



AUTOMATIZACIÓN EN LA TOMA DE PARÁMETROS FÍSICO- QUÍMICOS PARA LOS ESTANQUES PISCÍCOLAS DE LA UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA

VALLE GONZÁLEZ ANDRÉS FELIPE

RODRÍGUEZ PÉREZ ROMARIO JOSÉ

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA

SANTA MARTA D.T.C.H.

2019

**AUTOMATIZACIÓN EN LA TOMA DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS PARA
LOS ESTANQUES PISCÍCOLAS DE LA UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**

ANDRÉS FELIPE VALLE GONZÁLEZ

ROMARIO JOSÉ RODRÍGUEZ PÉREZ

**Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de INGENIERO
ELECTRÓNICO**

DIRECTOR:

Ing. PhD. CARLOS ARTURO ROBLES ALGARÍN

CODIRECTOR:

PhD. ADRIANA RODRÍGUEZ FORERO

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

SANTA MARTA

2019

AGRADECIMIENTOS

A mis padres José Rodríguez y Luz marina Pérez que, con su esfuerzo constante, dedicación y consejos me permiten estar a punto de cumplir unas de mis metas y sueños.

A mis abuelos José Rodríguez y Cándida Duran que siempre desearon verme hecho todo un profesional.

A mi tía Luz Cehili Rodríguez quien, por su apoyo incondicional, durante la carrera permitió que esto fuera posible.

A mi hermana Daniela Rodríguez por estar conmigo y apoyarme siempre.

Al resto de mi familia por llenarme de alegría, por creer en mí y confiar que llegaría hasta aquí.

A mi novia Catherine Duran quien me brindo su comprensión, palabras de aliento y apoyo durante la realización de este proyecto.

A mi amigo y compañero de tesis Andrés Valle por el buen trabajo en equipo que fue fundamental para que este proyecto se hiciera realidad.

A mis directores de tesis Carlos Robles y Adriana Rodríguez por sus enseñanzas, sugerencias e influencias en este proyecto. Por darnos valiosos consejos, prestarnos su experiencia y recomendar qué caminos seguir.

A mis amigos de la corte 2012-2 que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional.

A nuestros profesores del programa de ingeniería electrónica por brindarnos sus conocimientos y ayudar en nuestra formación como profesionales competitivos.

Romario Rodríguez Pérez

AGRADECIMIENTOS

A mi madre Esther María quien me brindó su apoyo, consejo, cariño incondicional y valores. Gracias a estos, me han ayudado a superar las dificultades y obstáculos para así culminar mi objetivo.

A mis familiares, los cuales han estado pendiente de mí y me han apoyado durante todo el proceso académico.

A los profesores de la carrera de Ing. Electrónica, por brindarme sus valiosas enseñanzas y formación académica.

A mis directores de proyecto Carlos Robles y Adriana Rodríguez por sus conocimientos, enseñanzas, sugerencias y contribución en el desarrollo de este proyecto.

Al ingeniero Heiner Castro, por sus enseñanzas y formación académica, que orientaron mi pasión por el ámbito digital, el cual me llevó a ser monitor de diseño de sistemas digitales; y gracias a esto pude sustentarme económicamente a inicios de la carrera.

A los ingenieros Omar Rodríguez, Antonio Correa, Víctor Oliveros, Cristian López, Arthur Burgos, Alberto Mendoza, Jim Cotes, Jordan Guillot y Orlando Gómez Por su colaboración e interés por nuestro trabajo.

Al ingeniero y amigo Oswaldo Rojas por apoyarme en el desarrollo del proyecto, a la vez de brindarme trabajo, el cual me ha dado el sustento para seguir con mis estudios para finalizar la carrera.

A mis amigos de la corte 2012-1 por apoyarnos mutuamente durante el transcurso de la carrera.

A mi compañero de tesis y amigo Romario Rodríguez por el trabajo en equipo y cooperación para completar este proyecto de grado.

A mis amigas Andreina Polo, Yerlis Mercado, Rut Celis, Mayra Torres, Daniela Castillo, Tina Varela y Daltaira Rueda por brindarme su amistad y constante apoyo para alcanzar este logro.

A todos los amigos que he hecho durante mi estadía como auxiliar de laboratorio.

Andrés Valle González

Tabla de contenido

1.	RESUMEN	9
2.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	10
2.1.	Planteamiento Del Problema.....	10
2.2.	Justificación	11
2.3.	Alcance y Limitaciones.....	12
2.4.	Impactos esperados	13
2.5.	Marco Teórico.....	14
2.6.	Antecedentes	16
2.7.	OBJETIVOS	18
2.7.1.	Objetivo General.....	18
2.7.2.	Objetivos Específicos	18
3.	DISEÑO METODOLÓGICO	19
3.1.	Tipo De Investigación.....	19
3.2.	Instrumentos.....	19
3.3.	Técnicas de recolección de datos en tiempo real	22
3.3.1.	Forma tabular.....	22
3.3.2.	Forma gráfica.....	22
3.4.	Etapas	23

3.4.1.	Etapa de alimentación energética	24
3.4.2.	Etapa de sensores	25
3.4.3.	Etapa de control y comunicación.....	26
4.	DESARROLLO DEL PROYECTO	28
4.1.	Sistema de alerta	28
4.2.	Funcionamiento del sistema de alerta	29
4.3.	Instalación de los componentes (interior)	30
4.4.	Instalación de los componentes (exterior)	31
4.5.	Instalación de la etapa solar	32
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
6.	CONCLUSIONES.....	39
7.	PRESUPUESTO.....	40
7.1.	Recursos Humanos.....	40
7.2.	Recursos institucionales.....	40
7.3.	Recursos adicionales	41
7.4.	Costo total del proyecto	42
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
8.1.	Bibliografía	43

TABLA DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Sensor de PH marca ATLAS SCIENTIFIC y Figura 2. Sensor de oxígeno disuelto marca ATLAS SCIENTIFIC	19
Figura 3. Termocupla tipo K	20
Figura 4. Raspberry pi 3 y Figura 5. Módulo SIM800L	20
Figura 6. Arduino MEGA 2560	21
Figura 7. Aplicativo web (inicio)	21
Figura 8. Aplicativo web (tabla de datos)	22
Figura 9 Gráfico de parámetros (oxígeno disuelto, PH, temperatura)	23
Figura 10. Diagrama de secuencia de fases del proyecto.....	23
Figura 11. Diagrama de bloques de la etapa de alimentación	24
Figura 12. Regulador de carga solar.....	24
Figura 13. Diagrama de bloques de la etapa de sensores	25
Figura 14. Shield de raspberry pi 3 Tentacle T3	26
Figura 15. Diagrama de bloques de la etapa de control y comunicación.....	26
Figura 16. Diagrama de funcionamiento general	28
Figura 17. Diagrama del sistema de alerta	28
Figura 18. Diagrama de funcionamiento del sistema de alerta	29
Figura 19. Diseño de shield PCB para el arduino MEGA 2560	30
Figura 20. Construcción de etapa de regulación y de control	31
Figura 21. Construcción de la etapa de alimentación.....	31
Figura 22. Construcción e implementación de la etapa solar.....	32

Figura 23. Laboratorio de acuicultura	33
Figura 24. Instalaciones del laboratorio de acuicultura y Figura 25. Instalaciones del laboratorio de acuicultura	33
Figura 26. Instalación del medidor de parámetros en uno y Figura 27. Instalación del medidor de parámetros en uno	34
Figura 28. Instalación del medidor de parámetros en uno de los estanques del laboratorio de acuicultura (vista en perspectiva)	34
Figura 29. Visualización de los datos de forma gráfica	36
Figura 30. Dispersión de temperatura y pH	37
Figura 31. Dispersión de pH y oxígeno.....	37
Figura 32. Dispersión de temperatura y oxígeno	38

1. RESUMEN

Un óptimo monitoreo de los parámetros físicos y químicos de mayor prioridad en la calidad del agua dentro de un estanque piscícola (pH, oxígeno disuelto y temperatura), tiene un papel muy significativo para el correcto desarrollo de las operaciones acuícolas. Dicho monitoreo es efectuado manualmente con la ayuda de instrumentos de medición y/o sensores para conocer el estado de cada variable. Para esto se hace necesario el recurso humano, la cual puede causar disparidades y por lo tanto generar un margen de error en las mediciones debido a la intervención humana.

Para disminuir los márgenes de errores de medición dentro de los estanques, se desarrolla e implementa un sistema de monitoreo de tres parámetros muy importantes dentro de la calidad del agua (oxígeno disuelto, pH y temperatura), además de que este sistema informe al encargado del estanque de cualquier alteración presentada en estas tres variables, vía mensaje de texto.

Finalmente, los datos arrojados en las mediciones son registrados, graficados y mostrados en un aplicativo web, lo cual significa para los acuicultores poder observar en cualquier momento algún cambio importante en los parámetros dentro del cultivo de peces, y gracias a esto es más oportuna la toma de decisiones con respecto a acciones correctivas para el mejoramiento de la calidad de vida dentro de un estanque piscícola.

Para comprobar la eficacia de la medición de parámetros se procedió a hacer análisis estadísticos para validar los datos obtenidos, simultáneamente analizar posibles comportamientos anómalos en los estanques.

La implementación de este sistema es debida a la investigación aplicada, la cual utiliza los conocimientos adquiridos durante la carrera de Ing. Electrónica, para resolver problemáticas como la planteada anteriormente.

Como resultados se encontró que los parámetros de pH, oxígeno disuelto y temperatura medidos durante el periodo de pruebas arrojaron resultados normales y constantes, sin cambios drásticos de valores durante el trayecto de un día, esto denota un buen cuidado de los estanques por parte del personal del laboratorio, a la vez que es un indicador de un buen ambiente para la crianza de peces en estos estanques.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1. Planteamiento Del Problema

Durante la actividad piscícola es necesario monitorear diariamente los parámetros físicos y químicos del agua, de esta manera se puede garantizar el éxito o fracaso del cultivo de peces. Sin embargo, el programa de ingeniería pesquera de la Universidad del Magdalena, cuenta con laboratorios de acuicultura, dotados de estanques donde se llevan a cabo cultivos, en los que cada uno de ellos alberga diversas especies dulceacuícolas y marinas entre ellas erizos, pepinos de mar, tilapias, peces ornamentales, etc. Se pudo observar que el personal encargado realiza las mediciones de manera manual, conllevando a que estas mediciones estén expuestas a alteraciones, deterioro y en ocasiones, se presenten pérdidas de la información, convirtiéndose así en un problema durante el proceso de cultivo, debido a que una equivocación en los registros significaría un grave error para el crecimiento y desarrollo de las especies acuícolas.

Por otra parte, el registro de las mediciones en los estanques es anotado en hojas de papel o bitácoras; estas mediciones pueden extraviarse y terminar afectando el registro del desarrollo de los peces, causando pérdidas en los cultivos. Teniendo en cuenta la problemática presentada anteriormente, surge el siguiente interrogante:

¿Cómo optimizar el proceso de monitoreo de parámetros físicos y químicos en los tanques piscícolas del programa de ingeniería pesquera de la Universidad del Magdalena durante el cultivo de las especies acuícolas?

2.2. Justificación

El programa de ingeniería pesquera de la Universidad del Magdalena, cuenta con tanques adecuados para el cultivo y crecimiento de diversas especies dulceacuícolas y marinas. Estos estanques presentan problemáticas asociadas a la calidad del agua, relacionada con las frecuentes pérdidas en la productividad debido, entre otras, a que el monitoreo de las variables se realiza de manera manual, lo cual implica una posible falta de agudeza visual, descuido o cansancio por parte de los encargados del monitoreo de los estanques, lo cual no está permitiendo tomar las mejores medidas de solución a los problemas que se generan diariamente en la producción, motivo por el cual se pueden producir alteraciones en el desarrollo y crecimiento de los peces, en su productividad y competitividad causando pérdidas en los cultivos.

Al implementar este sistema de monitoreo, se mejora en gran medida la obtención de los datos, minimizando los márgenes de errores de medición, haciendo que estos sean más exactos, lo cual le permite al profesional determinar si el crecimiento en la producción de especies se está llevando a cabo en un ambiente óptimo, y si la producción de peces es efectiva, esto con el fin de ofrecer información necesaria y exacta para consolidar un buen uso de los recursos, logrando así reducir la tasa de mortalidad dentro de los cultivos y aumentando la calidad del producto cosechado. Si ocurre todo lo contrario, se efectúan acciones para que su objetivo sea exitoso.

Además, es muy importante tener información de los análisis y estudios siempre a la mano, para poder realizar análisis acerca del comportamiento histórico del proceso, garantizando un menor tiempo de permanencia en los estanques, esto beneficia al piscicultor siendo de gran ayuda al momento de tomar decisiones, con esto, gracias a la introducción de herramientas tecnológicas, también es posible prever cualquier tipo de evento dentro del estanque piscícola mediante las estadísticas obtenidas del monitoreo aplicado.

2.3. Alcance y Limitaciones

Con la finalidad de solventar la necesidad de optimizar el sistema de monitoreo dentro de los estanques piscícolas se tiene implementado un módulo de sensores, estos sensores tienen como función detectar algunas de las magnitudes físicas y químicas más importantes dentro del crecimiento y desarrollo de un cultivo de peces (pH, Oxígeno disuelto y Temperatura). Por otra parte, se cuenta con un sistema de comunicación inalámbrico que permite enlazar los datos obtenidos por los sensores, para luego ser registrados en un aplicativo web en tiempo real, este aplicativo web tiene una interfaz gráfica, y un menú donde se podrán obtener las mediciones tanto en tiempo real, como mediciones ya realizadas en tiempos pasados, que servirán para el estudio del desarrollo de un cultivo de peces. Finalmente, el sistema de monitoreo consta con un sistema de alerta, que tendrá como finalidad, informar al encargado del monitoreo del estanque, de cualquier perturbación que altere el nivel de estabilidad en los parámetros.

Existen múltiples magnitudes fisicoquímicas importantes en el desarrollo y crecimiento de un cultivo de peces, la obtención de sensores especiales para medir cada uno de estos parámetros representa un limitante, debido a que son muy costosos, por lo tanto, se trabaja únicamente con los sensores de Oxígeno disuelto, Temperatura y pH. Por otra parte, para realizar el envío de la alerta es necesario que el operario se encuentre con acceso a internet o dentro de la cobertura de una red móvil, de lo contrario, se le dificultará recibir la notificación, generando una limitante al momento de recibir la alerta.

2.4. Impactos esperados

Dentro de los principales beneficiarios al momento de la ejecución del proyecto, se encuentran las empresas dedicadas al sector de producción acuícola, sin embargo, debido a que el prototipo tiene la posibilidad de adaptarse para otros tipos de producción, agropecuaria, ganadera u otras industrias, el rango de beneficiarios puede ampliarse a diversos campos que trascienden los alcances del presente trabajo.

Un importante aspecto a destacar es que, al registrar información en el menor tiempo posible, causa impactos positivos en la optimización de tiempo y el desarrollo del recurso humano. Cuando se tiene una mayor cantidad de información, es posible observar de manera más precisa el comportamiento de los parámetros físico-químicos, dentro de un estanque, esto genera una mayor facilidad para la planeación y el estudio de estrategias por parte de los profesionales dedicados a este sector productivo.

Poseer un sistema de monitoreo dedicado, facilita el acceso a información de una manera independiente al lugar geográfico donde el interesado se encuentre, debido a que no será necesario permanecer constantemente en el estanque observando el comportamiento de la misma, brindándole al operario una ventaja en tiempo; útil para realizar otras actividades de interés referentes al desarrollo de producción.

2.5. Marco Teórico

Colombia, debido a su gran diversidad de especies hidrobiológicas, se convierte en un país con mucho potencial para el desarrollo de la acuicultura, además de poseer una gran extensión de área terrestre (1'141.178 Km²) y marítima (988.000 Km²) en las cuales existen zonas adecuadas para adelantar cultivos de peces. El país también cuenta con topografías apropiadas, variados pisos térmicos, temperaturas estables durante el año y disponibilidad de recursos hídricos que permiten un exitosa acuicultura de diferentes especies acuáticas.”(*Guía Práctica De Piscicultura En Colombia. p.7*)

¿Qué sucedería si se juntara el proceso de acuicultura con conceptos nativos de electrónica y programación, automatizando así esta práctica y mejorando el desarrollo de la misma? Para comprender la magnitud del proyecto que se implementará, es necesario conocer algunos conceptos relacionados con la temática que se está tratando, esto con el fin de conceptualizar al lector de algunos términos mencionados a lo largo de la descripción del proyecto.

El tema principal a tener en cuenta es la **acuicultura**, cuya actividad se dedica al cultivo de organismos acuáticos en estanques, piletas y lagos naturales o artificiales, realizada mediante técnicas adecuadas controladas por el hombre. (*Guía Práctica De Piscicultura En Colombia. p.7*).

Relacionado a la acuicultura, existe otro concepto muy importante, el cual es la piscicultura; este es el renglón de la acuicultura relacionado con la cría y engorde de peces. El éxito de la actividad piscícola depende de un buen manejo, tanto del recurso agua como de los peces, la calidad genética, una alimentación balanceada, estricta sanidad, apropiados métodos de conservación y transporte y adecuados canales de comercialización para el producto final. (*Guía Práctica De Piscicultura En Colombia. p.7*).

Dentro de la acuicultura se deben tener en cuenta ciertos parámetros muy influyentes en la calidad del agua, para este proyecto se tratarán dos tipos de parámetros conocidos como parámetros físicos y parámetros químicos del agua:

Los parámetros físicos de la calidad del agua son los que definen las características del agua que responden a los sentidos de la vista, del tacto, gusto y olfato como pueden ser los sólidos suspendidos, turbiedad, color, sabor, olor y temperatura. **Los parámetros químicos de la calidad del agua** están relacionados con la capacidad del agua para disolver diversas sustancias entre las que podemos mencionar a los sólidos disueltos totales, alcalinidad, dureza, fluoruros, metales, materias orgánicas y nutrientes. (INGENIERÍA AMBIENTAL, APUNTES DE INGENIERÍA AMBIENTAL. 2009)

En el desarrollo de este proyecto, los parámetros físicos y químicos que se trabajaron son algunos de los más importantes para el óptimo desarrollo de un cultivo de peces; oxígeno disuelto, pH y temperatura son los escogidos para ser monitoreados. El oxígeno disuelto corresponde al parámetro más importante en la calidad del agua. Si hay déficit se afecta el

crecimiento y la conversión alimenticia de los peces y demás organismos acuáticos. Deben considerarse los siguientes aspectos:

- El oxígeno es disuelto en el agua por difusión desde la atmósfera (por vientos o medios artificiales) y por la fotosíntesis.
- El oxígeno es consumido del agua por la respiración de los organismos lo cual es esencialmente lo inverso al proceso fotosintético. (*Parámetros Físico Químicos. (2016)*).

La temperatura rige algunos parámetros físicos, químicos y biológicos, tales como la evaporación y la solubilidad de los gases. Dentro de los biológicos están los procesos metabólicos como la respiración, nutrición, actividad de las bacterias en la descomposición de la materia orgánica, etc. De ahí la necesidad de conocer y evaluar los cambios de temperatura del agua. (*Parámetros Físico Químicos. (2016)*).

Para realizar el monitoreo de los parámetros antes mencionados, es necesario la implementación de dispositivos capaces de tomar mediciones referentes a tales variables, estos instrumentos conocidos como sensores son aquellos dispositivos que están capacitados para detectar acciones o estímulos externos y responder en consecuencia. Estos aparatos pueden transformar las magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas. (*Definición de Sensor (2016)*).

Tal proceso de monitoreo es realizado bajo un sistema en tiempo real, lo cual consiste en establecer restricciones temporales para la obtención de resultados o la realización de operaciones. El funcionamiento correcto del sistema requiere, por tanto, no solo que las operaciones se realicen correctamente, sino que se realicen en el momento y con la duración adecuada. (*Unidad 6: Sistemas en tiempo real. (2016)*).

Teniendo en cuenta la funcionalidad de una interfaz gráfica de usuario (GUI), cuyo programa o entorno gestiona la interacción con el usuario, basándose en relaciones visuales como iconos, menús o un puntero (*Interfaz Gráfica de Usuario (2016)*), es posible visualizar las mediciones que se llevarán a cabo.

2.6. Antecedentes

En la actualidad la piscicultura se ha involucrado en la producción limpia y desarrollo sostenible, en donde busca objetivos muy similares. El primer objetivo tiene como propósito principal es hacer eficientes los cultivos optimizando los procesos, con este objetivo se busca garantizar una mayor producción con el mínimo de pérdidas para los piscicultores , además producir el menor daño al medio ambiente y una mejor relación en costo y beneficio; el segundo objetivo se enfoca en el desarrollo de la actividad en donde se logre garantizar la conservación de la tierra, el agua y los recursos, sin la necesidad de la destrucción del ambiente y con tecnologías apropiadas, económicamente , viables y socialmente aceptables (FAO, 1999).

Se han implementado diversos proyectos que buscan optimizar tales procesos de producción, algunos de esos proyectos han servido de base para el desarrollo de un sistema de medición de parámetros físicos y químicos para estanques piscícolas de la Universidad del Magdalena

SISTEMA DE MONITOREO DE ESTANQUES TRUCHAS SAN ISIDRO:

Este proyecto de grado plantea diseñar un Sistema de Monitoreo para los cultivos de truchas que está ubicado en la vereda de San Isidro, perteneciente al municipio de Piedecuesta, con el fin que permita la disminución en la mortalidad de peces (trucha) así lograr un aumento en la producción, además de que sea un instrumento de apoyo en el crecimiento y desarrollo de la empresa. (Beltrán Andrés, 2014).

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:

La elaboración de este proyecto consistió en desarrollar un sistema que logrará optimizar el proceso de toma de parámetros de la calidad del agua. Utilizaron una pileta pequeña para hacer la simulación de un estanque, en este proyecto se recurre a varios módulos de sensores que tienen como objetivo tomar las medidas de los parámetros establecidos ,cada 5 minutos este sistema hará un registro de los parámetros ,los datos que obtenga el sistema son visualizados en una interfaz web, este proyecto busca lograr que se minimicen los riesgos en la producción de los cultivos , además de poder optimizar el tiempo y los recursos.(Rivera & Yépez, 2015)

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA PISCÍCOLA EN SAN CLEMENTE DE TÉRAPA, MOCTEZUMA, SONORA

Este proyecto tiene como finalidad en implementar un sistema de monitoreo en estanque piscícolas circulares. En estos hacen un análisis durante 12 semanas, para evaluar el crecimiento de *Oreochromis niloticus* (Tilapias del Nilo). Los desarrolladores de esta propuesta buscaron diseñar un sistema piscícola capaz de tener las condiciones apropiadas tanto en la calidad como

en la cantidad de agua, se evaluó el crecimiento corporal de la especie y como logran subsistir bajo las condiciones del sistema, finalmente analizan la viabilidad que tiene el cultivo para los requisitos particulares del proyecto. (Vásquez, Silva, Angulo & Montañez.2011)

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA MONITOREO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EN CULTIVO DE TILAPIA A TRAVÉS DE UNA APLICACIÓN MÓVIL:

Este proyecto tiene como objetivo el diseñar e implementar un prototipo electrónico que permita el monitoreo de los parámetros físico-químicos (temperatura y oxígeno disuelto), con la finalidad de poder detectar los momentos críticos que presente el cultivo. Las pruebas de campo se realizaron en la granja piscícola “Pezcomsi”, ubicada en el municipio de Campo Alegre, en el departamento del Huila Colombia. (Dussan, Vanegas, Chavarro, Molina, 2016).

AUTOMATIZACIÓN DE ESTANQUES PARA CRÍA DE ESPECIES ACUÁTICAS, FASE 2: MONITOREO DE NIVEL, PH Y TEMPERATURA:

Para este proyecto se quiere llevar el monitoreo de parámetros en dos estanques, para luego usarlo en el análisis del seguimiento de las crías de especies acuáticas para el consumo humano, en donde tiene un grupo de sensores que son implementados para evaluar las variables que se relacionan con parámetros físicos y químicos del agua, para este proyecto se midió los parámetros de temperatura y los niveles de pH. (García y otros, 2015)

2.7. OBJETIVOS

2.7.1. Objetivo General

- Desarrollar un sistema de automatización en la toma de parámetros físico-químicos para los estanques piscícolas de la Universidad del Magdalena

2.7.2. Objetivos Específicos

- Seleccionar los sensores electrónicos teniendo en cuenta: disponibilidad, relación costo-beneficio, precisión y confiabilidad.
- Diseñar e implementar un sistema de medición de parámetros físicos y químicos del agua.
- Implementar un sistema de comunicación inalámbrico que permita enviar las mediciones obtenidas por los sensores a una base de datos.
- Diseñar un aplicativo web en tiempo real que permita almacenar los datos obtenidos las 24 horas del día.
- Programar un sistema de alerta que permita notificar al usuario de cualquier perturbación del sistema.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Tipo De Investigación

Existe un tipo de investigación que se acomoda al proyecto y a su finalidad, ***La Investigación Aplicada***, “este también recibe el nombre de investigación práctica o empírica. Se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren. La investigación aplicada se encuentra estrechamente vinculada con la investigación básica, pues depende de los resultados y avances de esta última; esto queda aclarado si se percata que toda investigación aplicada requiere de un marco teórico. (Marín, 2008)

3.2. Instrumentos

Para el desarrollo del proyecto son necesarios instrumentos capaces de realizar mediciones de Temperatura, Oxígeno Disuelto, y pH, para esto se utilizan sensores de precisión especializados para esta tarea los cuales son de la marca *Atlas Scientific*, para la medición del parámetro de pH se utiliza un sensor especializado como el que se puede apreciar en la Figura 1. El cual tiene una alta precisión y tiene una expectativa de vida de 2 años y medio lo cual lo hace ideal para las aplicaciones de medición que se llevan a cabo



Figura 1. Sensor de PH marca ATLAS SCIENTIFIC



Figura 2. Sensor de oxígeno disuelto marca ATLAS SCIENTIFIC

Para el ámbito de la medición de oxígeno en el agua se utiliza un sensor similar de la marca *Atlas Scientific* especializado en la medición de oxígeno disuelto, como el que se puede apreciar en la Figura 2. El sensor posee una precisión de 0.05 mg/L, tiene una expectativa de vida de 5 años y un bajo mantenimiento lo cual lo hace excelente para la aplicación de este proyecto

Por último, para la medición de temperatura se utiliza una termocupla tipo K, como la que se puede notar en la Figura 3. Este tipo de termocupla tiene un amplio rango de medición con una resolución de 0.5°C

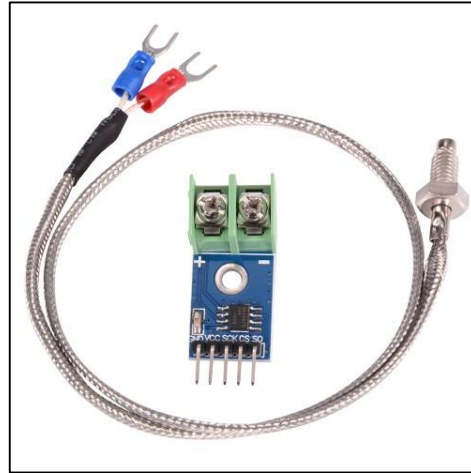


Figura 3. Termocupla tipo K

Además, se debe contar con un micro-controlador que ejecute las órdenes de medición y este a su vez, permita la conexión con el sistema de comunicación inalámbrica, y el enlazamiento con el dispositivo de alerta. Para esta tarea trabajan en conjunto la raspberry pi 3 y un Arduino MEGA, la Raspberry pi 3 se encarga de la tarea de recoger los datos de los sensores de PH y oxígeno disuelto y el Arduino MEGA tiene la tarea de obtener el dato de temperatura proveniente de la termocupla, además de ejercer la tarea del sistema de alarma mediante un módulo SIM800L (Figura 4, Figura 5, Figura 6).

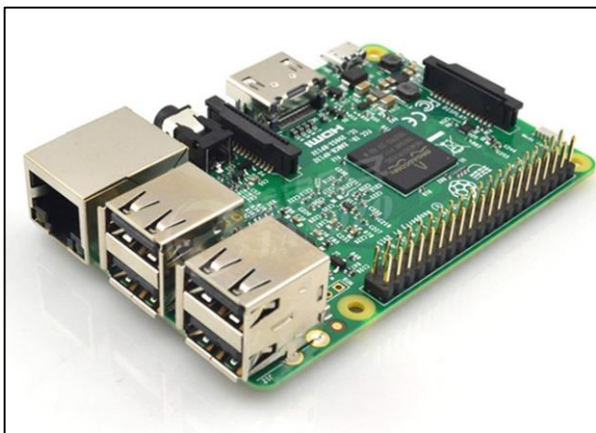


Figura 4. Raspberry pi 3



Figura 5. Módulo SIM800L

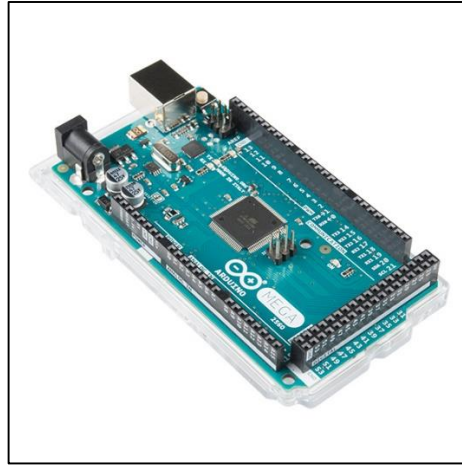


Figura 6. Arduino MEGA 2560

Finalmente, estos datos son enviados a un aplicativo web, el cual se enseña en la Figura 7. Este contiene una base de datos en donde se visualizan todas las mediciones referentes a los parámetros físicos químicos encontrados en los estanques piscícolas. Los datos se muestran tanto en forma gráfica como en forma tabular para un mejor análisis de los parámetros.



Figura 7. Aplicativo web (inicio)

3.3. Técnicas de recolección de datos en tiempo real

3.3.1. Forma tabular

En la Figura 8, podemos apreciar cómo se ven reflejados los parámetros a medir, en donde nos indica la hora y fecha de la medición con el valor del parámetro a medir.



se conecto a la base

Medidor de parametros

Tiempo y fecha	Temperatura	PH	Oxígeno
2019-09-26 06:11:38	25	4.449	25.69
2019-09-26 06:21:43	25	4.446	25.71
2019-09-26 06:31:48	25	4.45	25.74
2019-09-26 06:41:53	25	4.449	25.77
2019-09-26 06:51:58	25	4.45	25.79
2019-09-26 07:02:03	25	4.448	25.79
2019-09-26 07:12:13	25	4.448	25.78
2019-09-26 07:22:18	25	4.444	25.78
2019-09-26 07:32:23	25	4.448	25.77
2019-09-26 07:42:33	25	4.441	25.77
2019-09-26 07:52:38	25	4.44	25.76
2019-09-26 08:02:44	26	4.44	25.64
2019-09-26 08:12:49	26	4.436	25.45
2019-09-26 08:22:54	26	4.426	25.26
2019-09-26 08:33:00	24	4.435	25.07
2019-09-26 08:43:06	22	4.448	24.88
2019-09-26 08:53:14	24	4.45	24.53
2019-09-26 09:03:20	26	4.441	23.93
2019-09-26 09:13:27	26	4.436	23.29

Figura 8. Aplicativo web (tabla de datos)

3.3.2. Forma gráfica

En la Figura 9, los datos se ven reflejados por medio de un gráfico 2D de forma lineal el cual nos indicará la descripción del valor del parámetro, el gráfico nos permite comparar cómo cambia el parámetro mientras transcurre el día. En el eje horizontal (X) se representa la fecha y hora de toma del parámetro y en el eje vertical (Y) representa la magnitud del parámetro (oxígeno disuelto, PH y temperatura) todos estos datos son representados gráficamente en tiempo real.

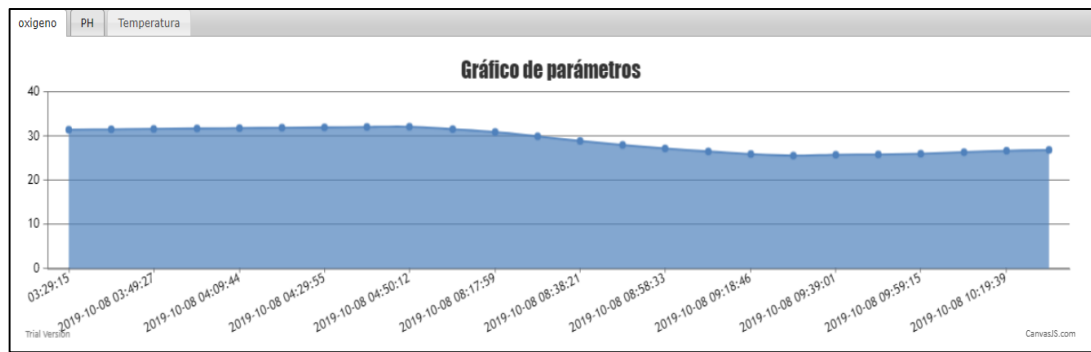


Figura 9 Gráfico de parámetros (oxígeno disuelto, PH, temperatura)

3.4. Etapas

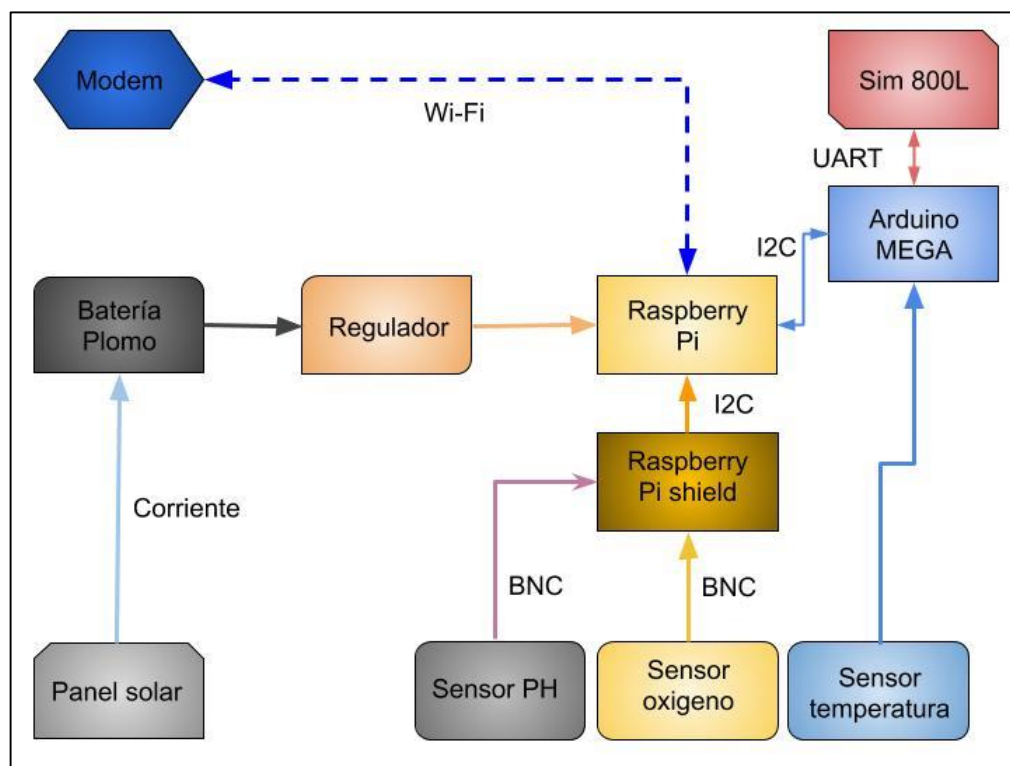


Figura 10. Diagrama de secuencia de fases del proyecto

En el diagrama de la Figura 10 se pueden apreciar las diversas etapas que componen el proyecto, el cual se componen en:

3.4.1. Etapa de alimentación energética

En esta etapa se detalla el proceso en el cual se energiza el proyecto, como se puede apreciar en la Figura 11.

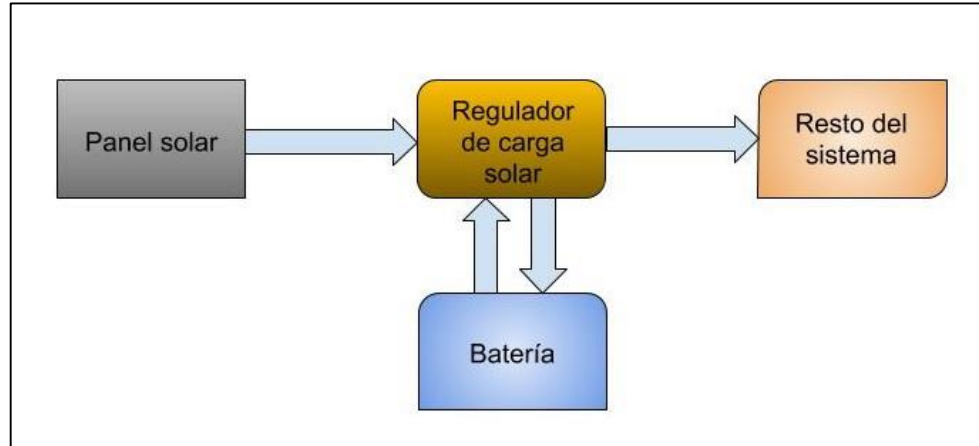


Figura 11. Diagrama de bloques de la etapa de alimentación

Esta etapa consta de un panel solar el cual acumula la energía y la envía a un componente adquirido el cual es un regulador de carga solar como el que se muestra en la Figura 12, el cual administra entre la carga a la batería de plomo y la alimentación al resto del sistema, esto le permite al sistema una autonomía de aproximadamente de 24 horas de trabajo sin la necesidad de estar conectado a las instalaciones eléctricas que se encuentren en el laboratorio lo cual le permite seguir trabajando al momento de verse afectado el flujo eléctrico en el laboratorio.



Figura 12. Regulador de carga solar

3.4.2. Etapa de sensores

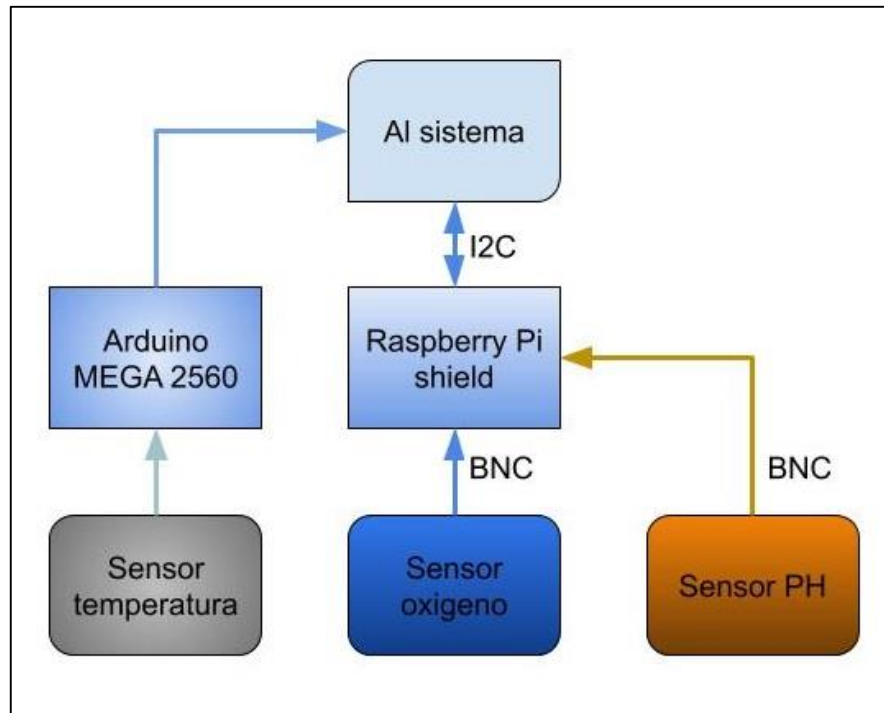


Figura 13. Diagrama de bloques de la etapa de sensores

Esta etapa, la cual se puede apreciar su esquema en la Figura 13, da el inicio de la obtención de datos de parámetros. Se interconectan los 2 módulos de sensores (oxígeno disuelto y PH) con la shield de raspberry pi 3 Tentacle T3 adquirida que se muestra en la Figura 14, se tienen en cuenta las especificaciones de los sensores que se instalan, así como su hoja de datos y demás características. Para que esta etapa funcione correctamente, se realizan las pruebas pertinentes al sistema de medición, hasta que este sea capaz de medir con precisión los parámetros a tratar en este proyecto.



Figura 14. Shield de raspberry pi 3 Tentacle T3

3.4.3. Etapa de control y comunicación

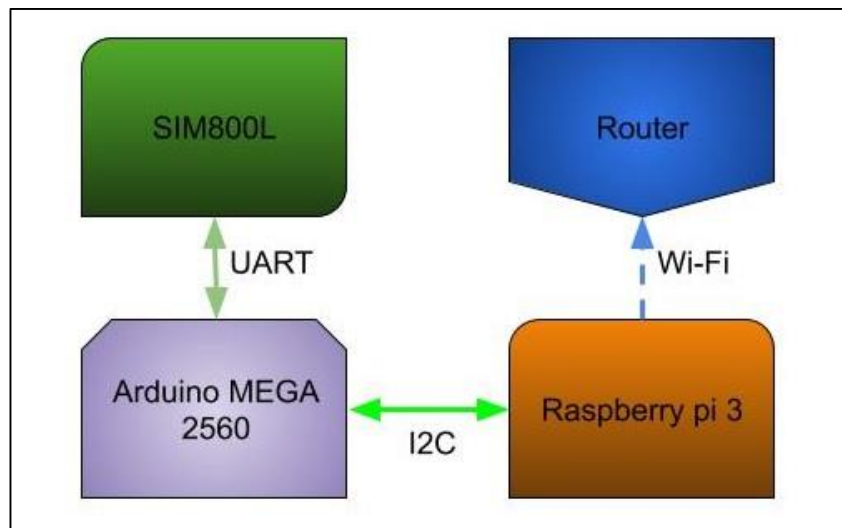


Figura 15. Diagrama de bloques de la etapa de control y comunicación

En esta etapa están implementados los diferentes módulos de comunicación inalámbrica y control, como se muestra en la Figura 15, se tienen en cuenta sus características, costos, rangos de transmisión, efectividad y operatividad en zonas húmedas. La etapa se divide en dos secciones, la etapa de control y comunicación inalámbrica menor y la etapa de control y comunicación inalámbrica principal. En la etapa de control y comunicación inalámbrica

menor se usa un Arduino MEGA 2560 para hacer la gestión de control del envío de mensajes por medio de la red GSM gracias a que el Arduino MEGA tiene acoplado un módulo SIM800L; a su vez el micro-controlador se encarga de obtener la variable de temperatura procedente de la termocupla, y esta variable es enviada a la raspberry pi 3 por medio del protocolo I2C. El sistema de control y comunicación inalámbrico principal lo conforma la raspberry pi 3, la cual permite que esta etapa envíe las mediciones obtenidas por los sensores de: PH, oxígeno disuelto y temperatura, hacia la base de datos ubicados en un servidor web.

Es probable que en algunos casos el sistema de comunicación falle, debido a que el router no tiene fluido eléctrico y por tanto no hay fluido eléctrico en la instalación, es tarea del sistema de control y comunicación menor enviar una alerta que informe de las variables de PH, oxígeno y temperatura cada determinada hora mientras se restablezca la red eléctrica y el sistema de comunicación principal vuelva a funcionar a la normalidad.

4. DESARROLLO DEL PROYECTO

El sistema se comunica de forma unidireccional por medio de vía internet como se puede apreciar en la Figura 16. La estación de medición está ubicada directamente en el laboratorio (Grupo de investigación GIDTA) para obtener las mediciones, luego de obtenerlas, estas son enviadas por internet a un servidor y aplicativo en donde se verán reflejados los resultados tanto de forma gráfica como de forma tabular.

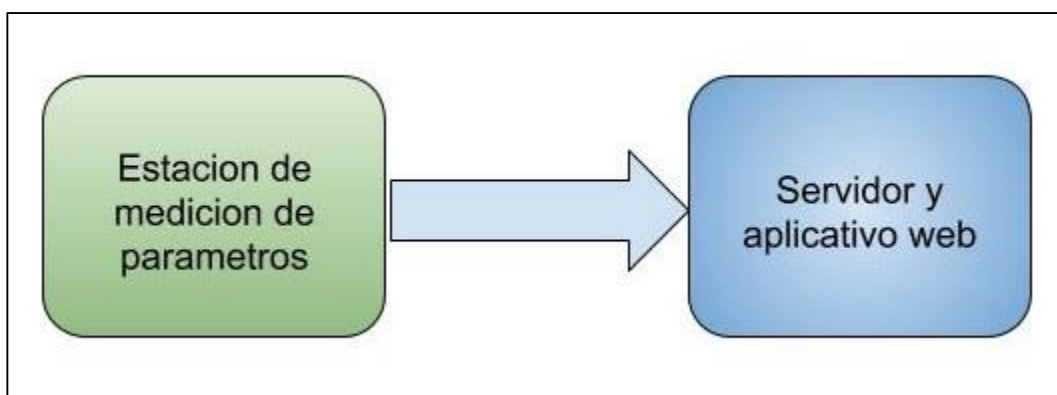


Figura 16. Diagrama de funcionamiento general

4.1. Sistema de alerta

El sistema de control cuenta con un sistema de alerta como se aprecia en la Figura 17, el cual indica cualquier perturbación que se presente al momento de la medición y sobrepase el nivel que se le establezca al parámetro. La notificación de la alerta es enviada por mensaje de texto al encargado del laboratorio.

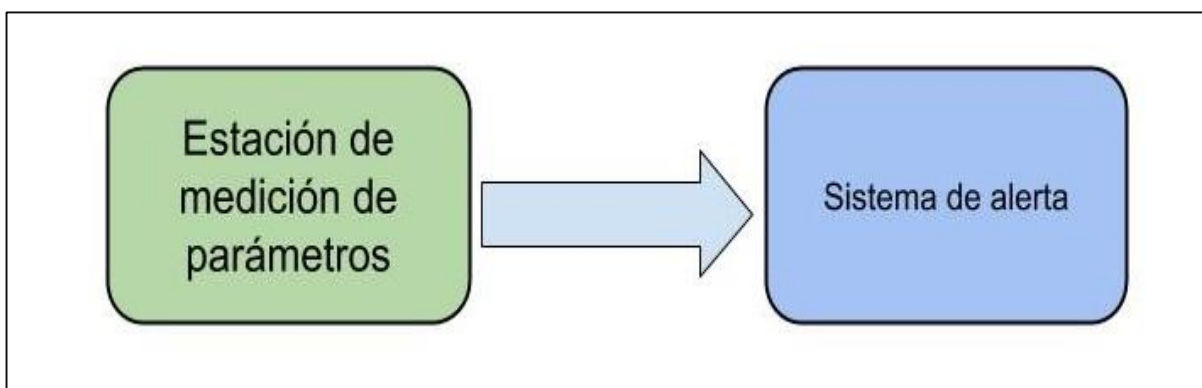


Figura 17. Diagrama del sistema de alerta

4.2. Funcionamiento del sistema de alerta

El sistema de alerta se activa al momento que algunos de los parámetros presente un cambio repentino al nivel que se le ha establecido, pero ¿cómo funciona el sistema de alerta? Primero se realiza la medición por medio de los dos micro-controladores que posee el sistema de medición (raspberry pi 3 y Arduino mega 2560) quienes son los encargados de recolectar los datos del sistema, el Arduino mega 2560 mide el parámetro temperatura y lo envía a la raspberry pi3, este micro controlador es el encargado de revisar si lo parámetros están en el nivel indicado, pero en caso que no lo estén ya sea por encima o debajo del nivel establecido. Luego de detectar un desnivel en algunos de los parámetros la raspberry pi 3 se encarga de empaquetar el dato afectado y lo envía al Arduino mega 2560 que a su vez lo envía al módulo sim (SIM800L), de manera que éste remite la notificación de advertencia al encargado del laboratorio. Al momento que un parámetro presente una anomalía, el mensaje es enviado vía mensaje de texto (Figura 18).

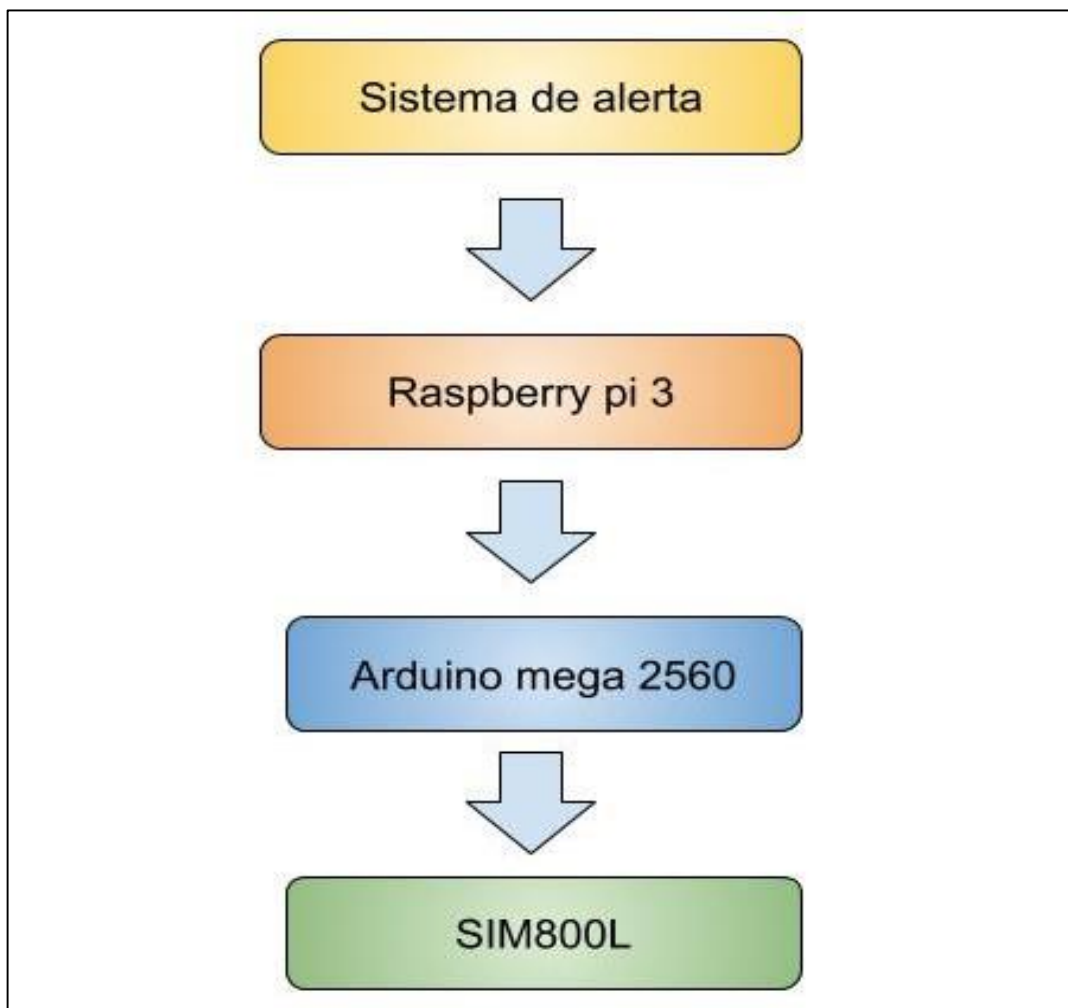


Figura 18. Diagrama de funcionamiento del sistema de alerta

4.3. Instalación de los componentes (interior)

El dispositivo de medición está instalado en una base metálica de 1,20 m de altura como nos muestra la Figura 20, los componentes están dentro de una carcasa de acrílico, dentro de esta carcasa están los reguladores de voltaje. El módulo de termocupla y el módulo SIM800L están acoplados a una shield diseñada para el Arduino MEGA 2560 como se puede apreciar en la Figura 19. El regulador está conectado al módulo SIM800L el cual opera a un voltaje de 4.2 V, se tiene un segundo regulador de respaldo en caso llegue a fallar el primer regulador; el módulo Sim está instalado en una shield, esa misma shield permite la conexión al módulo de la termocupla, la cual es la encargada de registrar el parámetro de temperatura, finalmente ésta es conectada al Arduino mega 2560 para su total funcionamiento.

La shield de raspberry pi 3 Tentacle T3 se encuentra conectada con la raspberry pi 3, la cual conecta los sensores (oxígeno disuelto, PH) a través de conectores BNC que salen de la estructura de acrílico hacia el estanque para que pueda hacer las respectivas mediciones, además la raspberry conecta una pantalla LCD que permite visualizar el nivel de los parámetros de forma directa.

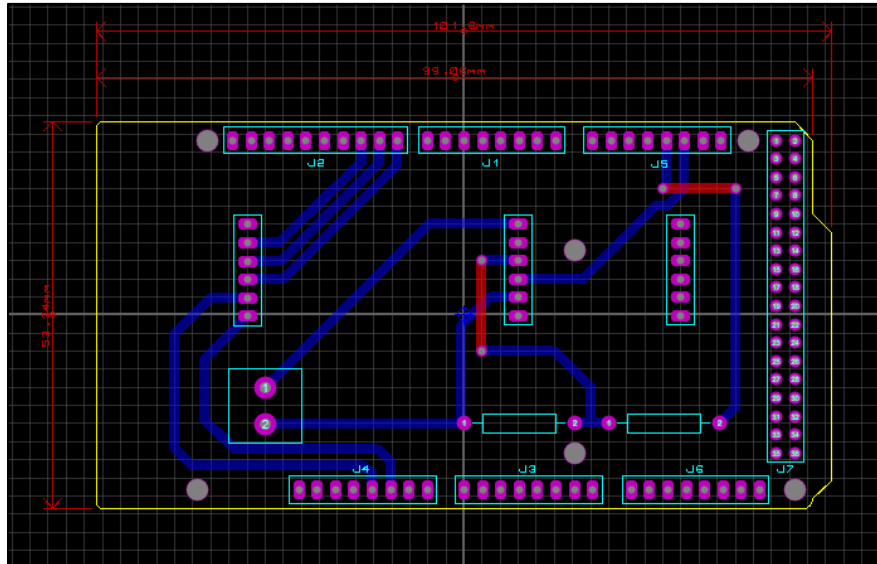


Figura 19. Diseño de shield PCB para el arduino MEGA 2560

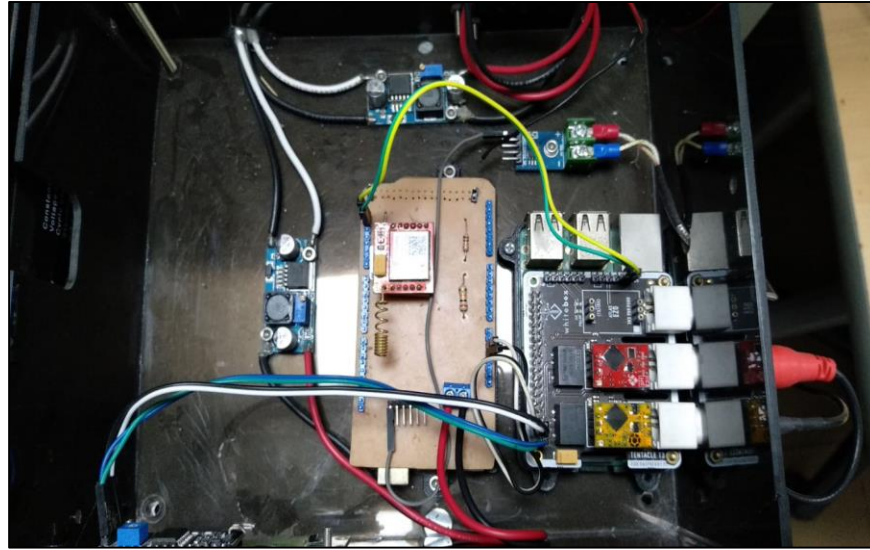


Figura 20. Construcción de etapa de regulación y de control

4.4. Instalación de los componentes (exterior)

En la parte exterior, como se puede apreciar en la Figura 21 de nuestro sistema, se hace la instalación del regulador de carga solar, el cual va a suministrar la energía a todo el sistema, además de un ventilador DC, este se encarga de mantener que los dispositivos dentro de la estructura de acrílico eleven su temperatura a un nivel en el cual vaya a afectar el funcionamiento del sistema, por último, se hace la instalación de la batería de plomo la cual permite un funcionamiento autónomo del sistema de hasta unas 24 horas.



Figura 21. Construcción de la etapa de alimentación

4.5. Instalación de la etapa solar

El sistema cuenta con una etapa solar, ver Figura 22, la etapa solar cuenta con un panel solar poli-cristalino de 80W a 24V y un punto eléctrico que se encuentra en el interior del laboratorio de acuicultura.



Figura 22. Construcción e implementación de la etapa solar

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El lugar donde está ubicado el sistema de medición, es en el laboratorio de acuicultura ubicado en el hangar D, donde trabaja el grupo de investigación GIDTA (Grupo de investigación y desarrollo tecnológico en acuicultura) es el grupo que tiene a su disposición este proyecto de investigación (Figura 23).



Figura 23. Laboratorio de acuicultura

En la Figura 24 y 25, se muestra los estanques en donde está implementado el sistema de medición el cual desarrolla sus respectivas mediciones, como se dijo anteriormente el sistema funciona 100% con energía solar, lo cual garantiza una autonomía de más de 24 horas a todo el sistema para que este cumpla con su objetivo sin ninguna interrupción.



*Figura 24. Instalaciones del laboratorio de acuicultura
(Parte occidental)*



*Figura 25. Instalaciones del laboratorio de acuicultura
(Parte frontal)*

En la Figura 26, 27 y Figura 28, se hace la instalación y verificación de que todos los componentes estén funcionando correctamente, concluido lo anterior se procede a insertar los 3 sensores para que comenzaran con el registro de los datos, se tomaron 24 datos diarios, un dato por cada hora transcurrida en el día.



Figura 26. Instalación del medidor de parámetros en uno de los estanques del laboratorio de acuicultura



Figura 27. Instalación del medidor de parámetros en uno de los estanques del laboratorio de acuicultura (vista frontal)



Figura 28. Instalación del medidor de parámetros en uno de los estanques del laboratorio de acuicultura (vista en perspectiva)

Se desarrolla la primera prueba en unos de los estanques durante un día entero el 12 de octubre del 2019 desde las 3:00 pm hasta las 3:00 pm del día 13 de octubre del 2019 como se muestra

en la Tabla 1. Visualización de los datos en forma tabular, la cual contiene los datos obtenidos de forma tabular y en la Figura 29 se muestran los datos obtenidos de forma gráfica para un mejor análisis de los datos.

Tabla 1. Visualización de los datos en forma tabular

Fecha	Temperatura	pH	Oxígeno
12/10/2019 15:00	22	6,05	7,489
12/10/2019 16:00	22	6,11	7,49
12/10/2019 17:00	21	6,265	7,356
12/10/2019 18:00	21	6,456	7,065
12/10/2019 19:00	21	6,495	7,116
12/10/2019 20:00	20	6,564	7,205
12/10/2019 21:00	20	6,574	7,425
12/10/2019 22:00	20	6,659	7,546
12/10/2019 23:00	20	6,875	7,687
13/10/2019 0:00	20	6,457	7,654
13/10/2019 1:00	19	6,549	7,353
13/10/2019 2:00	19	6,587	7,758
13/10/2019 3:00	19	6,602	7,787
13/10/2019 4:00	20	6,487	7,564
13/10/2019 5:00	20	6,503	7,598
13/10/2019 6:00	20	6,486	7,554
13/10/2019 7:00	20	6,486	7,554
13/10/2019 8:00	21	6,489	7,452
13/10/2019 9:00	21	6,545	7,406
13/10/2019 10:00	22	6,486	7,564
13/10/2019 11:00	22	6,447	7,522
13/10/2019 12:00	23	6,421	7,487
13/10/2019 13:00	23	6,426	7,465
13/10/2019 14:00	23	6,431	7,545
13/10/2019 15:00	22	6,562	7,571

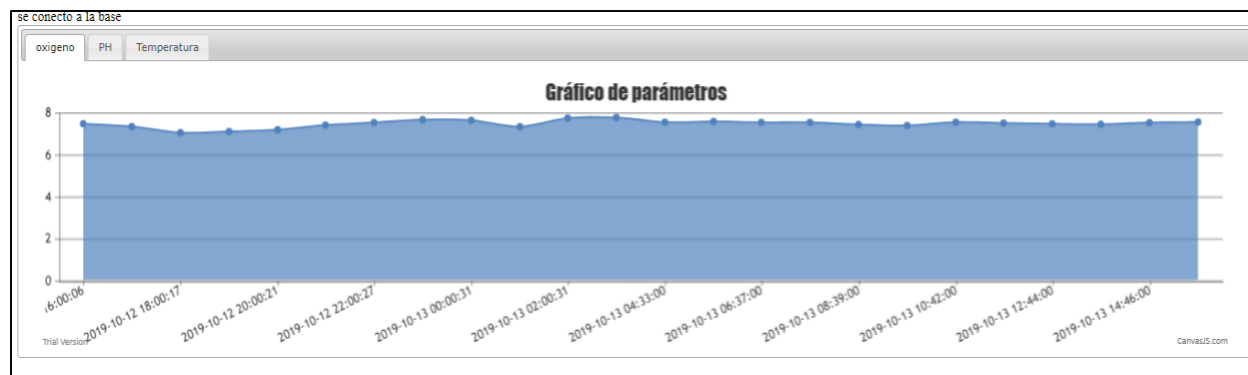


Figura 29. Visualización de los datos de forma gráfica

Como el número de datos es muy extenso, no se permite que los datos se visualicen en la parte inferior del gráfico, se debe revisar cada puntuación que trae el gráfico en la parte superior, esos puntos muestran la fecha, hora y magnitud del parámetro a registrar, se revisan los parámetros de forma individual para no presentar ningún inconveniente a la hora de analizarlo.

Con los resultados obtenidos, se procede con un análisis de datos para comprobar el correcto funcionamiento del medidor de parámetros, en este caso se hace un análisis de coeficiente de correlación el cual permite conocer si un parámetro influye en otro parámetro. Los resultados son los siguientes como se pueden apreciar en la Tabla 2 y la Figura 30, Figura 31 y Figura 32.

Tabla 2. Correlaciones entre parámetros

Correlación temperatura y pH	-0,503318365
Correlación pH y oxígeno	0,217386367
Correlación temperatura y oxígeno	-0,192328732

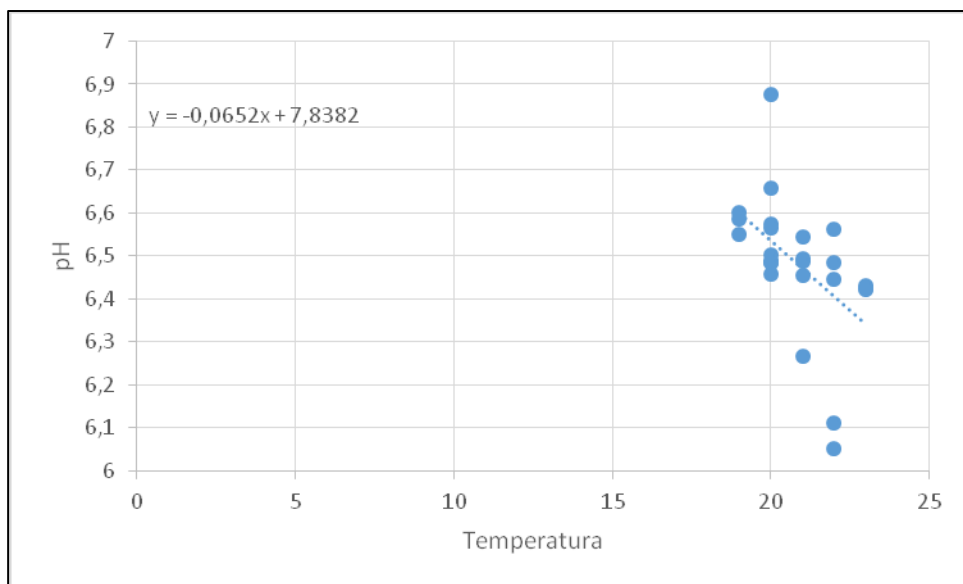
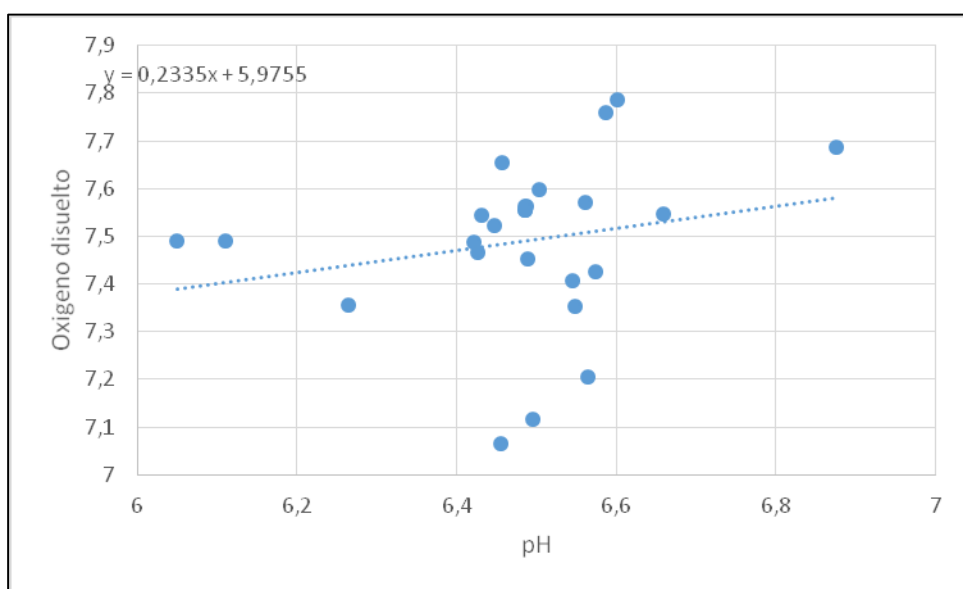


Figura 30. Dispersión de temperatura y pH



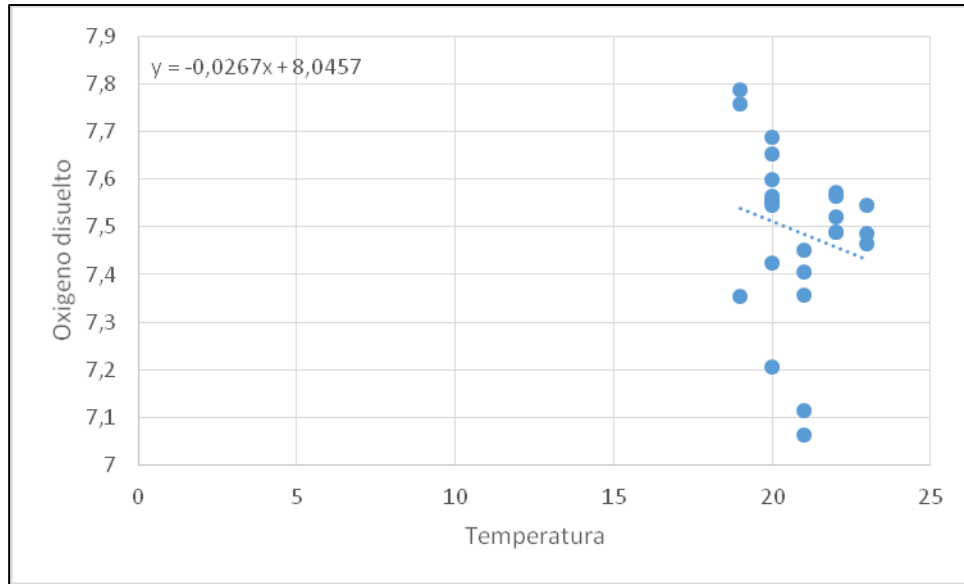


Figura 32. Dispersión de temperatura y oxígeno

A partir de los análisis de correlación lineal, se observaron resultados de dispersión aleatoria y no se marca una línea de tendencia que las relacione, se puede deducir a partir de estas conclusiones que ningún parámetro influye en el otro y hace comprobación de que el sistema de medición de parámetros está funcionando adecuadamente.

6. CONCLUSIONES

La selección de los sensores de medición (temperatura, oxígeno disuelto, PH) fue óptima. Este sistema cuenta con sensores de la marca Atlas Scientific (oxígeno disuelto y PH) los cuales tienen altos niveles de precisión, respuesta de tiempo, expectativa de vida, trabajan a altas profundidades, todo esto resultó beneficioso para obtener resultados exactos en la toma de parámetros en los estanques piscícolas.

Gracias a la instalación del sistema de medición de parámetros se ha facilitado en gran medida la toma de manera automatizada de medidas de parámetros de oxígeno disuelto en agua, PH y temperatura en el laboratorio de acuicultura, permitiendo una eficaz e inmediata valoración de estos datos.

El registro de los datos en un aplicativo web facilita en gran medida la adquisición de los datos por parte de los investigadores del laboratorio de acuicultura, puesto que cualquiera de los investigadores que esté a cargo del laboratorio de acuicultura puede acceder a estos de manera instantánea.

Gracias al sistema de alerta es posible enviarles alertas a los investigadores en cualquier parte donde estén, para verificar si alguna variable tiene alguna anomalía.

7. PRESUPUESTO

7.1. Recursos Humanos

Personal	Formación Académica	Función dentro del proyecto	Dedicación Horas/semanas	Recursos		Total
				UNIMAG (CI)	Otras fuentes	
Andrés Felipe Valle González	Estudiante	Co-investigador	12	\$ 1.120.000		\$ 1.120.000
Romario José Rodríguez Pérez	Estudiante	Co-investigador	12	\$ 1.120.000		\$ 1.120.000
Carlos Arturo Robles Algarín	PhD.	Director	2	\$ 6.650.000		\$ 6.650.000
Adriana Rodríguez Forero	PhD.	Co-director	2	\$ 6.650.000		\$ 6.650.000
TOTAL			28	\$ 15.540.000		\$ 15.540.000

Tabla 3. Tabla de recursos humanos

7.2. Recursos institucionales

Recurso	Cantidad	Justificación	UNIMAG (CI)	TOTAL
Computadores	2	Se realiza la programación y las pruebas pertinentes para la calibración de los sensores	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000
Horas de uso del laboratorio de electrónica analógica y digital	22	Realizar pruebas de funcionamiento y operatividad a sensores	\$ 0	\$ 0
TOTAL			\$ 2.000.000	\$ 2.000.000

Tabla 4. Tabla de recursos institucionales

7.3. Recursos adicionales

Recursos	Justificación	Fuente		total
		UNIMAG (CI)	Co-investigadores	
Raspberry pi 3	Hardware central de procesamiento	\$ 295.000	\$ 0	\$ 295.000
termocupla tipo k	Sensor de temperatura	\$ 315.000	\$ 0	\$ 315.000
Kit de oxígeno disuelto ATLAS SCIENTIFIC	Sensor de oxígeno disuelto	\$ 950.000	\$ 0	\$ 950.000
Filamento PLA negro	Materia prima para la impresión de chasis de componentes	\$ 230.000	\$ 0	\$ 230.000
Módulo SIM800L	Modulo para envío de mensajes de alerta	\$ 79.000	\$ 0	\$ 79.000
Modulo shield raspberry tentacle T3	Shield para el montaje de sensores de oxígeno y PH	\$ 46.000	\$ 0	\$ 46.000
Controlador de carga solar de 10A	Controlador encargado de la gestión energía	\$ 110.000	\$ 0	\$ 110.000
Memora micro SD 16GB clase 10	Unidad de almacenamiento de la raspberry pi 3	\$ 38.000	\$ 0	\$ 38.000
Router Yp-link Tlwr841hp 300mbps	Router encargado de la conectividad a internet del proyecto	\$ 210.000	\$ 0	\$ 210.000
Panel solar	Unidad de generación de energía eléctrica	\$ 0	\$ 0	\$ 0

Cable solar	Cables de transporte eléctrico del panel solar al proyecto	\$ 0	\$ 130.000	\$ 130.000
Acrílico	Materia prima para la construcción del chasis	\$ 0	\$ 0	\$ 0
TOTAL				\$ 2.403.000

Tabla 5. Tabla de recursos adicionales

7.4. Costo total del proyecto

Rubros	fuentes		subtotal	total sin capacidad instalada
	Unimag (capacidad instalada)	Co-investigadores		
Humano	\$ 15.540.000	\$ 0	\$ 15.540.000	\$ 0
Institucionales	\$ 2.000.000	\$ 0	\$ 2.000.000	\$ 0
adicionales	\$ 2.273.000	\$ 130.000	\$ 2.403.000	\$ 130.000
imprevistos	\$ 0	\$ 500.000	\$ 500.000	\$ 500.000
TOTAL			\$ 20.443.000	\$ 630.000

Tabla 6. Tabla de costo total del proyecto

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8.1. Bibliografía

- (1) Merino, Salazar, Gómez. *Guía Práctica de Piscicultura en Colombia*. 2006
- (2) Rivera & Yépez. *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*. 2015.
- (3) INGENIERÍA AMBIENTAL, *APUNTES DE INGENIERÍA AMBIENTAL*, 2009, recuperado de: <http://ingenieriaambientalapuntos.blogspot.com.co/2009/03/parametros-fisicos-quimicosy.html>
- (4) *Parámetros Físico Químicos*, 2016, recuperado de: <http://consideracionesacuicolas2.webnode.com.co/news/parametros-fisico-quimicos/>
- (5) Navarro, Padilla & Prías, *Construcción de un Sistema de Instrumentación para la Medición de la Temperatura, pH y Oxígeno Disuelto presentes en la Piscicultura bajo Condiciones de Estanque Artificial*, 2013.
- (6) Beltrán Andrés. *Sistema de Monitoreo de Estanques Truchas San Isidro*, 2014.
- (7) Pérez y Gardey, 2010, *Definición de sensor*, recuperado de: <http://definicion.de/sensor/>.
- (8) *Unidad 6: Sistemas en tiempo real*, 2016, recuperado de: <http://sisoperados06.blogspot.com.co/p/unidad6-sistemas.html>
- (9) Dussan & Otros, *Diseño e implementación de un prototipo electrónico para monitoreo de parámetros físico-químicos en cultivo de tilapia a través de una aplicación móvil*. 2016
- (10) García & otros, *Automatización de estanques para cría de especies acuáticas, fase 2: Monitoreo de nivel, pH y temperatura*, 2015.
- (11) Marín Alba, *Metodología de la investigación*, 2008, recuperado de: <https://metinvestigacion.wordpress.com/>