

Cada sensor tiene una dirección única de 64bits establecida de fábrica, esta dirección sirve para identificar al dispositivo con el que se está comunicando, puesto que en un bus 1-wire pueden existir más de un dispositivo. El sensor tiene dos métodos de alimentación: (NaylampMechatronics, 2016)

Alimentación a través del pin de datos:

De esta forma, el sensor internamente obtiene energía del pin de datos cuando este se encuentra en un estado alto y almacena carga en un condensador para cuando la línea de datos esté en un estado bajo, a esta forma de obtener energía se le llama “Parasite Power” y se usa cuando el sensor debe conectarse a grandes distancias o en donde el espacio es limitado, puesto que de esta forma no se necesita la línea de VDD. El diagrama para su conexión debe ser de la siguiente forma:

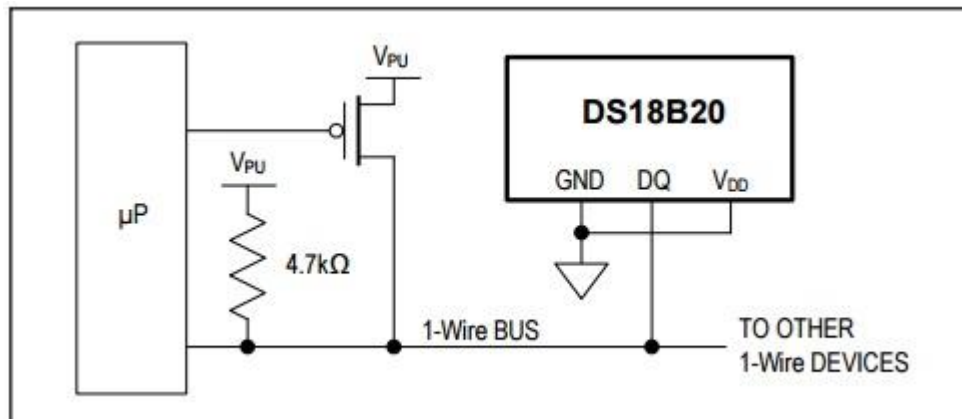


Figura 23: Alimentación a través del pin de datos (Fuente: NaylampMechatronics, 2016)

Notar que el pin GND y VDD están ambos conectados a GND, esto es indispensable para que se active el Parasite Power. EL MOSFET en la imagen es necesario para cuando se realicen conversiones de temperatura o copiar datos desde la memoria de circuito de la EEPROM, en estas operaciones la corriente de operación aumenta y si sólo se suministra energía a través de la resistencia pueden causar caídas de voltaje en el condensador interno.

Alimentación usando una fuente externa:

De esta forma el sensor se alimenta a través del pin VDD, de esta forma el voltaje es estable e independiente del tráfico del bus 1-wire. El diagrama de conexión es de la siguiente forma:

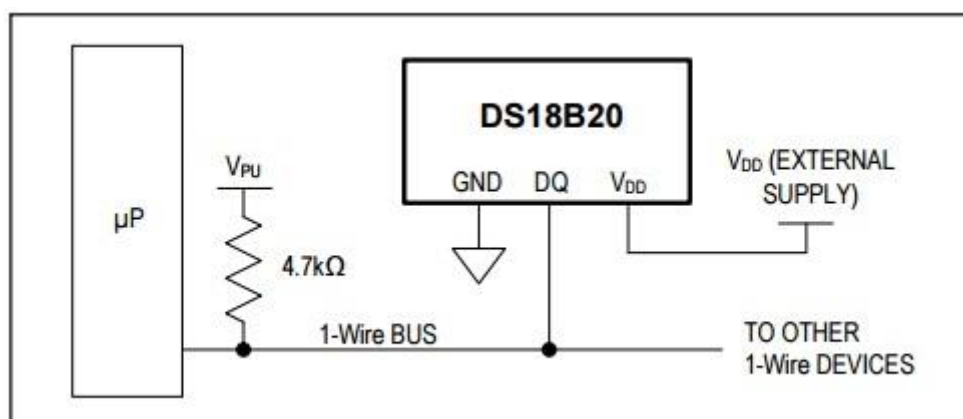


Figura 24: Alimentación usando una fuente externa (Fuente: NaylampMechatronics, 2016)

Esta forma de alimentación es la más recomendada.

Otras características del sensor de temperatura DS18B20:

Además de medir la temperatura, el DS18B20 incorpora una memoria de 64-bit (equivalente a 8 bytes) para almacenar el identificador o dirección única de cada sensor.

Esta dirección única es necesaria dentro del bus 1-Wire para identificar cada uno de los sensores de temperatura DS18B20 conectados al bus de comunicación.

Gracias a que utiliza este tipo de comunicaciones, se consiguen dos cosas. Por un lado, robustez en la transmisión de los datos ya que trabaja con datos digitales, mucho menos sensibles a los efectos adversos del ruido que las señales analógicas. Por otro lado, permite conectar muchos sensores de temperatura con un único pin digital.

Internamente tiene otro tipo de memoria que sirve para diferentes cosas. Utiliza el sistema de verificación de redundancia cíclica CRC para la detección de errores en los datos. El código CRC se almacena en la memoria.

También almacena la temperatura obtenida y dispone de dos alarmas que se disparan si la temperatura es mayor o menor que un umbral de temperatura máxima o temperatura mínima. (Hernández, 2018)

Conexiones del DS18B20 con Arduino:

Notar que es necesario poner una resistencia Pull-Up de 4.7K y se puede usar un protoboard para facilitar la conexión. (NaylampMechatronics, 2016)

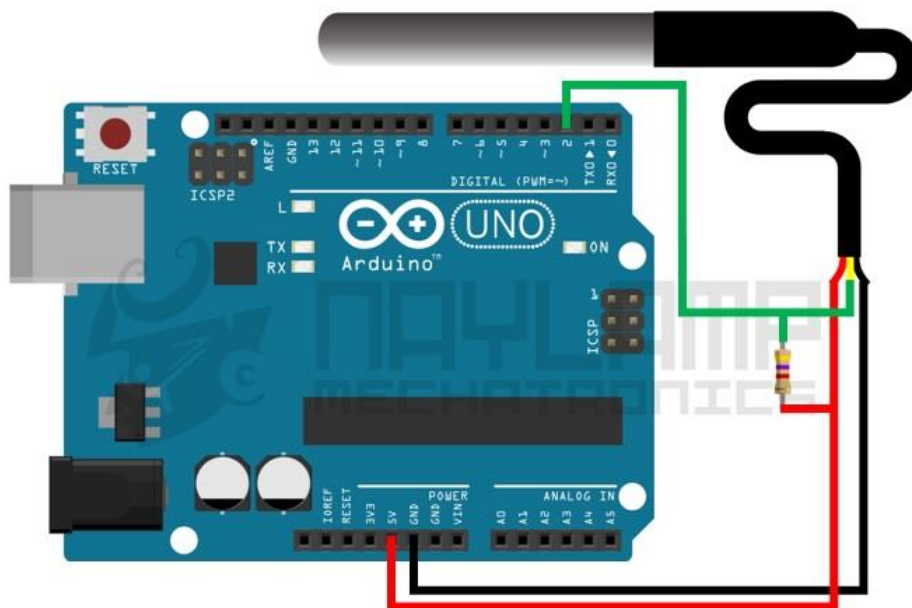


Figura 25: Conexiones del DS18B20 con Arduino (Fuente: NaylampMechatronics, 2016)

3.7.2. Módulo sensor pH

Está especialmente diseñado para trabajar con los controladores de arduino y ya viene con cables para su posterior conexión. Además su bajo precio lo convierte en una opción perfecta para este proyecto, en el que uno de los principales valores que se intentan buscar es el bajo precio, explotando el hecho de que no requerimos una gran precisión en las medidas. (Vidarte, 2016)

Como se puede apreciar en la siguiente figura, la sonda está compuesta por:

- El Sensor de pH que proporciona al microcontrolador una señal analógica directamente proporcional a la medición del pH a través de un conector BNC.
- Un circuito acondicionador que transforma la medida a un valor en el rango del microcontrolador. El circuito acondicionador se puede conectar con el cable proporcionado a cualquier entrada analógica del arduino, para así poder leer el valor del pH de manera sencilla, que va a estar directamente relacionado con la tensión que lee la placa. (Vidarte, 2016)

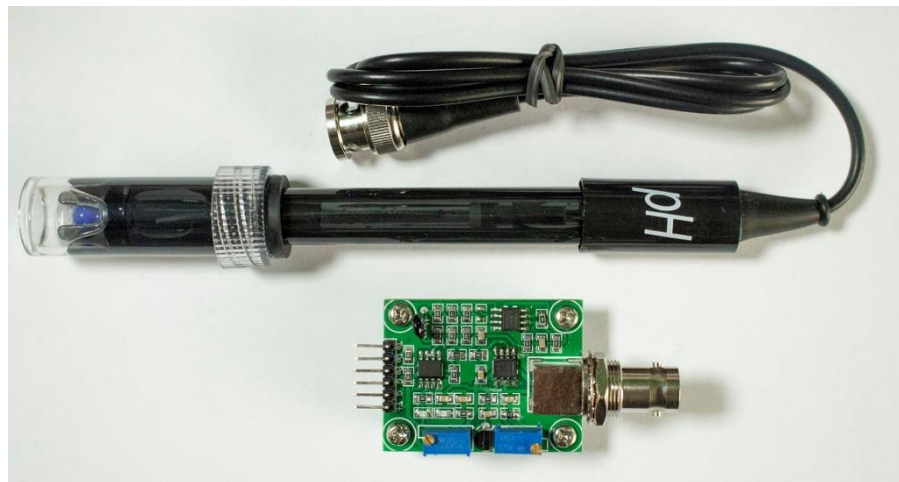


Figura 26: Módulo Sensor pH (Fuente: Elaborado por el Investigador)

Especificaciones:

- Tensión de funcionamiento 5.0v lo que es perfecto para trabajar con Arduino (salvo Arduino Due que funciona en 3.3v).
- Tamaño del circuito 43mm x 3mm, lo que viene bien al ser un dispositivo pequeño, para el prototipo final.
- Rango de medida del pH: 0-14, por lo que cubre todos los valores de la escala de medición del pH del agua.

- Rango de temperatura soportada 0-60 °C, lo que le confiere versatilidad en su utilización. La temperatura en un pozo situado en los países de interés para nuestra aplicación va a estar siempre dentro de ese rango.
- Precisión de las medidas. 0.1 pH a 25C. A la temperatura media de funcionamiento que esperamos tener en las aguas de interés, el sensor tiene una precisión adecuada ya que en las reglamentaciones de los países que nos conciernen el umbral de potabilidad en función del pH viene expresado con una resolución de 0.1 como máximo.
- Tiempo de respuesta inferior a 1 minuto, lo que es adecuado para hacer mediciones secuenciales. Este corto tiempo de respuesta es beneficioso desde el punto de vista del consumo del dispositivo, ya que no tendrá que estar despierto más que una pequeña parte del tiempo. Si el tiempo de respuesta fuese de varios minutos, se debería dar más tiempo al sensor para captar las posibles diferencias entre medidas a la hora de detectar una contaminación del agua.
- Potenciómetro para ajustar la ganancia. De esta manera nos aseguramos que la tensión que lee el microcontrolador sea acorde con su rango de funcionamiento. (PH meter, s.f.)

Esquema del módulo sensor de pH

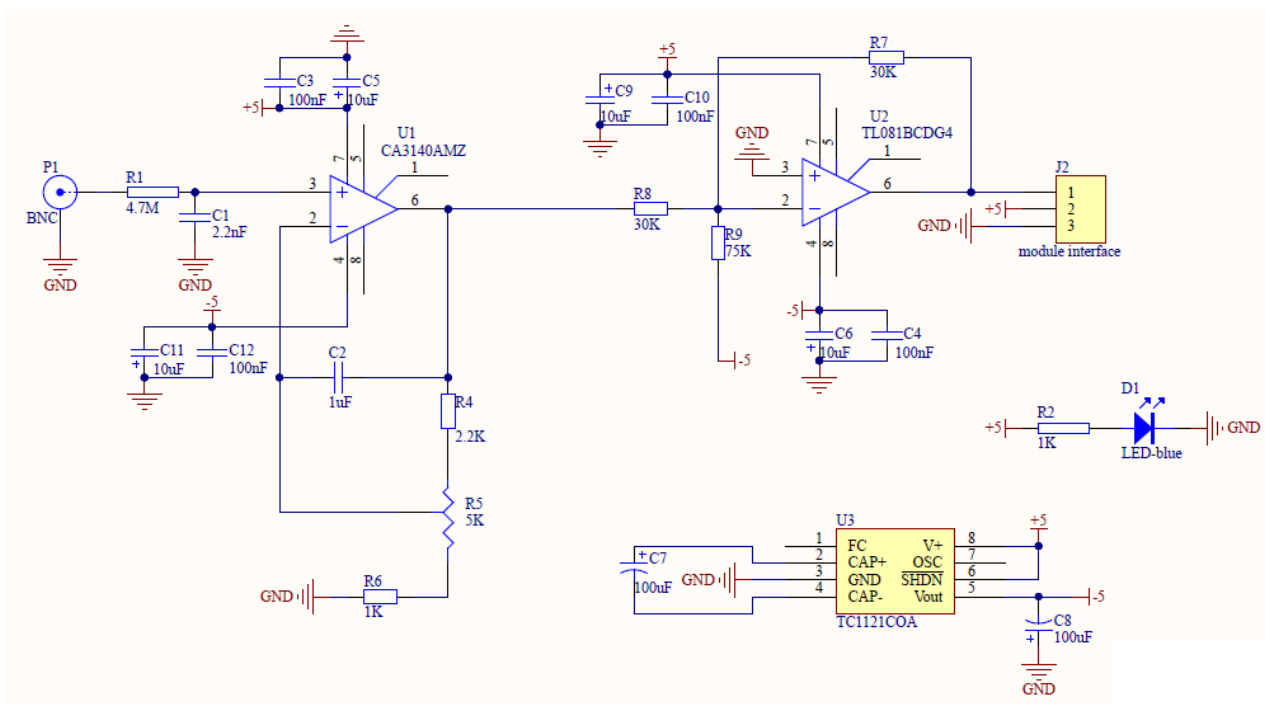


Figura 27: Esquema del módulo sensor de pH (Fuente: PH meter, s.f.)

3.7.3. Sensor de oxígeno disuelto de Atlas Scientific

El sensor de Oxígeno Disuelto de Atlas Scientific permite una rápida solución para diseños de bajo costo sin que se sacrifique la operatividad del diseño, además de ser un sistema embebido ya que el sensor consta de una sonda de Oxígeno Disuelto de membrana HDPE y un circuito que se encarga de la adaptación de la señal analógica proveniente de la sonda y la entrega al sistema general que se encargará de monitorear dichas mediciones, para el presente caso la placa electrónica programable Arduino MEGA 2560. (Rivera & Yopez, 2015).

La sonda consta de un tubo con una varilla de zinc (ánodo) sumergido en un electrolito. El elemento de detección es la membrana de HDPE comprimida contra un disco de plata (cátodo). (Rivera & Yopez, 2015).

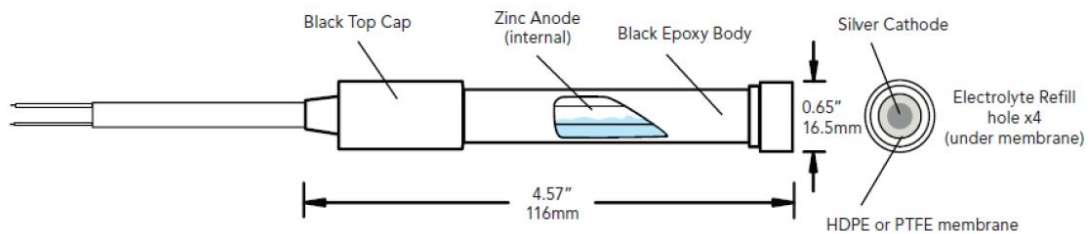


Figura 28: Estructura interna y externa de la sonda de Oxígeno disuelto (Fuente: AtlasScientific, 2015)

Cableado del Sensor de Oxígeno Disuelto.

El sensor de oxígeno disuelto de Atlas Scientific nos presenta dos formas de hacer el cableado y éstas están relacionadas a las formas de comunicación con las que este sensor puede operar. El modo UART (el cual utilizaremos para este proyecto) y el modo I2C. A continuación, se muestra el cableado para el modo UART, proporcionado por Atlas Scientific.

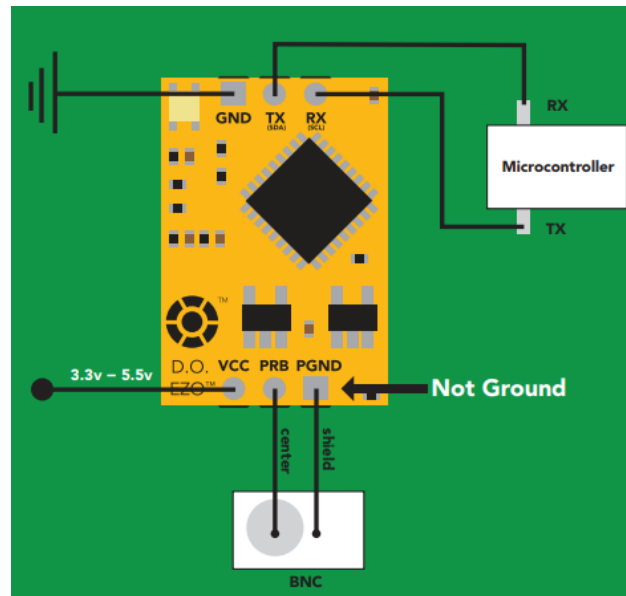


Figura 29: Diagrama de cableado del sensor de Oxígeno Disuelto (Fuente: AtlasScientific, 2015)

Circuito EZO para medición de Oxígeno Disuelto

El circuito para medición de Oxígeno Disuelto de Atlas Scientific brinda una gran estabilidad y precisión durante la medición de dicho valor al trabajar en conjunto con la sonda de la misma marca, facilitando el diseño del prototipo al no tener que efectuar la conversión de la señal analógica entregada por la sonda a un valor digital y aumentar una posible carga en el procesamiento de la placa electrónica Arduino.

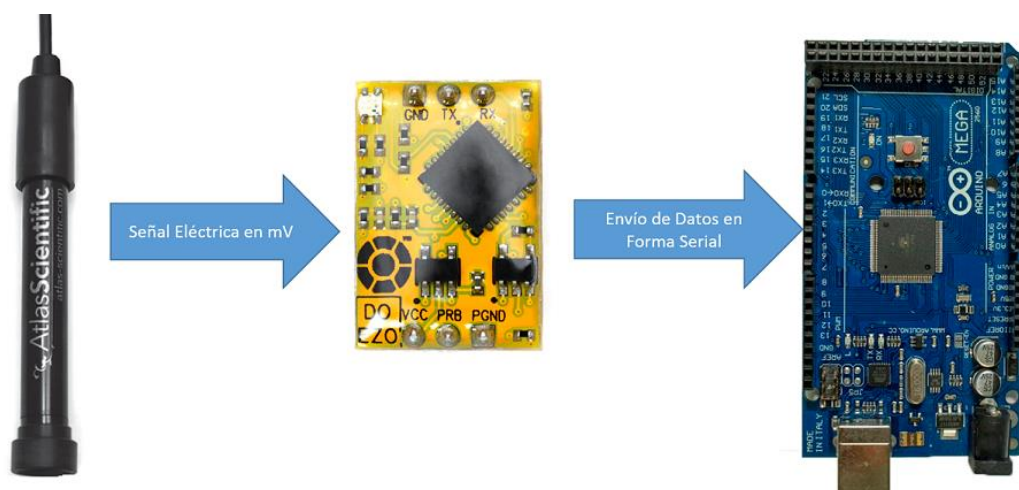


Figura 30: Comunicación entre el Sensor - Circuito EZO – Arduino (Fuente: Elaborado por el investigador)

3.7.4. Arduino Mega 2560.

Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores. El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador, si bien tienen la posibilidad de hacerlo y comunicar con diferentes tipos de software. (Arduino, 2015).

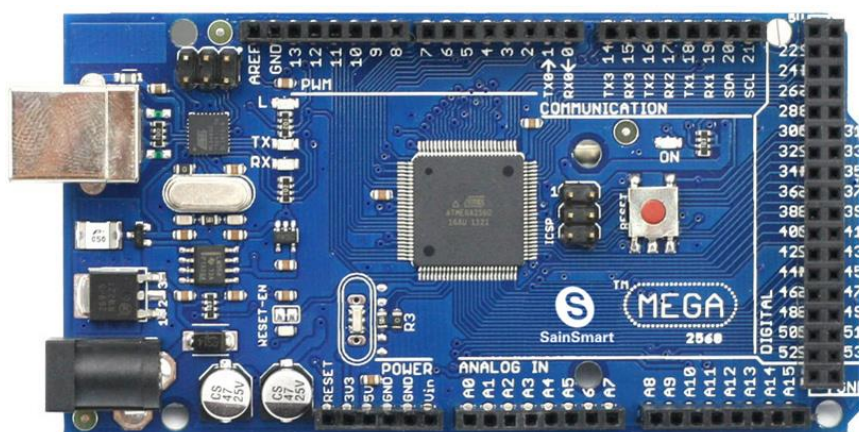


Figura 31: Arduino Mega 2560 (Fuente: Arduino, 2016)

Características básicas del Arduino Mega 2560

Tabla 12
Características del Arduino Mega 2560

Microcontrolador	ATmega2560
Tensión de trabajo	5V
Tensión de entrada (recomendada)	7-12V
Tensión de entrada (límite)	6-20V
Pines Digitales I/O	54 (de los cuales 15 proporcionan salida PWM)
Pines de entradas Analógicas	16
DC Corriente por Pin I/O	20 mA
DC Corriente por Pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	256 KB de los cuales 8 KB se usan por el bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad del reloj	16 MHz

Largo	101.52 mm
Ancho	53.3 mm
Peso	37 g

Fuente: (Arduino, 2016)

3.7.5. Shield Ethernet W5100

El W5100 es un controlador de Ethernet fabricado por Wiznet especialmente diseñado para aplicaciones embebidas. Podemos emplear este controlador con un procesador como Arduino para implementar comunicación por internet.

El W5100 está diseñado para facilitar la implementación de conectividad a internet sin necesidad de un SO, lo que lo hace interesante para MCU y aplicaciones de IoT.

Incluye una pila de TCP/IP por hardware y buffer interno de 16Kbytes para Tx/Rx. Esto permite liberar de estas tareas al procesador, siendo una de sus principales ventajas frente a otros controladores de Ethernet como el ENC28J60.

Admite velocidades de 10/100 Mbits/s, soportando modos Full-Duplex y Half-Duplex con detección y corrección automática de la polaridad. Cumple con las especificaciones IEEE 802.3 10BASE-T y 802.3u 100BASE-TX. La pila TCP/IP soporta conexiones TCP, UDP, IPv4, ICMP, ARP, IGMP and PPPoE, y hasta 4 conexiones simultáneas. (Llamas, 2017)



Figura 32: Shield Ethernet W5100 (Fuente: Llamas, 2017)

Con este shield se abren innumerables opciones para controlar Arduino a través de Internet o de una red de área local. Domótica, automatización, Internet de las cosas (IoT), control y monitoreo remoto, etc, son algunos de los campos donde se puede utilizar este shield. Es compatible con el Arduino Uno y Mega, además las librerías

Ethernet y SD vienen incluidas en el IDE de Arduino, por lo que no hay necesidad de descargarlas. (NaylampMechatronics, 2016).

Especificaciones Técnicas:

- Voltaje de Operación: 5V DC.
- Chip Ethernet: Wiznet W5100.
- Velocidad Ethernet: 10/100 Mbps.
- Interface: SPI.
- Compatible con Arduino Uno, Mega, Leonardo.
- Lector MicroSD Card.

Esquema de montaje con Arduino.

La conexión dependerá del modelo que estemos empleando. En el caso de emplear un Shield de Ethernet con W5100 la conexión es inmediata. Únicamente tenemos que acoplarlo a Arduino Uno o Mega. (Llamas, 2017)



Figura 33: Esquema de montaje Shield Ethernet y Arduino Mega (Fuente: Llamas, 2017)

3.7.6. Shield GPRS/GSM A6

Este Shield A6 GPRS / GSM utiliza el módulo A6 GPRS /GSM más nuevo, A6 es un chip de bajo costo, pero eficiente. Con su tamaño ultra pequeño, bajo consumo de energía y amplio rango de temperatura de operación, A6 es una solución ideal para aplicaciones M2M, automoción, industrial y PDA, seguimiento personal, monitoreo ambiental de energía, POS inalámbrico, medición inteligente y otras aplicaciones M2M. Para proporcionar servicios completos de mensajería de texto GSM / GPRS, voz y transmisión de datos. Diseñamos este Shield A6 para que funcione con Arduino. (Electronica.com.ve, s.f.)

Este Shield para Arduino incluye todo lo necesario para utilizar el módulo GSM incluido. Permite enviar mensajes de texto SMS de forma fácil y conectarte mediante GSM/GPRS con funcionalidades de mediante una placa Arduino.

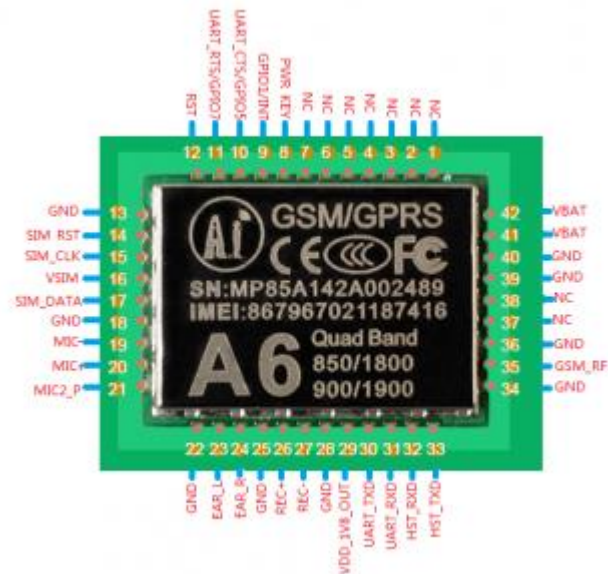


Figura 34: Pines Shield GPRS/GSM A6 (Fuente: E lectronica.com.ve, s.f.)

Cableado con Arduino

Para empezar, se conecta el pin U_TxD y U_RxD en el módulo al pin digital #3 y #2 en Arduino, ya que se usa el software serial para hablar con el módulo.

Luego se conecta el pin VCC en el módulo a la fuente de alimentación externa clasificada 5V 2A. No se debe conectar este pin a la fuente de alimentación de 5V en Arduino, ya que el módulo no funcionará debido a la falta de corriente de alimentación. Finalmente, se conecta la antena, se inserta la tarjeta Micro SIM completamente activada en el socket. (Last Minute Engineers, 2018)

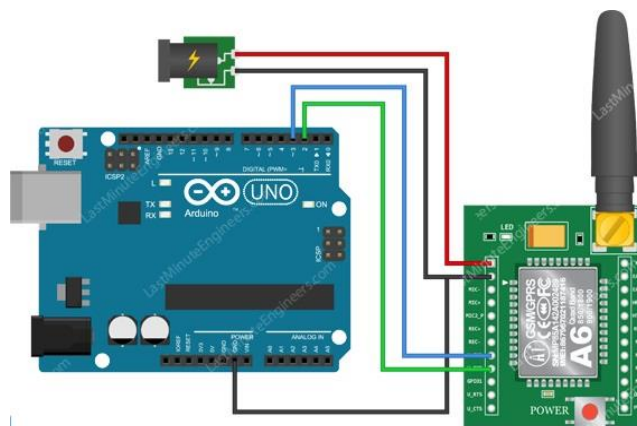


Figura 35: Cableado Shield GPRS/GSM A6 y Arduino (Fuente: E lectronica.com.ve, s.f.)

3.7.7. Diseño del nodo sensor

Para el diseño del nodo sensor se utilizaron los componentes antes mencionados:

- Arduino Mega 2560.
- Shield Ethernet
- Shield GSM A6.
- Sensor de Oxígeno Disuelto.
- Sensor de pH.
- Sensor de Temperatura.

El esquema a continuación muestra en detalle las conexiones que se realizadas en el prototipo de la red de sensores.

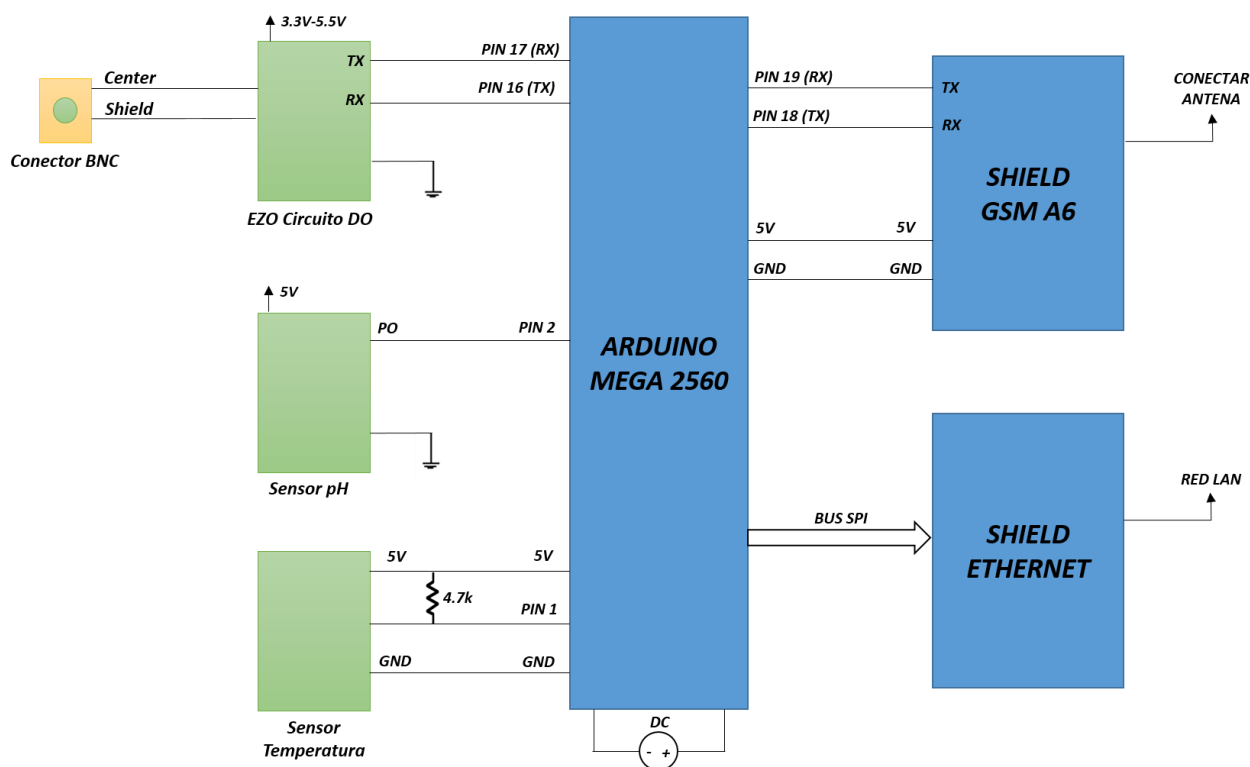


Figura 36: Esquema del nodo sensor (Fuente: Elaborada por el investigador)

3.7.8. Diseño general de la red de sensores Inalámbricos.

El esquema general de la red de sensores está conformado por dos bloques principales, la plataforma de software (módulo web de monitoreo) y el módulo de hardware (Arduino y los sensores). Ambos bloques están interconectados a través de una red inalámbrica local, la cual sirve de base para la comunicación de datos. La siguiente imagen nos ayuda a comprender de manera gráfica lo expuesto anteriormente.

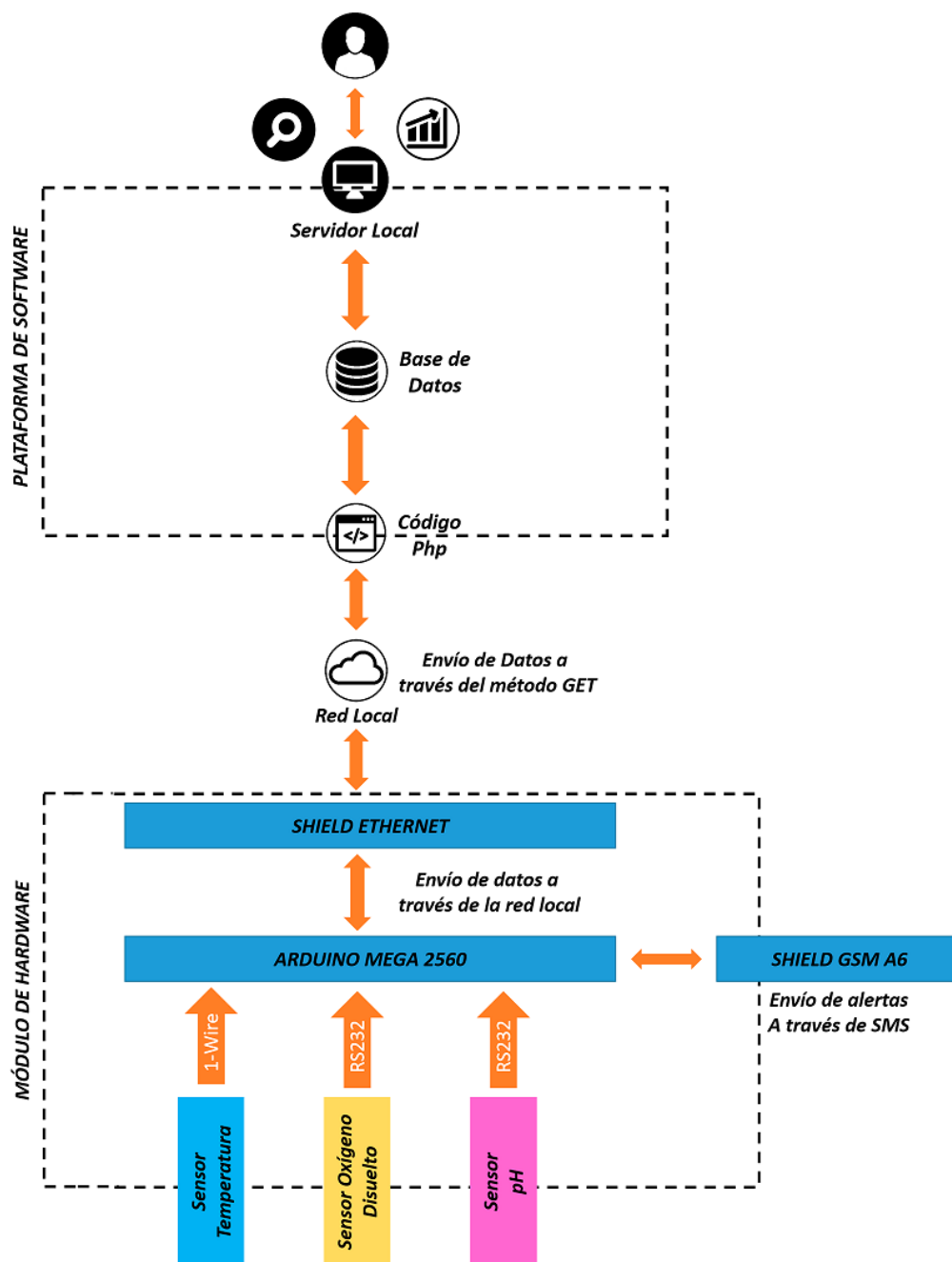


Figura 37: Diseño general de la red de sensores Inalámbricos (Fuente: Elaborada por el investigador)

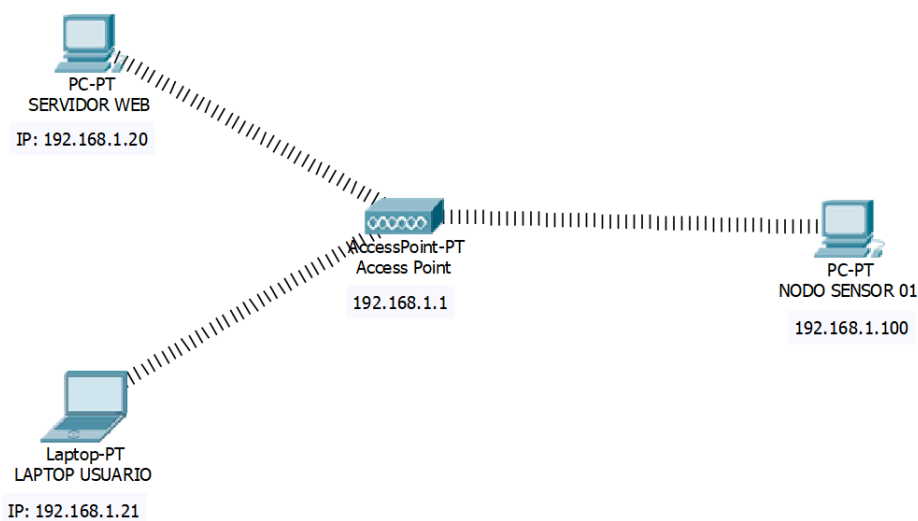


Figura 38: Diagrama de la red de área local inalámbrica (Fuente: Elaborada por el investigador)

3.8. Prueba de hipótesis

Una prueba de hipótesis es una regla que especifica si se puede aceptar o rechazar una afirmación acerca de una población dependiendo de la evidencia proporcionada por una muestra de datos.

Una prueba de hipótesis examina dos hipótesis opuestas sobre una población: la hipótesis nula y la hipótesis alternativa. La hipótesis nula es el enunciado que se probará. Por lo general, la hipótesis nula es un enunciado de que "no hay efecto" o "no hay diferencia". La hipótesis alternativa es el enunciado que se desea poder concluir que es verdadero de acuerdo con la evidencia proporcionada por los datos de la muestra.

Con base en los datos de muestra, la prueba determina si se puede rechazar la hipótesis nula. Usted utiliza el valor p para tomar esa decisión. Si el valor p es menor que el nivel de significancia (denotado como α o alfa), entonces puede rechazar la hipótesis nula. (Minitab, 2017)

Tabla de resultados de la encuesta aplicada en la estación pesquera Ahuashiyacu.

Tabla 13

Resumen de resultados de encuesta

SEMANAS	GRUPO DE CONTROL	GRUPO EXPERIMENTAL
SEMANA 1	9	48
SEMANA 2	6	47
SEMANA 3	7	50
SEMANA 4	11	46
TOTAL	33	191
PROMEDIO	8,25	47,75
VARIANZA	3.688	2,188

Fuente: Elaborado por el investigador

3.8.1. Formulación

H_0 : Hipótesis Nula $H_0 : \mu_{GC} = \mu_{GE}$

H_1 : Hipótesis Alterna $H_0 : \mu_{GC} \neq \mu_{GE}$

3.8.2. Nivel de significación

$$\alpha = 0.05$$

3.8.3. Estadística de prueba

$$\mu_0 = \frac{Y_{GC} - Y_{GE}}{\sqrt{SP^2 \left(\frac{1}{N_{GC}} + \frac{1}{N_{GE}} \right)}}$$

Y_{GC} = Media del Grupo De Control

Y_{GE} = Media del Grupo Experimental

N_{GC} = Número de encuestados para el Grupo de Control

N_{GE} = Número de encuestados para el Grupo Experimental

3.8.4. Determinación de la región crítica

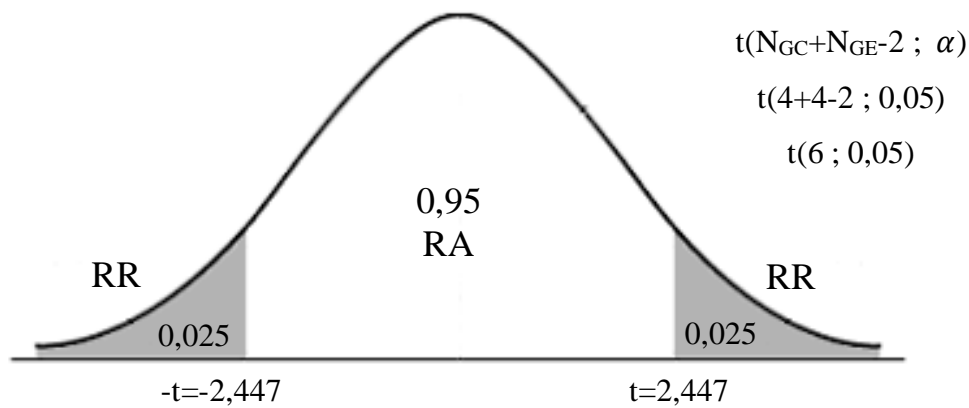


Figura 39: Región Crítica (Fuente: Elaborado por el investigador)

Regla de Decisión:

Aceptar H_0 si $\mu_0 \in RA$

Rechazar H_0 si $\mu_0 \notin RA$

3.8.5. Determinar el valor experimental

$$\mu_0 = \frac{Y_{GC} - Y_{GE}}{\sqrt{SP^2 \left(\frac{1}{N_{GC}} + \frac{1}{N_{GE}} \right)}}$$

$$\mu_0 = \frac{8,25 - 47,75}{\sqrt{3,917 \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} \right)}}$$

$$\mu_0 = \frac{-39,5}{\sqrt{3,917 \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} \right)}}$$

$$\mu_0 = \frac{-39,5}{1,399}$$

$$\mu_0 = -28,234$$

3.8.6. Decisión:

Rechazar la H_0 porque $\mu_0 \notin RA$ y aceptar H_1 .

3.8.7. Conclusión:

Por Tanto, concluimos que si se mejoró el monitoreo de la calidad del agua en los estanques de alevinos de tilapia en la Estación Pesquera Ahuashiyacu.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Según la prueba de hipótesis realizada anteriormente podemos rescatar que la implementación de la red de sensores en los estanques de alevinos de tilapia, ayudan de una manera muy significativa en el monitoreo de la calidad del agua de los mismos.

El siguiente grafico nos ayudará a comprender con mayor facilidad lo antes mencionado.

Tabla 14

Tabla resumen del Monitoreo de la calidad del agua

VARIABLE	MEDICIÓN		(Puntaje)
MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA	GRUPO DE CONTROL	Media	8.25
		N	4
	GRUPO EXPERIMENTAL	Varianza	3.6875
		Media	47.75
		N	4
		Varianza	2.1875

Fuente: Elaborado por el investigador

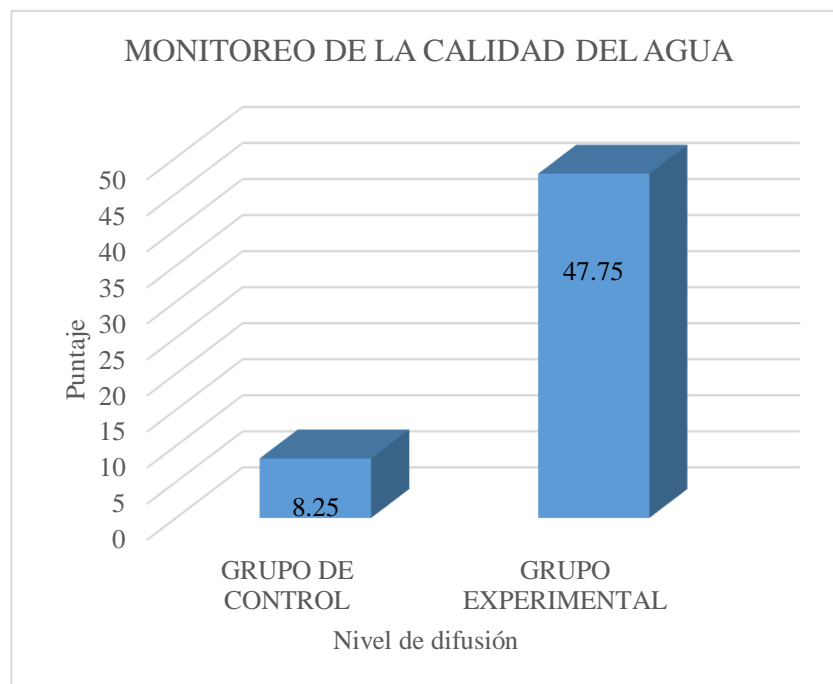


Figura 40: Monitoreo de la calidad del agua (Fuente: Elaborado por el investigador)

En la gráfica se puede observar las calificaciones promedio que obtuvieron cada uno de los dos grupos (Grupo de Control y Grupo Experimental). El grupo de Control sólo obtuvo un puntaje promedio de 8,25 mientras que la puntuación promedio del Grupo experimental fue de 47,75.

Una amplia diferencia que muestra el impacto que tiene el uso de la red de sensores en el monitoreo de la calidad del agua en los estanques de alevinos de la estación pesquera Ahuashiyacu.

Si tomamos la puntuación promedio obtenida por el grupo de control como un 100%, observaremos que la puntuación obtenida por el grupo experimental asciende a un 579%, teniendo como resultado final que hubo una mejora en el monitoreo de la calidad del agua en un 479% del valor inicial.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El periodo de ejecución del proyecto fue de 4 semanas tanto para el grupo experimental y el grupo de control. Los siguientes cuadros y gráficos fueron obtenidos de los resultados de la encuesta realizada al encargado de la estación pesquera Ahuashiyacu.

Las alertas representan a la cantidad de veces en las que el método de monitoreo utilizado alertó, al encargado de la estación pesquera, que los parámetros de la calidad del agua estaban fuera de los rangos permitidos.

La valoración es el puntaje con el que calificó el encuestado a la información obtenida de las alertas. Esta valoración refleja la confiabilidad, la rapidez y el grado de importancia que el encargado encuentra en dicha información.

Sobre el monitoreo de la calidad del agua

Tabla 15

Cuadro resumen de las alertas y valoración del grupo de control

GRUPO DE CONTROL		
SEMANA	ALERTAS	VALORACIÓN
SEMANA 1	1	8
SEMANA 2	0	6
SEMANA 3	0	7
SEMANA 4	2	9
TOTAL	3	7.5

Fuente: Elaborado por el investigador

El cuadro resumen de alertas y valoración de la información de alertas del grupo de control refleja que el total de alertas emitidas durante las 4 semanas fue 3 y que el promedio de la valoración de la información obtenida durante las 4 semanas fue 7,5.

Tabla 16

Cuadro resumen de las alertas y valoración del grupo experimental

GRUPO EXPERIMENTAL		
SEMANAS	ALERTAS	VALORACIÓN
SEMANA 1	30	18
SEMANA 2	28	19

SEMANA 3	31	19
SEMANA 4	27	19
TOTAL	116	18.75

Fuente: Elaborado por el investigador

El cuadro resumen de alertas y valoración de la información de alertas del grupo experimental refleja que el total de alertas emitidas durante las 4 semanas fue 116 y que el promedio de la valoración de la información obtenida durante las 4 semanas fue 18,75. De la información mostrada anteriormente podemos hacer las siguientes comparaciones graficas:

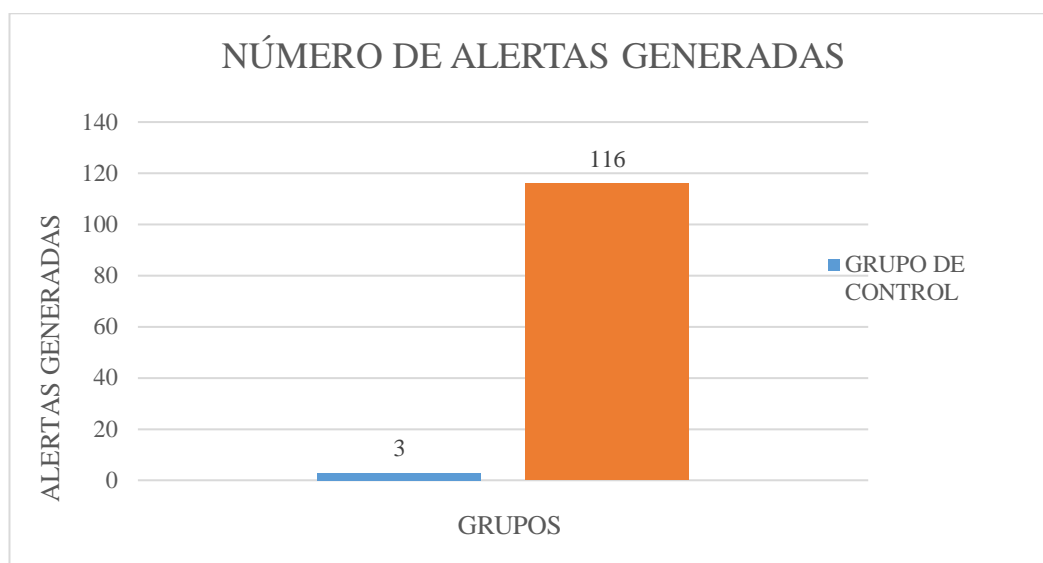


Figura 41: Número de alertas generadas (Fuente: Elaborado por el investigador)

Se puede apreciar la amplia diferencia en el número de alertas generadas por el grupo de control (sin el uso de la red de sensores) y el grupo experimental (con el uso de la red de sensores).

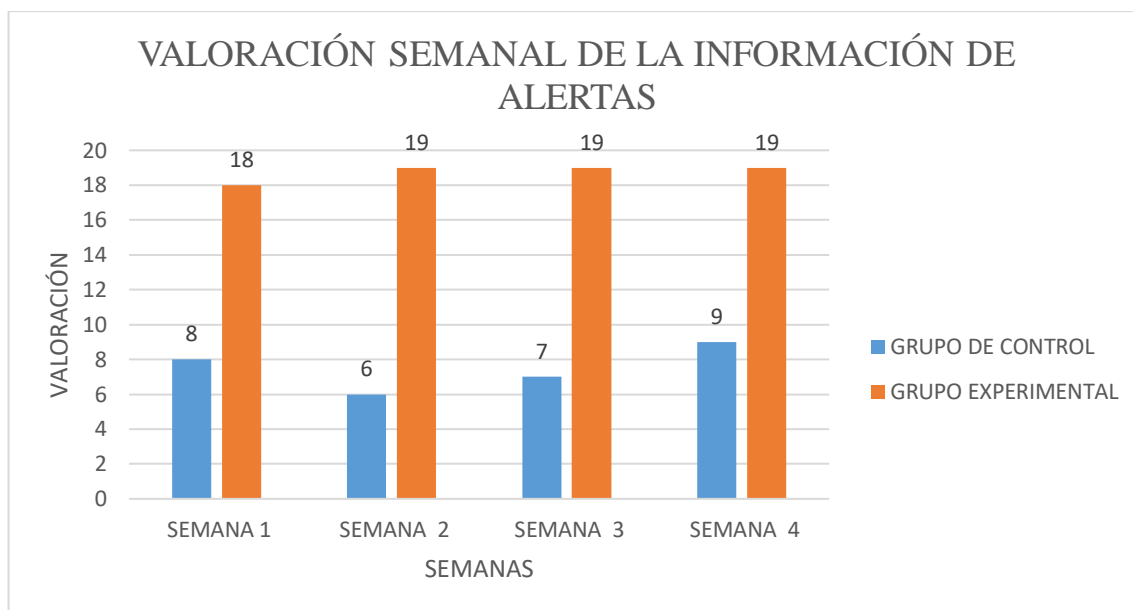


Figura 42: Valoración semanal de la información de alertas (Fuente: Elaborado por el investigador)

La comparativa semanal de la valoración de la información entre ambos grupos muestra que el grupo experimental obtiene una mayor valoración a lo largo de las 4 semanas de implementación. Mientras que el grupo de control alcanza una puntuación de sólo la mitad con respecto al grupo experimental.

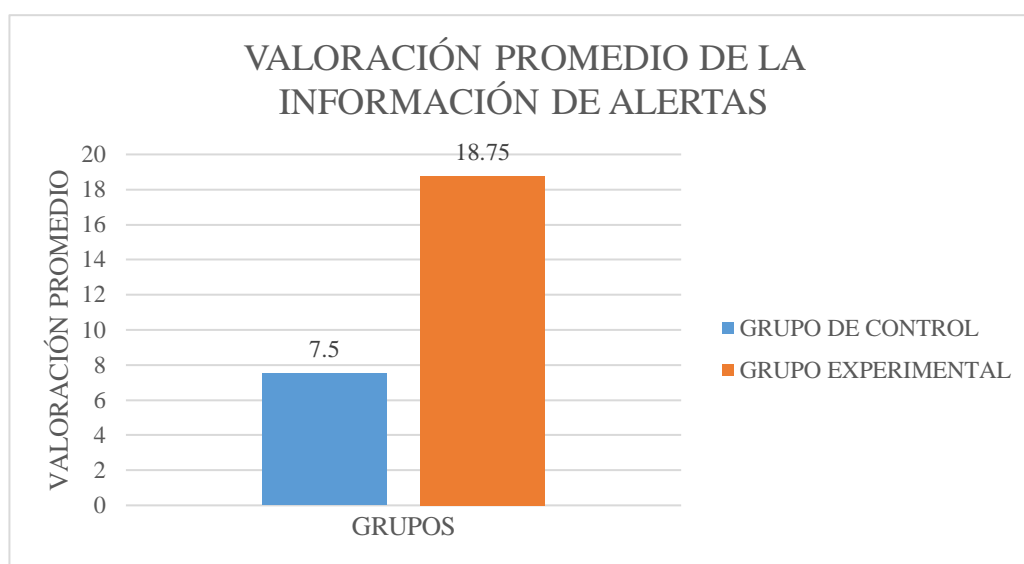


Figura 43: Valoración promedio de la información de alertas (Fuente: Elaborado por el investigador)

Al igual que en las valoraciones semanales, la valoración promedio de las 4 semanas, muestra al grupo experimental por encima del grupo de control en cuanto a la valoración de la información se refiere.

Tabla 17
Porcentaje de las valoraciones del grupo de control

GRUPO DE CONTROL		
VALORACIÓN	CANTIDAD	%
EXCELENTE	1	6.25%
MUY BUENO	1	6.25%
BUENO	1	6.25%
REGULAR	5	31.25%
MALO	8	50.00%
TOTAL	16	100.00%

Fuente: Elaborado por el investigador

El cuadro muestra el porcentaje que cada ítem de la escala de valoración obtuvo durante la encuesta para el grupo de control. Gráficamente se representa de la siguiente manera:

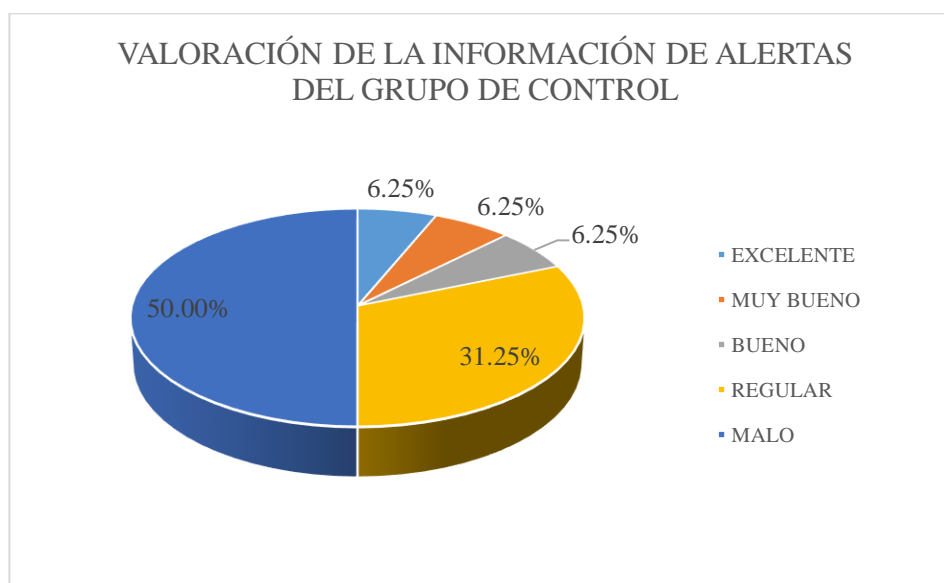


Figura 44: Valoración de la información de alertas del grupo de control (Fuente: Elaborado por el investigador)

Podemos observar que, para el grupo de control, el 50% de las valoraciones son malas, seguido de las valoraciones regulares con un 21,25%, y que las valoraciones Buenas, Muy buenas y Excelente sólo obtuvieron un porcentaje del 6,25%.

Tabla 18
Porcentaje de las valoraciones del grupo experimental

GRUPO EXPERIMENTAL		
VALORACIÓN	CANTIDAD	%
EXCELENTE	11	68.75%
MUY BUENO	5	31.25%
BUENO	0	0.00%
REGULAR	0	0.00%
MALO	0	0.00%
TOTAL	16	100.00%

Fuente: Elaborado por el investigador

El cuadro muestra el porcentaje que cada ítem de la escala de valoración obtuvo durante la encuesta para el grupo experimental. Gráficamente se representa de la siguiente manera:

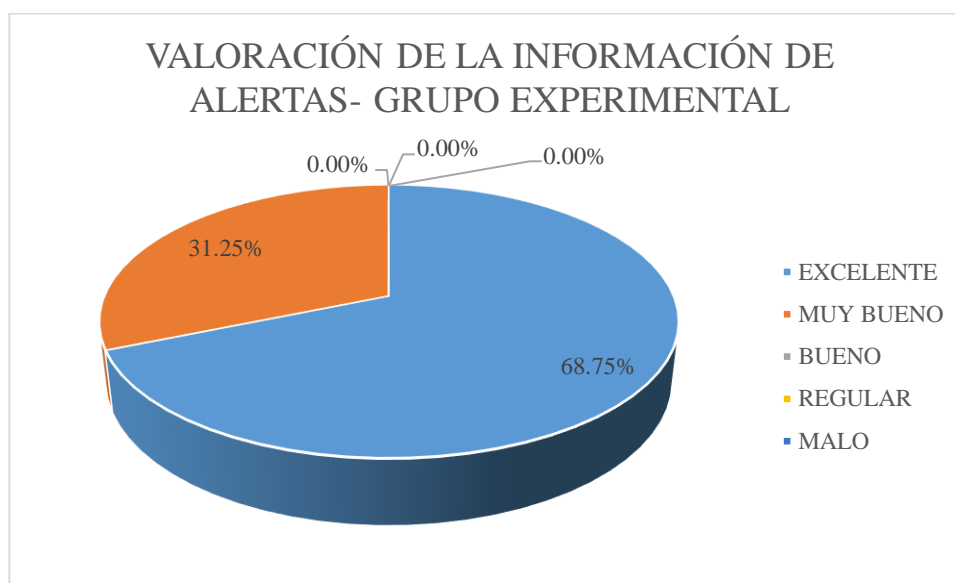


Figura 45: Valoración de la información de alertas del grupo experimental (Fuente: Elaborado por el investigador)

El gráfico refleja que, para el grupo experimental, el 68,75% de las valoraciones son Excelentes, seguido de las valoraciones Muy Buenas con un 31,25%, y que las valoraciones Buenas, Regulares y Malas obtuvieron un porcentaje del 0%.

Sobre la red de sensores

Tabla 19

Porcentaje de las valoraciones de la utilidad de los informes diarios

	Valoración	Cantidad	%
Utilidad de los informes diarios	Excelente	1	25.00%
	Muy bueno	2	50.00%
	Bueno	1	25.00%
	Regular	0	0.00%
	Malo	0	0.00%
Total		4	100.00%

Fuente: Elaborado por el investigador

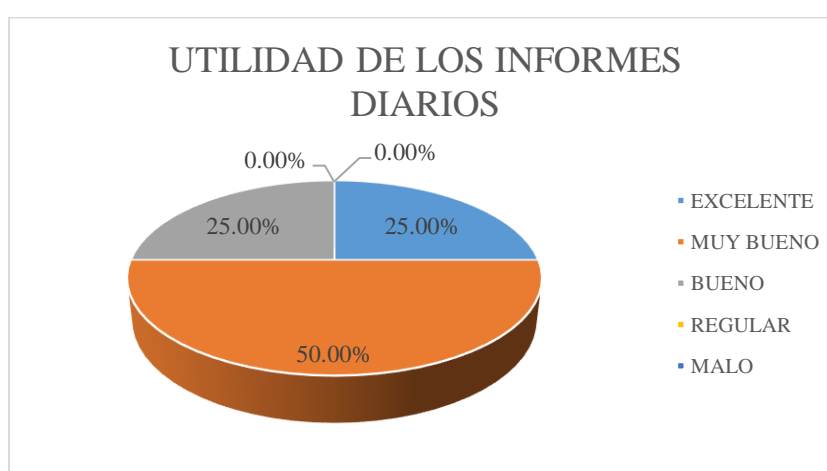


Figura 46: Valoración de la utilidad de los informes diarios (Fuente: Elaborado por el investigador)

El gráfico refleja que la utilidad de los informes diarios fue valorada con Excelente en un 25%, Muy Bueno en un 25 y también la valoración de Bueno obtuvo un 25 %. Las valoraciones de Regular y Malo alcanzaron el 0%.

Tabla 20

Porcentaje de las valoraciones de la exactitud de las mediciones

	Valoración	Cantidad	%
Exactitud de las mediciones	Excelente	3	75.00%
	Muy bueno	1	25.00%
	Bueno	0	0.00%
	Regular	0	0.00%
	Malo	0	0.00%
Total		4	100.00%

Fuente: Elaborado por el investigador

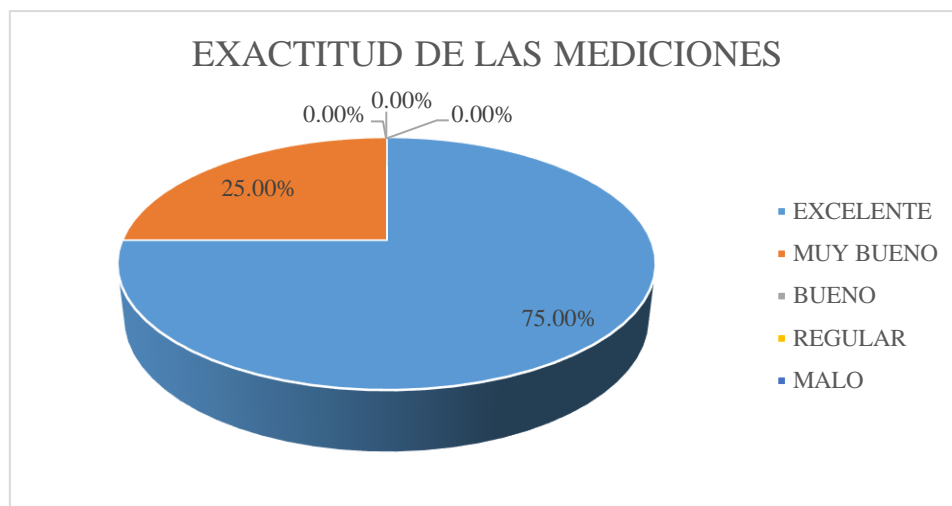


Figura 47: Valoración de la exactitud de las mediciones (Fuente: Elaborado por el investigador)

El gráfico refleja que la exactitud de las mediciones fue valorada con Excelente en un 75%, Muy Bueno en un 25%. Las valoraciones de Bueno, Regular y Malo alcanzaron el 0%.

Tabla 21
Porcentaje de las valoraciones de la calificación de la interfaz

	Valoración	Cantidad	%
Calificación de la interfaz	Excelente	0	0.00%
	Muy bueno	3	75.00%
	Bueno	1	25.00%
	Regular	0	0.00%
	Malo	0	0.00%
Total		4	100.00%

Fuente: Elaborado por el investigador

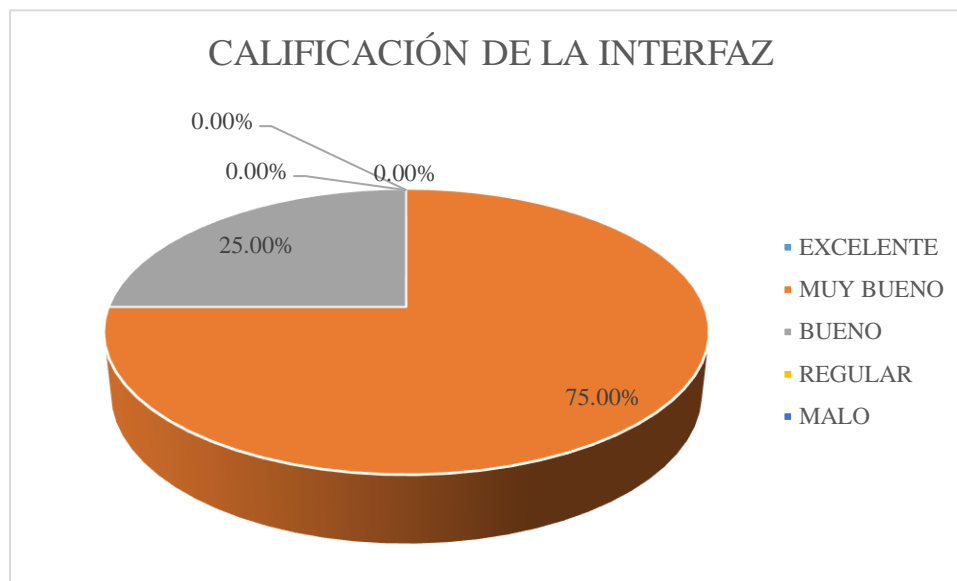


Figura 48: Valoración de la calificación de la interfaz (Fuente: Elaborado por el investigador)

Del gráfico se puede concluir que la interfaz de la red de sensores fue valorada con Muy Bueno en un 75%, Bueno en un 25%. Las valoraciones de Excelente, Regular y Malo alcanzaron el 0%.

Tabla 22
Porcentaje de las valoraciones del seguimiento durante el día

	Valoración	Cantidad	%
Seguimiento durante el día	Excelente	3	75.00%
	Muy bueno	1	25.00%
	Bueno	0	0.00%
	Regular	0	0.00%
	Malo	0	0.00%
Total		4	100.00%

Fuente: Elaborado por el investigador

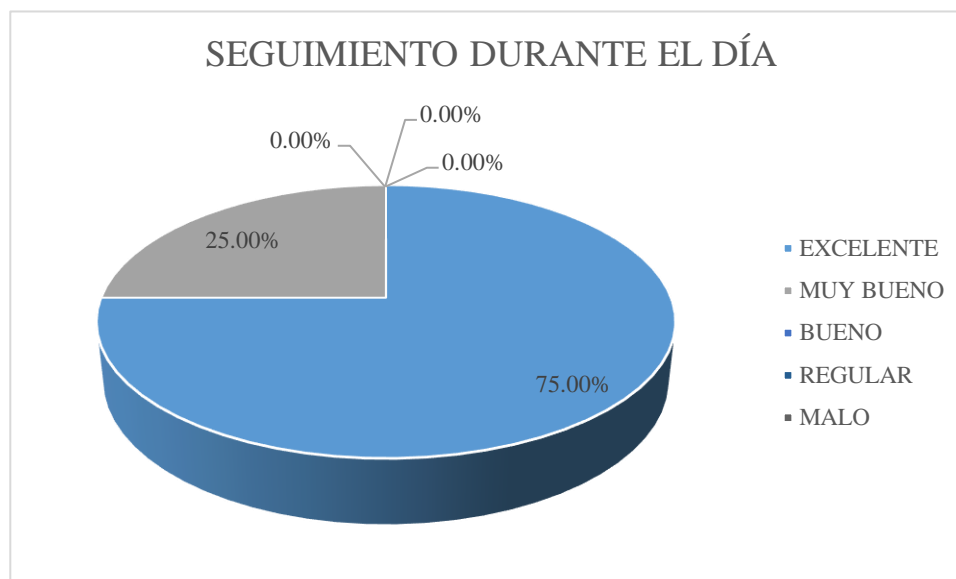


Figura 49: Valoración del seguimiento durante el día (Fuente: Elaborado por el investigador)

Del gráfico se puede concluir que el seguimiento durante el día fue valorado con Excelente en un 75%, Muy Bueno en un 25%. Las valoraciones de Bueno, Regular y Malo alcanzaron el 0%.

Tabla 23

Porcentaje de las valoraciones de la información actualizada

	Valoración	Cantidad	%
Información actualizada	Excelente	3	75.00%
	Muy bueno	1	25.00%
	Bueno	0	0.00%
	Regular	0	0.00%
	Malo	0	0.00%
Total		4	100.00%

Fuente: Elaborado por el investigador

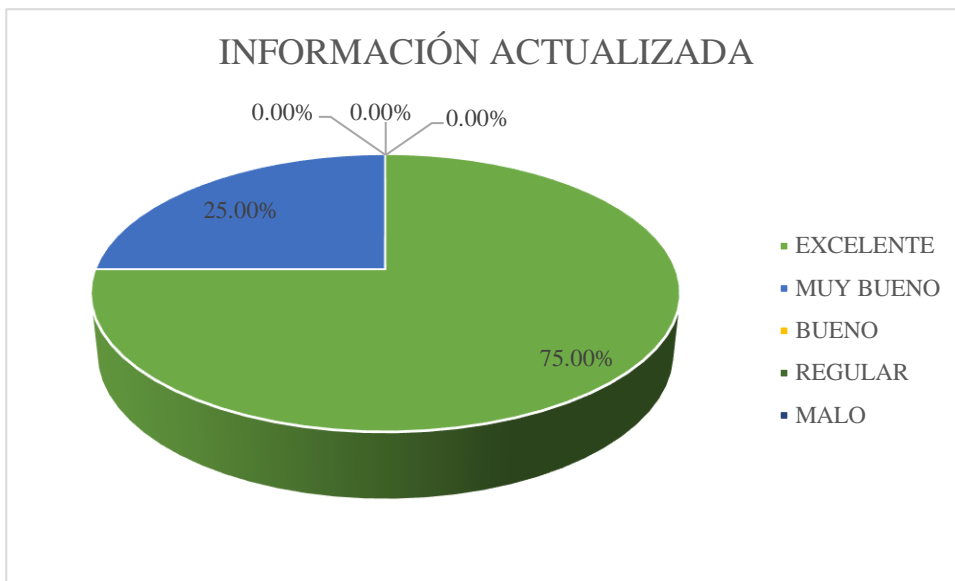


Figura 50: Valoración de la información actualizada (Fuente: Elaborado por el investigador)

Del gráfico se puede concluir que la información actualizada fue valorada con Excelente en un 75%, Muy Bueno en un 25%. Las valoraciones de Bueno, Regular y Malo alcanzaron el 0%.

Los últimos 5 gráficos nos muestran un panorama favorable a favor de la red de sensores, es decir, dicha red de sensores es muy bien valorada por el encargado de la estación pesquera Ahuashiyacu ya que es una herramienta muy útil en el monitoreo de los parámetros de la calidad del agua.

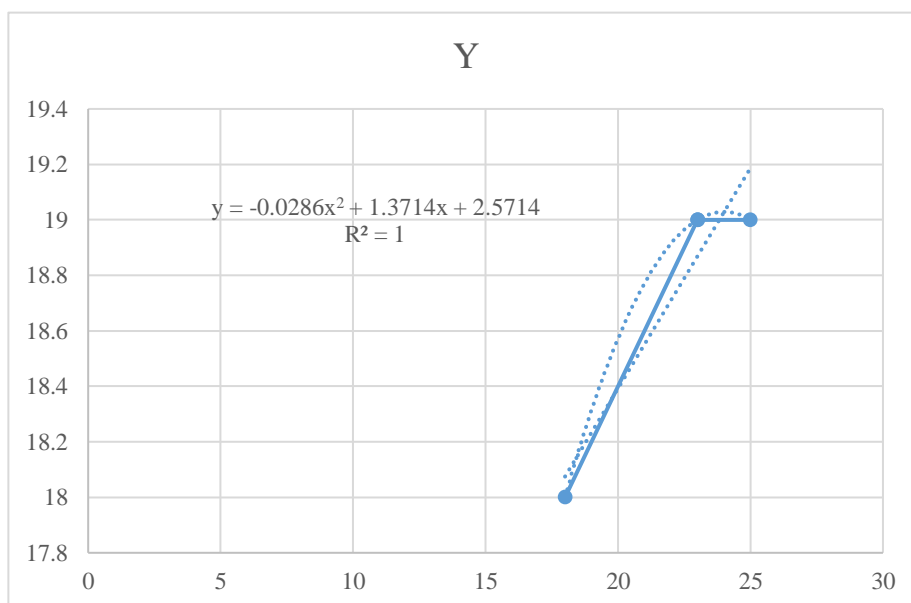


Figura 51: Influencia de la variable X sobre la variable Y (Fuente: Elaborado por el investigador)

El gráfico de dispersión indica que al aplicarse la variable independiente X si tiene un efecto sobre la variable dependiente Y, con un coeficiente de determinación de $R^2=1$. La influencia de la variable X sobre la variable Y se puede expresar con la siguiente función cuadrática:

$$y = -0.0286x^2 + 1.3714x + 2.5714$$

CONCLUSIONES

Se concluye que:

Basados en los objetivos planteados en la presente investigación y en la verificación de la hipótesis de trabajo luego de la aplicación de la prueba de hipótesis basada en el estadístico “t”, se afirma que: El uso de una red de sensores mejoró el monitoreo de la calidad del agua en los estanques de alevinos de tilapia en la Estación Pesquera Ahuashiyacu con respecto al método tradicional de monitoreo.

Se evaluó el control de la calidad del agua en los estanques de alevinos de tilapia en la Estación Pesquera Ahuashiyacu, logrando gracias a esto identificar y reconocer las falencias y puntos críticos que tiene el método tradicional de monitoreo. De la misma forma esto permitió plantear una solución basada en una red de sensores usando Arduino, capaz de facilitar el trabajo de monitoreo de los parámetros de la calidad del agua.

Se Implementó satisfactoriamente un sistema de monitoreo usando una red de sensores para el monitoreo de la calidad del agua en estanques de alevinos de tilapia en la Estación Pesquera Ahuashiyacu. Para esto se desarrolló un módulo web interconectado a la Red de Sensores, que sirviera como interfaz para la visualización de las mediciones de los parámetros recolectados por la propia red de sensores. Este módulo nos permite visualizar gráficos en tiempo real de los parámetros del agua de los estanques de alevinos de tilapia, siendo una herramienta muy útil para el buen manejo y cultivo de dichas especies acuícolas.

Se evaluó la influencia del sistema de monitoreo usando una red de sensores en el control de la calidad del agua en los estanques de alevinos de tilapia en la Estación Pesquera Ahuashiyacu.

RECOMENDACIONES

Para el correcto funcionamiento del sistema de monitoreo se recomienda contar con personal capacitado en el uso del mismo, así como también de un responsable de la configuración y/o mantenimiento de la red de sensores y del módulo web de visualización.

Asegurar que los equipos (sensores) estén debidamente protegidos de factores medioambientales (lluvias, sol, vientos) si es que se pretende trabajar al aire libre.

Se recomienda a la DRASAM destinar mayor atención a los proyectos de investigación como éste con el objetivo de mejorar los procesos que se realizan en la Estación pesquera Ahuashiyacu a través del uso de nuevas tecnologías, de esta manera posicionar dicho centro acuícola en uno de los mejores del país.

Replicar el presente proyecto de investigación en otros centros acuícolas como una alternativa más económica con respecto a los costosos sistemas de monitoreo de la calidad del agua que hay en el mercado.

Seguir desarrollando proyectos que tengan como prioridad mejorar la calidad del agua en la crianza de peces oriundos de la selva peruana, porque es un campo poco explorado hasta ahora y que necesita desarrollarse.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aakvaag, N., & Frey, J.-E. (2006). Redes de sensores Inalámbricos . *Revista ABB*, 2.
- Bautista Covarrubias, J. C., & Velazco Arce, J. M. (2011). Calidad de agua para el cultivo de Tilapia en tanques de geomembrana.
- Chio Cho, N., Tibaduiza Burgos, D. A., Aparicio Zafra, L. C., & Caro Ortiz, L. M. (Enero de 2011). Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica-UNAB. *Redes de Sensores Inalámbricos* .
- DefinicionMX. (s.f.). *DefinicionMX*. Obtenido de <https://definicion.mx/monitoreo/>
- Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática*. (s.f.). Obtenido de <http://www.isa.cie.uva.es/~maria/sensores.pdf>
- Diario El Comercio. (2016). *El Comercio*. Obtenido de <https://elcomercio.pe/economia/peru/produccion-acuicultura-supero-85-000-toneladas-2015-214609>
- Endvawnnow.org*. (s.f.). Obtenido de <http://www.endvawnnow.org>
- Lino, C. (Marzo de 2012). Diseño de una arquitectura para redes de sensores con soporte para aplicaciones de detección de eventos.
- nuevastecnologias*. (2016). Obtenido de http://nuevastecnologias.awardspace.com/redes_de_sensores.htm
- Pérez Álvarez, O. (1998). *Difusión y utilización de la información. En: Introducción a la información y documentación científica*. Madrid: Alhambra.
- Profesormolina*. (s.f.). Obtenido de http://www.profesormolina.com.ar/tecnologia/sens_transduct/tipos.htm
- Townsend, C., & Arms, S. (2004). Wireless Sensor Networks: Principles and Applications. En C. Townsend, & S. Arms, *Wireless Sensor Networks: Principles and Applications* (págs. 439-449).
- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (2015). CALIDAD DEL AGUA PARA LA AGRICULTURA. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- LA, C. A., & LA, A. Y. (2016). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Luchini, L. (2016). Actualidad de la acuicultura en Argentina. *Revista AquaTIC*, (5).
- López, R., Cubillos, D., & Rodríguez, L. (2015). Diseño e Implementación de un Sistema de Monitoreo que Permita la Lectura de Temperatura y pH Y Regule el Nivel del

Agua de un Acuario del Laboratorio de Acuicultura del Programa de Zootecnia de la Universidad De Cundinamarca sede Fusagasugá. *ENGI Revista Electrónica de la Facultad de Ingeniería*, 3(2).

- Calderón Espín, J. T. (2016). *Evaluación de la temperatura y ph del agua de los estanques para mejorar el crecimiento de alevines de tilapia roja (Oreochromis spp.)*. En la hacienda "El gran manantial" parroquia Pacto al noroccidente de Quito (Bachelor's thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2016.).
- Amaya Noriega, Y. R. (2014). Crianza de oreochromis niloticus variedad chitralada "tilapia" en estanques seminaturales abastecidos con agua de filtración, paján-la libertad.
- Totocayo, N. H. (2016). La Tilapia Roja en el Perú. *Revista AquaTIC*, (19).
- HERNANDEZ GARCIA, F. A. (2015). CULTIVO INTENSIVO DE" TILAPIA" EN JAULAS FLOTANTES.
- Sánchez, C., Mesa, A., Manrique, C., Calderón, H., Cobo, L., Dorado, R., & Mejía, C. (2015). Diseño e implementación de un prototipo de vivienda domótica basado en las plataformas arduino y android. *Revista Ontare*, 2(2), 115-132.
- Salgado Castillo, F. D., & Coello Moncayo, D. S. (2015). *Prototipo de monitoreo ambiental aplicando el Internet de las cosas con Arduino y Cloud Computing*(Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- Chimarro, C., & Carlos, J. (2016). *Diseño e implementación de un prototipo de sistema de control, supervisión de temperatura y humedad, para cultivos caseros bajo invernadero, utilizando el módulo Arduino, en la ciudad de Cayambe* (Bachelor's thesis, Quito: Universidad Israel, 2016).
- Sánchez, S. F., Hernández, E. F. O., Sánchez, E. J. A., Velázquez, A. L., & Franco, R. A. (2013). Control de Temperatura de un Invernadero a Escala mediante Programación en Arduino. In *presentado en el Congreso Nacional de Control Automático*.
- Hernández, J. J. C., Fernández, L. P. S., & Larrañaga, L. A. A. Diseño y construcción de un sistema de supervisión para la evaluación de la calidad del agua en sistemas de cultivo de camarón.
- Patiño, G., David, E., & Ramírez Vargas, L. E. (2015). Sistema Integrado de Monitoreo y Alimentación para Tilapia.
- Vicente Vallejo, J. (2014). Gestión de la información en redes de sensores inalámbricos.
- Crespo, A., & Alonso, A. (2006). Una panorámica de los Sistemas de Tiempo Real. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 3(2), 7-18.
- Romano, L. A. (2016). Bioindicadores de contaminación acuática en peces. *Revista AquaTIC*, (7).

- Arduino. (2016). *Arduino*. Obtenido de <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>
- AtlasScientific. (2015). *Atlas Scientific*. Obtenido de https://www.atlas-scientific.com/product_pages/kits/do_kit.html
- Electronica.com.ve. (s.f.). *Electronica.com.ve*. Obtenido de https://electronica.com.ve/new/catalog/product_info.php?products_id=3417
- Hernández, L. d. (2018). *ProgramarFacil.com*. Obtenido de <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ds18b20-sensor-temperatura-arduino/>
- Last Minute Engineers*. (2018). Obtenido de <https://lastminuteengineers.com/a6-gsm-gprs-module-arduino-tutorial/>
- Llamas, L. (2017). *LuisLlamas.es*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/arduino-ethernet-shield-w5100/>
- NaylampMechatronics. (Agosto de 2016). *Naylamp Mechatronics*. Obtenido de https://naylampmechatronics.com/blog/46_Tutorial-sensor-de-temperatura-DS18B20.html
- PH meter*. (s.f.). Obtenido de [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter\(SKU:_SEN0161\)](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter(SKU:_SEN0161))
- Rivera, D., & Yopez, E. (2015). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA MEDICIÓN DE CALIDAD DEL AGUA Y CONTROL DE LA OXIGENACIÓN EN FORMA REMOTA ORIENTADO A LA PRODUCCIÓN ACUÍCOLA*. Guayaquil.
- Vidarte, N. E.-K. (2016). *Adaptación e implementación de un sistema autónomo de bajo coste de monitorización de calidad del agua en tiempo real*.

ANEXOS

Anexo N° 1



Imagen N° 1: Instalaciones de la Estación Pesquera Ahuashiyacu, ubicada en la carretera a Bello Horizonte Km. 2.3 banda de Shilcayo. (Fuente: Elaboración Propia)

Anexo N° 2

Imagen N° 2: Laboratorios de reproducción artificial – Estación Pesquera Ahuashiyacu. (Fuente: Elaboración Propia)

Anexo N° 3

Imagen N° 3: Estanques de reversión de alevinos de tilapia – Estación Pesquera Ahuashiyacu.
(Fuente: Elaboración Propia)

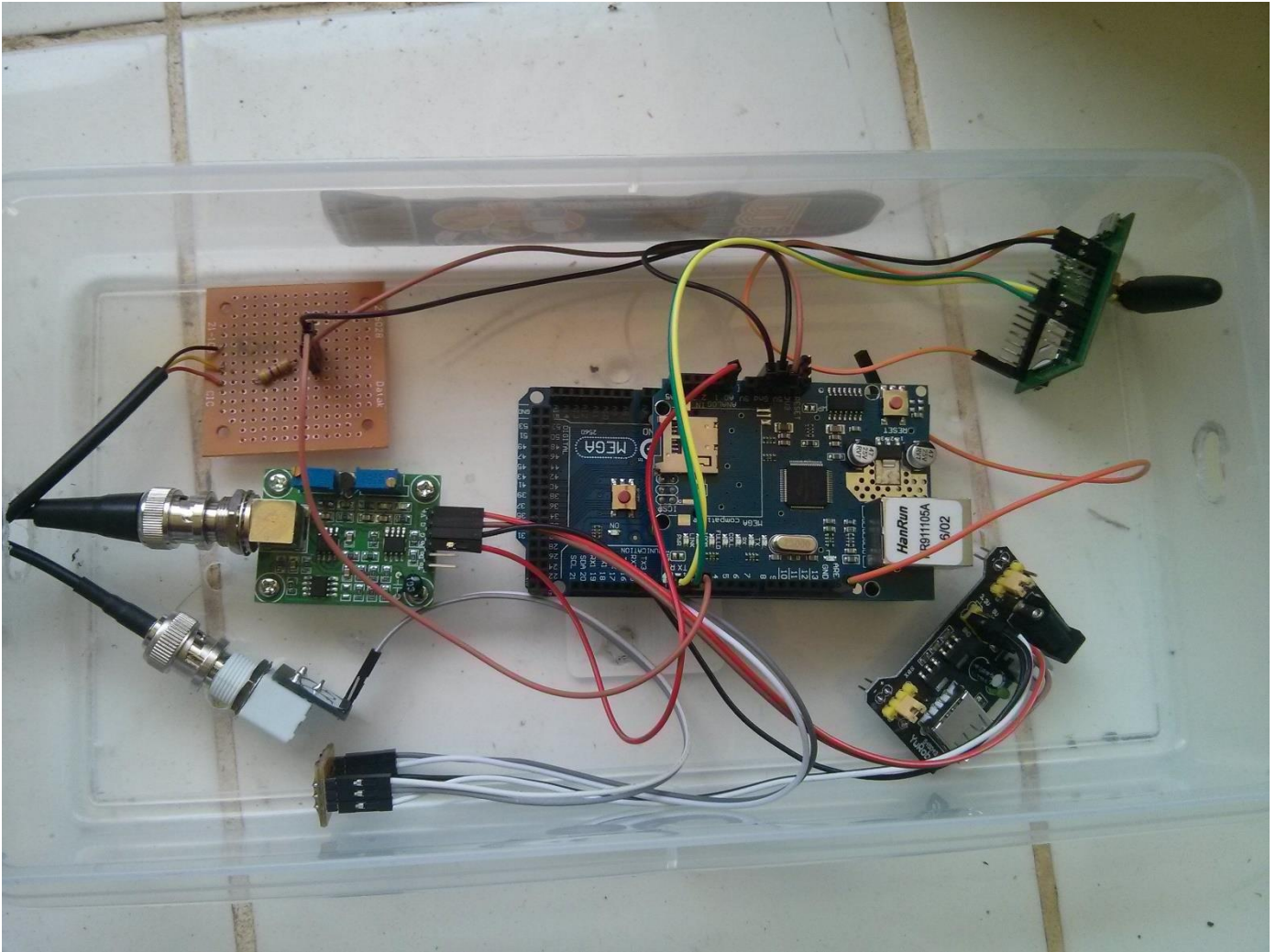
Anexo N° 4

Imagen N° 4: Prototipo de la red de sensores (Fuente: Elaboración Propia)

Anexo N° 5



Imagen N° 5: Compilación del programa encargado de realizar las mediciones de los parámetros del agua
(Fuente: Elaboración Propia)

Anexo N° 6

Imagen N° 6: Prototipo de la red de sensores registrando las mediciones de los parámetros de la calidad del agua en los estanques de alevinos. (Fuente: Elaboración Propia)

Anexo N° 7

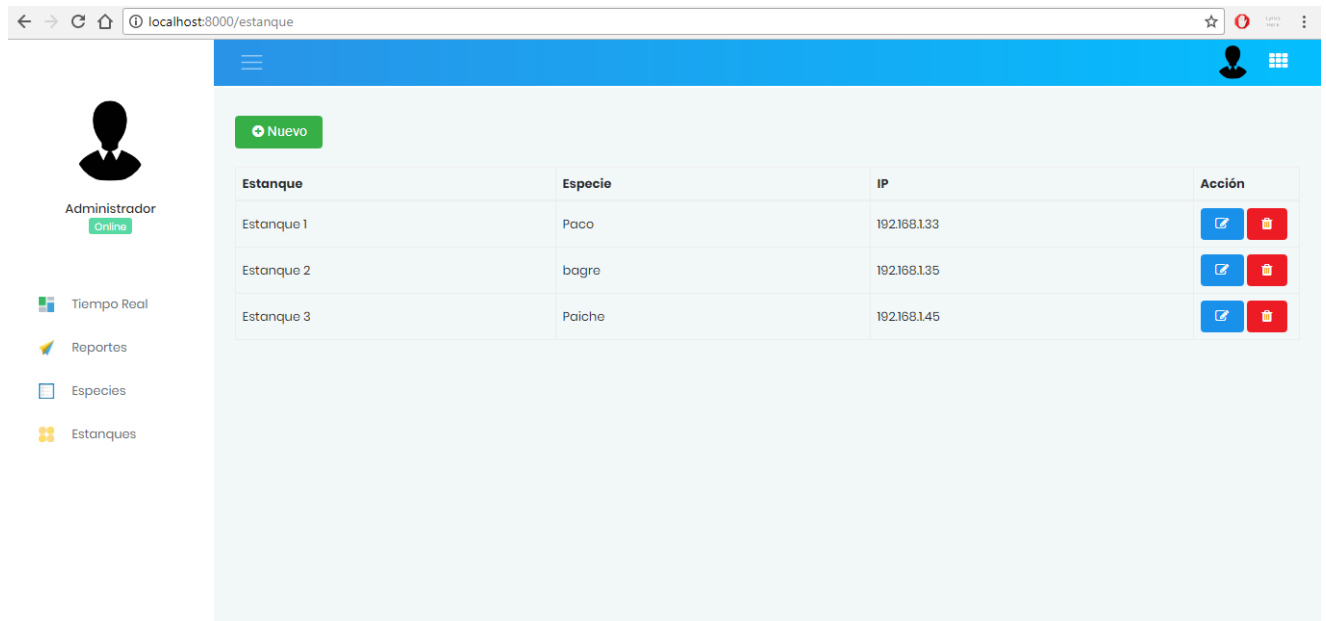


Imagen N° 7: Panel de Administración de los Estanques (Fuente: Elaboración Propia)

Anexo N° 8

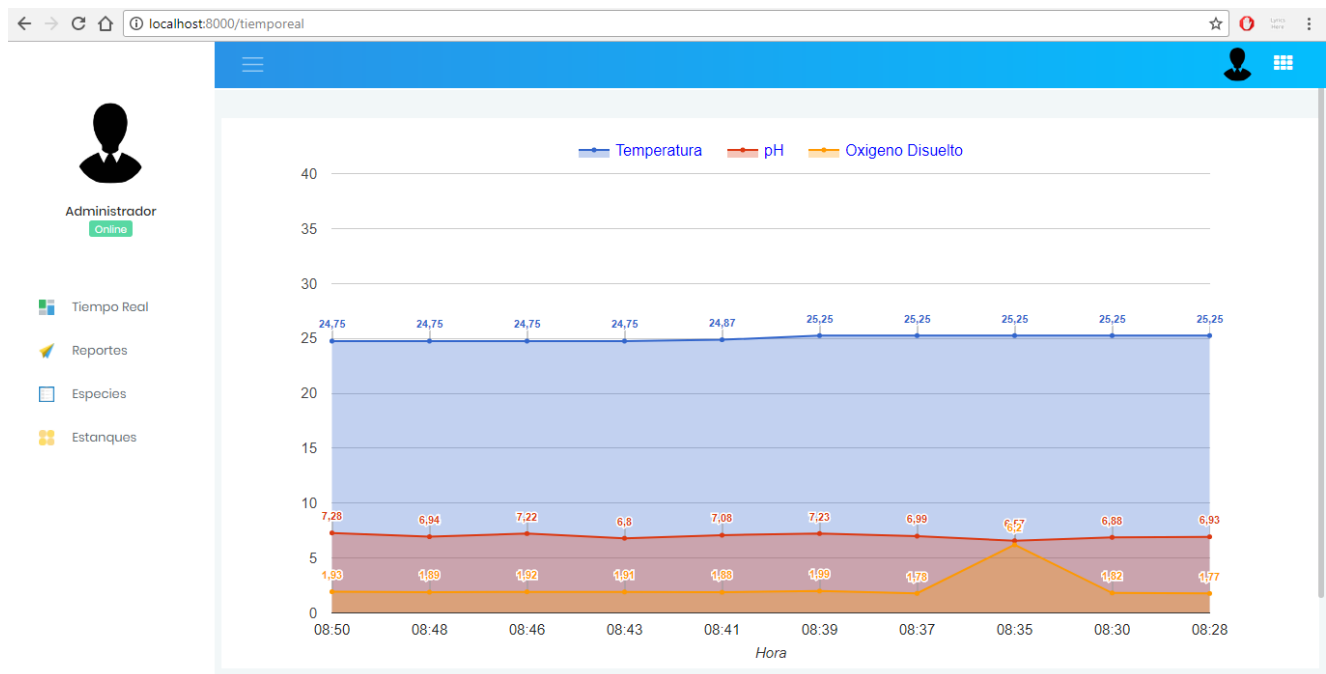


Imagen N° 8: Monitoreo en Tiempo Real (Fuente: Elaboración Propia)

Anexo N° 9**ENCUESTA**

*Estimado encuestado, solicitamos su colaboración para la presente encuesta. Marque con una X la opción que mejor represente su opinión.

Encuesta dirigida a los encargados de la estación pesquera Ahuashiyacu.

SOBRE LA VALORACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE ALERTAS

1. ¿El método de monitoreo utilizado permite conocer los parámetros de la calidad del agua en tiempo real?

- a). Nunca b) Casi Nunca c) A veces d) Casi Siempre e) Siempre

2. ¿El método de monitoreo utilizado le permite conocer si los parámetros de la calidad del agua están dentro de los rangos ideales?

- a). Nunca b) Casi Nunca c) A veces d) Casi Siempre e) Siempre

3. ¿El método de Monitoreo utilizado le permite tomar medidas correctivas en los plazos adecuados para garantizar la calidad del agua?

- a). Nunca b) Casi Nunca c) A veces d) Casi Siempre e) Siempre

4. ¿El Actual método de monitoreo le permite identificar los momentos y/o mediciones críticas de los parámetros de la calidad del agua?

- a). Nunca b) Casi Nunca c) A veces d) Casi Siempre e) Siempre

1. La exactitud y confiabilidad de las consultas y reportes que me brinda el sistema de monitoreo es:

- a) Malo b) Regular c) Buena d) Muy Buena e) Excelente

2. El apoyo que brinda de manera completa el sistema a los procesos propios de la organización es:

- a) Malo b) Regular c) Buena d) Muy Buena e) Excelente

*Estimado encuestado, solicitamos su colaboración para la presente encuesta. Marque con una X la opción que mejor represente su opinión.

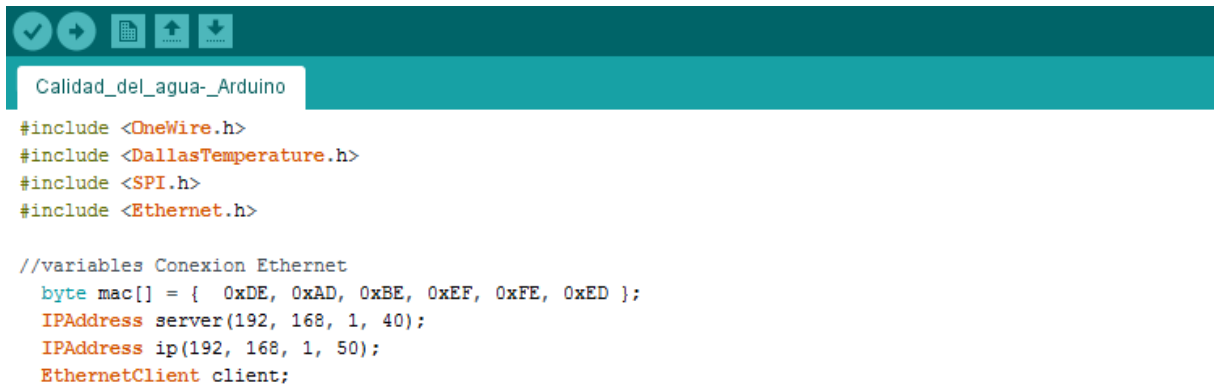
Encuesta dirigida a los encargados de la estación pesquera Ahuashiyacu.

<i>SOBRE LA VALORACIÓN AL SISTEMA DE MONITOREO</i>

- 1. ¿Cómo califica usted la utilidad de los informes diarios de los parámetros del agua proporcionados por el método utilizado?**
a) Malo b) Regular c) Buena d) Muy Buena e) Excelente
- 2. ¿Cómo califica la exactitud de las mediciones de los parámetros del agua del método utilizado?**
a) Malo b) Regular c) Buena d) Muy Buena e) Excelente
- 3. ¿Qué calificación le daría a la interfaz de la red de sensores?**
a) Malo b) Regular c) Buena d) Muy Buena e) Excelente
- 4. ¿El sistema de monitoreo le permite realizar el seguimiento del comportamiento de los parámetros de la calidad del agua durante el día?**
a). Nunca b) Casi Nunca c) A veces d) Casi Siempre e) Siempre
- 5. La información que se presenta se encuentra actualizada:**
a) Nunca b) Casi Nunca c) A veces d) Casi Siempre e) Siempre

Encuesta para los encargados de la Estación Pesquera Ahuashiyacu (*Fuente: Elaboración propia*)

Anexo N° 10



```

Calidad_del_agua_Arduino
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>

//variables Conexion Ethernet
byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
IPAddress server(192, 168, 1, 40);
IPAddress ip(192, 168, 1, 50);
EthernetClient client;

```

Imagen N° 9: Librerías utilizadas – Código Arduino (Fuente: Elaboración Propia)

Anexo N° 11

```

void setup() {

    Serial.begin(9600);

    // variables de oxigeno Disuelto
    Serial3.begin(9600);

    // Variables Temperatura
    sensors.begin(); //Se inicia el sensor

}

```

Imagen N° 10: Script de la función Setup – Código Arduino (Fuente: Elaboración Propia)

Anexo N° 12

```

void loop() {

  //Delay de 2 min
  delay(120000);

  //Obetner el pH

  for(int i=0;i<10;i++)
  {
    buf[i]=analogRead(analogInPin);
    delay(10);
  }
  for(int i=0;i<9;i++)
  {
    for(int j=i+1;j<10;j++)
    {
      if(buf[i]>buf[j])
      {
        temp=buf[i];
        buf[i]=buf[j];
        buf[j]=temp;
      } }
    avgValue=0;
    for(int i=2;i<8;i++)
    avgValue+=buf[i];
    float pHVol=(float)avgValue*5.0/1024/6;
    float pHValue = -5.70 * pHVol + 21.34;
    Serial.print("sensor = ");

  //Obetner la Temperatura

    sensors.requestTemperatures(); //Se envia el comando para leer la temperatura
    float temp= sensors.getTempCByIndex(0); //Se obtiene la temperatura en °C

    Serial.print("Temperatura= ");
    Serial.print(temp);
    Serial.println(" C");
    temperatura=temp;

  //Obtener el Oxigeno Disuelto

    if(sensor_DO_StringComplete){
      Data_OD=sensorDOString;
      sensorDOString="";
      sensor_DO_StringComplete=false;
      Serial.print("Recibi: ");
      if((Data_OD.toFloat()<15) && (Data_OD.toFloat()>0)){
        oxigeno=Data_OD.toFloat();
        Serial.println(oxigeno);
      }
    }

  //Insertar Base de datos

  //Conexion Ethernet
  Ethernet.begin(mac, ip); //Inicializamos con las direcciones asignadas

  // Un minuto para que el Shield se inicialice
  delay(1000);
  Serial.println("Conectando...");
}

```

```

// Si se logra conectar al servidor:
if (client.connect(server, 80)) {
  Serial.println("Ethernet Conectado");
  // Make a HTTP request:
  client.print("GET /prueba/arduino.php?temperatura=");
  client.print(temperatura);
  client.print("&pH=");
  client.print(pH);
  client.print("&oxigeno=");
  client.print(oxigeno);
  //client.println(" HTTP/1.0");
  client.println();
  Serial.println("Datos Insertados correctamente");

} else {
  // Si no se logra conectar al servidor:
  Serial.println("Conexión Fallida");
}

//Enviar alerta de mensaje de Texto
if((temperatura<temperaturaMin) || (temperatura>temperaturaMax)){
  mensajeTemperatura(temperatura);
}

if((pH<pHMin) || (pH>pHMax)){
  mensajePH(pH);
}

if((oxigeno<oxigenoMin) || (oxigeno>oxigenoMax)){
  mensajeOxigeno(oxigeno);
}
}

```

Imagen N° 11: Script de la función Loop – Código Arduino (Fuente: Elaboración Propia)

Anexo N° 13

```

//Función de alerta de temperatura
void mensajeTemperatura(float temperatura){
  char phone_no1[]="980152791";
  Serial.println("AT+CMGF=1");
  delay(4000);
  Serial.print("AT+CMGS=\");
  Serial.print(phone_no1);
  Serial.write(0x22);
  Serial.write(0x0D); // Return
  Serial.write(0x0A); // Nueva Linea
  delay(2000);
  Serial.print("ALERTA. Temperatura: ");
  Serial.print(temperatura);
  delay(500);
  Serial.println(char(26));
}

//Función de alerta de pH
void mensajepH(float pH){
  char phone_no1[]="980152791";
  Serial.println("AT+CMGF=1");
  delay(4000);
  Serial.print("AT+CMGS=\");
  Serial.print(phone_no1);
  Serial.write(0x22);
  Serial.write(0x0D);
  Serial.write(0x0A);
  delay(2000);
  Serial.print("ALERTA. pH: ");
  Serial.print(pH);
  delay(500);
  Serial.println(char(26));
}

//Función de alerta de Oxígeno Disuelto
void mensajeOxigeno(float oxigeno){
  char phone_no1[]="980152791";
  Serial.println("AT+CMGF=1");
  delay(4000);
  Serial.print("AT+CMGS=\");
  Serial.print(phone_no1);
  Serial.write(0x22);
  Serial.write(0x0D);
  Serial.write(0x0A);
  delay(2000);
  Serial.print("ALERTA. OD: ");
  Serial.print(oxigeno);
  delay(500);
  Serial.println(char(26));
}

```

Imagen N° 12: Script de las funciones de alerta – Código Arduino (Fuente: Elaboración Propia)