

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA PESQUERA



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO
AUTOMATIZADO PARA LA CRIANZA DE *Oreochromis niloticus*
“Tilapia”, MEDIANTE TECNOLOGIA ARDUINO**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE BIÓLOGO PESQUERO

AUTOR:

DAVID PACO LUJAN CORRO

ASESORA: Dra. ALINA MABEL ZAFRA TRELLES

COASESOR: Mg. MARIANO LUJAN CORRO

TRUJILLO – PERÚ

2018

DEDICATORIA

A Dios

Principalmente por haberme guiado en el sendero correcto, por permitirme vivir experiencias inolvidables dentro de la universidad siendo mi principal apoyo y motivador en cada momento.

“Eres el dueño de mi destino”

A mis padres Arquímedes y Aguedita

Por su apoyo en todo momento, por su amor, sus consejos, sus valores y por la motivación constante que me ha permitido seguir adelante.

A mis hermanos

Por ser ejemplos de superación enseñándome a no decaer ante un fracaso y por su participación directa o indirectamente en la elaboración de este trabajo.



AGRADECIMIENTO

A ti Dios mío es el agradecimiento por bendecirme cada día de mi vida, por fortalecerme para cumplir mis metas y permitirme llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad mi sueño de hacerme profesional.

A la Universidad Nacional de Trujillo por haberme aceptado ser parte de ella para estudiar y ser un profesional.

A mi asesora de tesis la Dra. Alina Zafra Trelles, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación me oriento en la realización de esta tesis.

A mi Co-Asesor Ms. Mariano Lujan Corro, quien con su apoyo se hizo posible la ejecución de este trabajo.

Al Ing. Ascon Dionicio Gregorio Mayer por el espacio brindado en el laboratorio de alimentos y sobre todo por su amistad y humildad.

También me gustaría agradecer a los profesores de la escuela profesional de Biología Pesquera, por compartir sus conocimientos, por sus consejos, sus enseñanzas y más que todo por su amistad, por su visión crítica de muchos aspectos cotidianos de la vida, por su rectitud en su profesión como docente que ayudan a formarte como persona e investigador.

Y por último a mis padres y hermanos, los cuales me han motivado y brindado su apoyo incondicional durante mi formación profesional. Hay tantas personas a quien agradecer por su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están presentes aun y otras ya han partido pero siempre los llevaré en mis recuerdos y en mi corazón sin importar en donde se encuentren, agradezco a ellos por formar parte de mi vida.

Dios los bendiga.



PRESENTACIÓN

SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO:

En cumplimiento con las disposiciones vigentes de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Trujillo someto a vuestra consideración para que se evalúe el informe de tesis **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO AUTOMATIZADO PARA LA CRIANZA DE *Oreochromis niloticus* “Tilapia”, MEDIANTE TECNOLOGIA ARDUINO**, siendo uno de los requisitos indispensables para optar el Título de Biólogo Pesquero.

Trujillo, septiembre 2018

Br. David Paco Lujan Corro

APROBACIÓN

Los profesores que suscriben, miembros del Jurado Examinador, declaran que el presente Informe de Tesis ha cumplido con los requisitos formales y fundamentales, siendo APROBADO por UNANIMIDAD.

Dr. Roger Marino Alva Calderón
PRESIDENTE

Dr. Moisés Díaz Barboza
SECRETARIO

Dra. Alina Mabel Zafra Trelles
VOCAL

MIEMBROS DEL JURADO

Dr. Roger Marino Alva Calderón
PRESIDENTE

Dr. Moisés Díaz Barboza
SECRETARIO

Dra. Alina Mabel Zafra Trelles
VOCAL



DEL ASESOR

La que suscribe, Dra. ALINA MABEL ZAFRA TRELLES asesora de la tesis titulada: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO AUTOMATIZADO PARA LA CRIANZA DE *Oreochromis niloticus* “Tilapia”, MEDIANTE TECNOLOGIA ARDUINO**, certifica que ha sido desarrollado en conformidad con los objetivos propuestos, la cual ha sido revisada y acoge las observaciones y sugerencias alcanzadas. Por lo tanto autorizo al Br. David Paco Lujan Corro, para continuar con el trámite correspondiente.

Trujillo, Septiembre 2018

Dra. ALINA MABEL ZAFRA TRELLES

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Dr. FREDDY ROGER MEJÍA COICO

DECANO

Dr. MOISÉS EFRAÍN DÍAZ BARBOZA

DIRECTOR

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA PESQUERA

Dra. ALINA MABEL ZAFRA TRELLES

DIRECTORA

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE PESQUERÍA



AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

Dr. ORLANDO MOISÉS GONZÁLES NIEVES

RECTOR

Dr. STEBAN ALEJANDRO ILICH ZERPA

SECRETARIO GENERAL

Dr. RUBÉN CÉSAR VERA VÉLIZ

VICE-RECTOR ACADEMICO

Dr. WEYDER PORTOCARRERO CÁRDENAS

VICE-RECTOR DE INVESTIGACIÓN



INDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
PRESENTACIÓN.....	iv
APROBACIÓN.....	v
MIEMBROS DEL JURADO	vi
DEL ASESOR	vii
AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS.....	viii
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO	ix
INDICE.....	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1
MATERIAL Y MÉTODOS	7
RESULTADOS	38
DISCUSIÓN.....	52
CONCLUSIONES	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXOS	64

RESUMEN

La investigación se basó en el diseño, construcción e implementación de un prototipo denominado Sistema Automático Arduino de Crianza de Tilapia (SAA-CT) que permita controlar los parámetros de crecimiento de las tilapias, utilizando la plataforma Open-Source Arduino, a través de diferentes actuadores y sensores, en función del tiempo y temperatura del proceso, los cuales funcionaron según los códigos ingresados en la programación, logrando controlar los actuadores y el almacenamiento de los datos captados por los sensores, permitiendo un control adecuado en el funcionamiento del sistema automático y ajustándose a los rangos establecidos. La respuesta del prototipo automático en contraste a un convencional, permitió resultados aceptables y superiores respecto a sus atributos de talla y peso. La tasa de crecimiento del sistema SAA-CT fue del 0,54 cm/sem y del convencional 0,46 cm/sem; por otro lado, la tasa de ganancia de peso con el sistema SAA-CT fue de 0,96g/sem y del convencional 0,61g/sem. Mediante la prueba estadística t-Student, se encontró diferencia estadísticamente significativa entre las medias para ambos tratamientos respecto a los atributos indicados, con un nivel de confianza del 95%. Los modelos de incremento de tamaño para los tratamientos fueron polinómicos, para la ganancia de peso fue lineal y para la relación longitud vs peso fue potencial. La aplicación del control automatizado con tecnología Arduino, permitió un mayor control de parámetros de crecimiento y una mejor homogeneidad de producción de tilapias reduciendo tiempos y mejorando la productividad en la crianza de la tilapia, utilizando la plataforma libre Arduino.

Palabras clave. - Prototipo, Automático, Arduino, tilapia, parámetros de crecimiento.



ABSTRACT

The research was based on the design, construction and implementation of a prototype called Automatic Arduino System of Tilapia Breeding (SAA-CT) that allows controlling the growth parameters of tilapia, using the Open Source Arduino platform, through different actuators and sensors, depending on the time and temperature of the process, which have the codes entered in the programming, managing to control the actuators and the storage of the data captured by the sensors, allowing an adequate control in the operation of the automatic system and adjusting to the established ranges. The response of the automatic prototype in contrast to a convenience, we can obtain acceptable and superior results regarding its size and weight attributes. The growth rate of the SAA-CT system was 0.54 cm / wk and the conventional 0.46 cm / wk; On the other hand, the weight gain rate with the SAA-CT system was 0.96 g / wk and conventional 0.61 g / wk. Using the t-Student statistical test, a statistically significant difference was found between the means for both treatments with respect to the indices indicated, with a confidence level of 95%. The models of increase of size for the treatments were polynomial, for the gain of weight for linear and for the relation length versus weight were potential. The application of automated control with Arduino technology, a greater control of growth parameters and a better homogeneity of tilapia production, reducing times and improving productivity in the rearing of tilapia, using the Arduino free platform.

Keywords. - Prototype, Automatic, Arduino, tilapia, growth parameters.



INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO (2016) reporta que la producción mundial total de la pesca de captura para el 2014 ascendió a 93,4 millones de toneladas, sin embargo, en otro informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO (2018), refleja un aumento a casi el doble para el 2016, aproximadamente 171 millones de toneladas, de los cuales la acuicultura representó un 47% del total y un 53% si se excluyen los usos no alimentarios (incluida la reducción para la preparación de harina y aceite). Estos datos incluyen capturas en aguas continentales, un volumen ligeramente superior al de los dos años anteriores, alcanzándose el hito cuando la contribución del sector acuícola al suministro de pescado para consumo humano superó por primera vez la del pescado capturado en el medio natural.

En el informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2016), remarcan que la Acuicultura ha sido la desencadenante del impresionante crecimiento del suministro de pescado para el consumo humano. Si bien la acuicultura proporcionó solo el 7% del pescado para consumo humano en 1974, este porcentaje aumentó al 26% en 1994 y al 39% en el 2004. Por ello, la pesca y la Acuicultura siguen siendo importantes fuentes de alimento, nutrición, ingresos y medios de vida para cientos de millones de personas en todo el mundo. Obteniéndose capturas mundiales en aguas continentales de aproximadamente 11,9 millones de toneladas en 2014, continuando la tendencia positiva que ha dado lugar a un aumento del 37% en el último decenio.

En el informe elaborado por la FAO y el Banco Mundial se predice que para el 2030, el 62 % del pescado procederá de la Acuicultura, con un crecimiento más rápido de especies como tilapia, carpa y bagre (pez gato). Así mismo está previsto que la producción mundial de tilapia casi se duplique, desde 4,3 millones de toneladas a 7,3 millones anuales entre 2010 y 2030 (PRODUCE, 2014).

En líneas generales, se cree que, en la Acuicultura, la producción de organismos acuáticos es la solución más probable y factible para satisfacer la siempre creciente demanda y escasez de oferta de productos de los océanos. Ahora bien, para obtener una sustentabilidad económica, es necesario considerar entre otras cosas herramientas que reduzcan los costos y eleven los volúmenes de producción. Una de estas, es la tecnología. El éxito de la actividad acuícola se basa en la premisa “mayor producción al menor costo” y depende, fundamentalmente, de aspectos como la calidad de los animales, el buen manejo, estricta sanidad, alimentación adecuada, un buen canal de comercialización y el apropiado desarrollo tecnológico (García y Ramírez, 2012).

Los procesos inherentes en actividades que se realiza en la acuicultura, como la alimentación de los peces, la marcación, el comportamiento reproductivo y el cuidado parental se realizan de forma manual; no obstante, en los últimos años se han comenzado a incorporar herramientas tecnológicas para su automatización. Por esto se han aplicado herramientas tecnológicas, particularmente en actividades relacionadas con el reconocimiento y control de las variables físico-químicas del agua, en la regulación de los niveles del agua y en la alimentación de los peces. Con el estudio se vislumbran nuevas oportunidades de aplicación de tecnologías, en especial aquellas de bajo costo, para que sean accesibles a la mayor cantidad de piscicultores y su uso garantice la mejora en los procesos realizados. También se resalta la importancia que puede tener el

uso de energías alternativas, para aprovechar al máximo los recursos naturales y minimizar el impacto ambiental (Rojas et al. 2017).

Según Rivera y Yépez (2015) indican que un manejo apropiado de la calidad del agua de un estanque es muy importante para las operaciones acuícolas. Cada parámetro de calidad del agua por si solo puede afectar de manera directa a la salud del animal. Al exponer peces a niveles impropios puede traer consigo consecuencias como estrés y enfermedades. Así mismo los parámetros de calidad del agua se monitorean y calculan en base a una rutina, la que es efectuada de manera manual con la ayuda de instrumentos de medición para conocer el estado de cada parámetro a monitorear.

Si los registros de las mediciones de la calidad del agua permiten a los acuicultores identificar cambios y tomar decisiones de manera ágil para que las acciones correctivas puedan ser realizadas a tiempo. Para ello, el objetivo de optimizar el proceso de toma de mediciones es elaborar un prototipo para la crianza de peces, el mismo que presenta un módulo que incluye sensores para la medición de los parámetros de calidad de agua que pueden ser monitoreados a través de Internet.

Por otra parte, Agudelo et al. (2009), reportan que en las labores rutinarias de piscicultura se debe alimentar a los peces en horas determinadas y con raciones adecuadas a la cantidad y al tamaño de los peces. Este proceso requiere personal que se encargue de suministrar el alimento por cada uno de los estanques para alimentar a los peces; este método es poco práctico y obliga a la persona a estar en constante desplazamiento y con distintas clases de alimentos para las diversas etapas de crecimiento.

Asimismo estos investigadores señalan que para cumplir con la correcta ejecución de esta labor, plantean un sistema robótico que realice toda esta actividad de manera

autónoma; necesitando solamente que un operador suministre el alimento a los tanques de almacenamiento. Luego que el sistema robótico esté provisto del alimento, se da inicio a la distribución de éste al respectivo estanque; de acuerdo a las variables a controlar como horarios de alimentación, cantidad de peces y etapas de crecimiento.

Sin embargo, la crianza de especies acuáticas en nuestro país no cuenta con herramientas tecnológicas que faciliten un adecuado monitoreo y medición de parámetros del agua a bajo costo, de manera que durante la etapa de producción y comercialización los lleva a tener pérdidas significativas, además de no ofrecer la calidad necesaria de agua en los estanques de crianza para mejorar el desarrollo de los peces. Dada la problemática, es indispensable el uso de una alternativa tecnológica económica y eficiente a fin de mantener la crianza sostenible y de gran calidad (Torres, 2007).

También conlleva a que las aplicaciones de procesos tradicionales han atrasado a los productores, causando pérdidas en la producción o ineficiencia en la crianza de los alevinos ya que no se tienen factores importantes en cuenta como la producción de oxígeno, temperatura y nivel. Por esto Polania (2017) presenta una propuesta de automatización para la optimización del proceso a partir de las necesidades del mismo y de los productores.

La automatización brinda muchos beneficios como seguridad en el ambiente en que se realizará la crianza, mejor calidad del recurso, disminución del tiempo de respuesta de la producción a la variación de la demanda (almacenaje, materias primas empleadas, etc.), disminución del almacenamiento de productos de desecho, utilización más eficiente de la materia prima y de la energía, disminución en los costos involucrados en la eliminación o transporte de los desperdicios, ahorros estimados en sueldos y salarios



del personal asociado al proceso a automatizar, todo esto lleva a una reducción de costos que serían favorables para la producción (Seoanez, 1995).

Esta investigación permitirá ampliar la línea de estudio dirigida al campo de la acuicultura y de la automatización de sus actividades gracias a la tecnología que permite crear objetos o entornos interactivos y de fácil manipulación. Con esto se espera tener una mejor producción de tilapia evitando complicaciones o contratiempos con la especie, ya que es una manera de optimizar personal y tiempo y por ende brindar un mejor cuidado en cuanto a la crianza, mejorando su modo de vida y controlando los parámetros que la especie necesita para un desarrollo óptimo, evitando estrés y pérdidas en la producción que no serían favorables para la empresa.

Ante los inconvenientes que puede traer la crianza convencional de tilapia, los controladores automáticos son una alternativa factible ya que permiten convertir una estrategia de control lingüístico, basada en el conocimiento de la experiencia, en una estrategia de control automático; es decir, controlar los procesos de manera rápida y que este se aproxime al manejo de un operador experto.

Dado el diseño del proyecto, el número de pines y actuadores, se verificó que era posible el uso de la tarjeta Arduino UNO sin ningún inconveniente. Arduino Uno es una placa de microcontrolador basada en ATmega328P. Tiene 14 pines digitales de entrada / salida (de éstos seis pueden ser usados como salidas Pulse-wide modulation-PWM), seis entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio.

El fundamento es la automatización de los procesos de crianza en tilapia que permitirá manejar y procesar ciertos tipos de información que pueden ser inexactos, imprecisos o subjetivos, similar a como lo hace el razonamiento humano. De esta manera la



tecnología Arduino permite manipular las diferentes variables mensurables y generar rangos adecuados en los parámetros que se ajusten al modo de vida de la especie, sin afectar la producción.

En cuanto al diseño de un controlador automático, este no requiere un modelo ordenado completo del sistema. Se basa en el conocimiento o sistemas basados en reglas, por lo tanto este sistema facilita al piscicultor en la toma de decisiones para poder tener éxito en la producción. Este control automático soluciona un problema específico mediante la implementación de tecnología Arduino que facilita las actividades que realiza un operador en el proceso de crianza de las especies acuáticas.

Debido a los diferentes tipos de variables y entre los factores físicos y químicos del agua se consideran entre los más importantes la temperatura, el potencial de hidrogeno (pH) y la turbidez, para que el sistema sea capaz de mantener, dar una crianza adecuada y no provocar que el pez se enferme o muera ya sea por estrés, o por una mala manipulación por parte del personal. Por esto el objetivo de la investigación fue Diseñar e implementar un prototipo automatizado para la crianza de alevines de *Oreochromis niloticus* “tilapia”, mediante Tecnología Arduino, para la manipulación de los procesos que son determinantes para la crianza del pez, con el fin de evitar muertes y por lo tanto, pérdidas en la producción.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los materiales que se utilizaron para la investigación fueron Arduino UNO R3 (alternativo), Arduino NANO (alternativo), Placa Bornera, Relé cuatro canales, Relé un canal, Modulo pH, Modulo turbidez, Modulo almacenamiento, Sensor de pH, Sensor de turbidez, Sensor de temperatura, Servomotor 5V, Aireador y/o homogeneizador de temperatura, ventiladores 12V, Bomba recirculación de agua, Pecera y Electroválvula. Adicionalmente se utilizó un termómetro digital y un termómetro de mercurio, pH-metro portable con sus respectivas sustancias buffer 4,01 y 6,86, cronometro y una laptop. Las partes constituyentes del sistema no funcionan en simultáneo, si no que estas dependerán de los objetivos que tenga el experimentador (Figura 1 y 2).

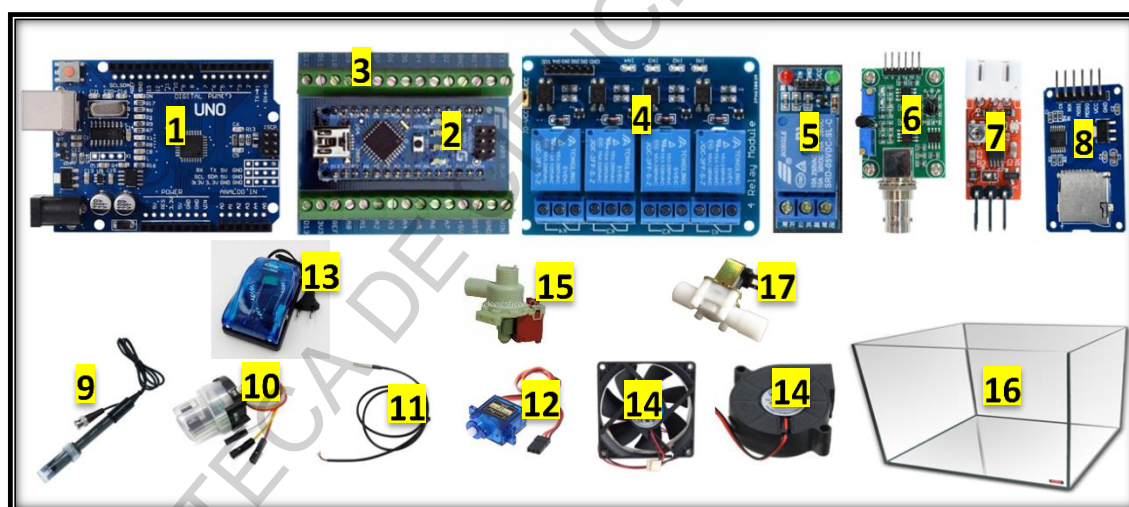


Figura 1. Partes que constituyen el hardware: 1 Arduino UNO R3 (alternativo); 2 Arduino NANO (alternativo); 3 Placa Bornera; 4 Relé 4 canales; 5 Relé un canal; 6 Modulo pH; 7 Modulo turbidez; 8 Modulo almacenamiento; 9 Sensor de pH; 10 Sensor de turbidez; 11 Sensor de temperatura; 12 Servomotor 5V; 13 Aireador y/o homogeneizador de temperatura; 14 ventiladores 12V; 15 Bomba recirculación de agua; 16 Pecera; 17 Electroválvula.

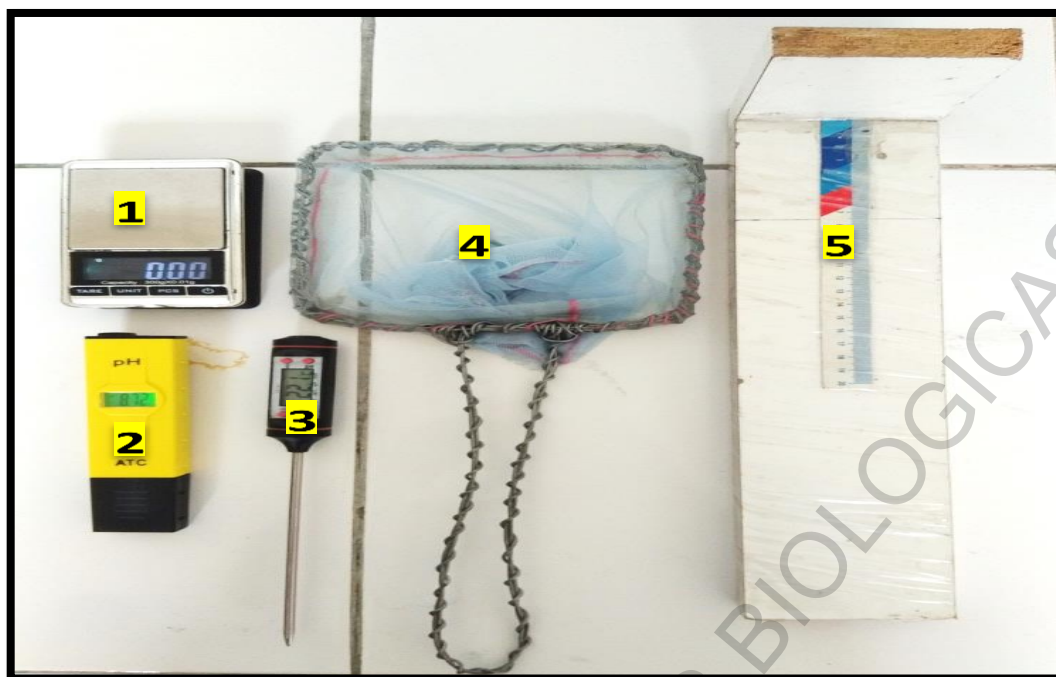


Figura 2. Elementos adicionales utilizados en el sistema: 1 balanza; 2 pHmetro; 3 termómetro digital; 4 Carcal; 5 Ictiometro.

Las peceras (2), una trabajó de manera automática y la otro de manera convencional. Estas fueron construidas de vidrio doble con dimensiones de 50cm largo x 30cm ancho x 20cm de alto (capacidad efectiva de 25L c/u). Fue en estas peceras que se evaluó el crecimiento y desarrollo de 5 ejemplares de alevines c/u de *Oriochromis niloticus* (Tilapia) de manera paralela, para la pecera automática los ejemplares presentaron un promedio en la talla y peso de 3,04cm y 0,532g respectivamente asimismo para la pecera convencional presentaron un promedio en la talla y peso de 3,02cm y 0,53g respectivamente. Los ejemplares fueron alimentados con Aquatech de 2mm y 40% de proteína, el cual se tuvo una tasa de alimentación del 5% de la biomasa para ambos acuarios.

En la parte superior izquierda del acuario automatizado se incluyó un pequeño acuario de dimensiones 30x15x10cm (volumen efectivo 3,5L), cuya finalidad es la de filtrar el agua y/o evacuar el agua sucia. Para recircular el agua se utilizó una mini bomba. En un

extremo del acuario se fijó una resistencia eléctrica (tipo hervidor) de potencia 1500 W provisto de una rejilla para la protección y evitar el contacto directo con los alevines. El sistema conto con un alimentador automático construido con un servomotor y 2 ventiladores.

Adicionalmente se instaló un tanque para el abastecimiento de agua limpia y otro para el desagüe del agua sucia. Ambas se controlaron mediante el uso de electroválvulas que habilitan y bloquean el paso del agua (ver figura 3). Además, se trabajó con un carcal, balanza Camry 0,01g de precisión y un actinómetro (ver figura 2).

El prototipo ha sido desarrollado en base al Software Arduino, en donde se utilizó dos tipos de tarjetas electrónicas Arduino UNO R3 y Arduino NANO. La primera se encarga de leer los sensores de pH, Turbidez y Temperatura (colocados dentro del acuario) y almacenar los datos en un micro SD Card, además controla la bomba de recirculación, llenado de agua limpia y eliminación de desechos; la otra tarjeta se encarga de controlar el alimentador. También se utilizó el paquete OFFICE (Word, Excel, Power Point) y Statgraphics.

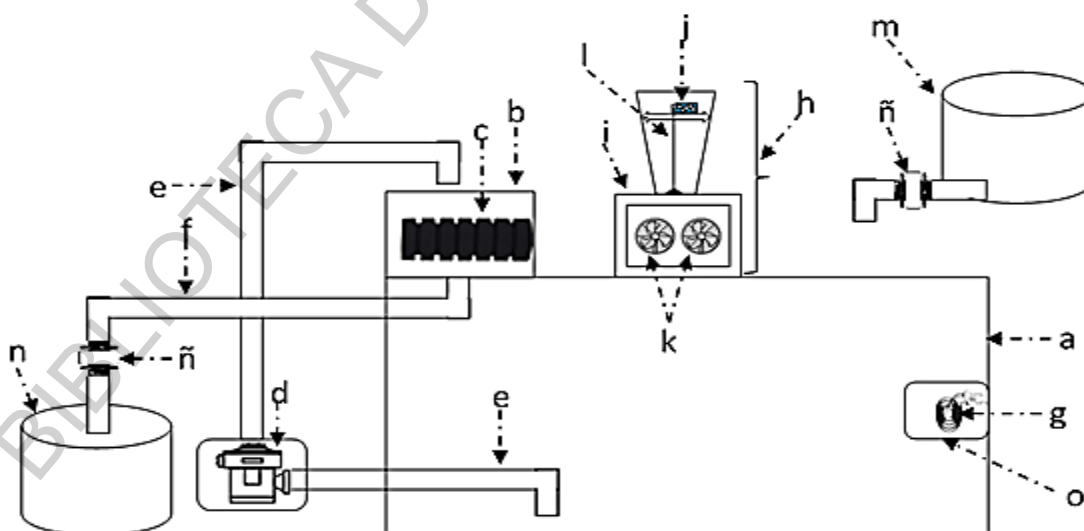


Figura 3. Prototipo experimental. a, acuario; b, acuario pequeño; c, filtro; d, mini bomba; e, tubería para recirculación; f, tubería desagüe; g, calentador; h, comedero; i, caja fuente poder; j, servomotor; k, ventiladores; l, brazo alambre; m, tanque llenado agua; n, tanque desagüe; ñ, electroválvulas; o, rejilla de protección.

El módulo inicia con una etapa de sensores que realizan la medición de los parámetros de calidad de agua dentro del acuario, y los actuadores (alimentador, bomba recirculación y electroválvulas) que realizan las funciones programadas en las tarjetas. Los sensores seleccionados realizan la medición de forma constante a través de una sonda para cada parámetro a medirse y el valor obtenido se convierte y adapta a valores digitales para transmitirse hacia la segunda etapa: la etapa de control, que está constituido por una tarjeta tipo Arduino UNO R3 (alternativo) y una tarjeta tipo Arduino NANO (Alternativo).

Para el procesamiento de los datos obtenidos pasamos al módulo de control desde la etapa de sensores y actuadores para ser transmitidos hacia el módulo de almacenamiento de datos y a su vez guardar la información a la base de datos generada en la Memoria Micro SD. Una función adicional de la etapa de control es la activación de la bomba de recirculación para el filtrado y desagüe del agua sucia, además de la activación y desactivación de la resistencia y dos electroválvulas que permiten desaguar y a su vez llenar agua limpia, y por otro lado la Tarjeta Arduino NANO permite la activación del alimentador.

La siguiente etapa dentro del acuario es la de almacenamiento de datos que permite que el módulo de almacenamiento (SD TF Card Memory Shield Module) capte la información de forma general y a su vez esta sea almacenada en la Memoria Micro SD.

Estos datos son obtenidos solo de la tarjeta Arduino UNO R3 (figura 4).



Figura 4. Diseño del hardware dividido en tres módulos: Módulo sensores y actuadores, Módulo control y Módulo de almacenamiento.

El procedimiento metodológico se muestra de manera resumida en la figura (5), la que parte de un diseño del prototipo, luego la programación de la plataforma Arduino y simulación, posteriormente se realizó el ensamblaje del sistema (conexión de elementos, conexiones eléctricas y electrónicas), luego se probó el funcionamiento del sistema (robustez), si todo iba bien el prototipo quedaba listo para realizar las pruebas experimentales de lo contrario se regresaba a verificar desde el diseño del prototipo (para posible rediseño).

Diseñado, instalado y probado el sistema propuesto, en conjunto con el sistema convencional, se controló la crianza de los alevines semanalmente. Las variables de control fueron: talla y peso para lo cual se utilizó un ictiómetro y una balanza digital con sensibilidad de 0,01 g.

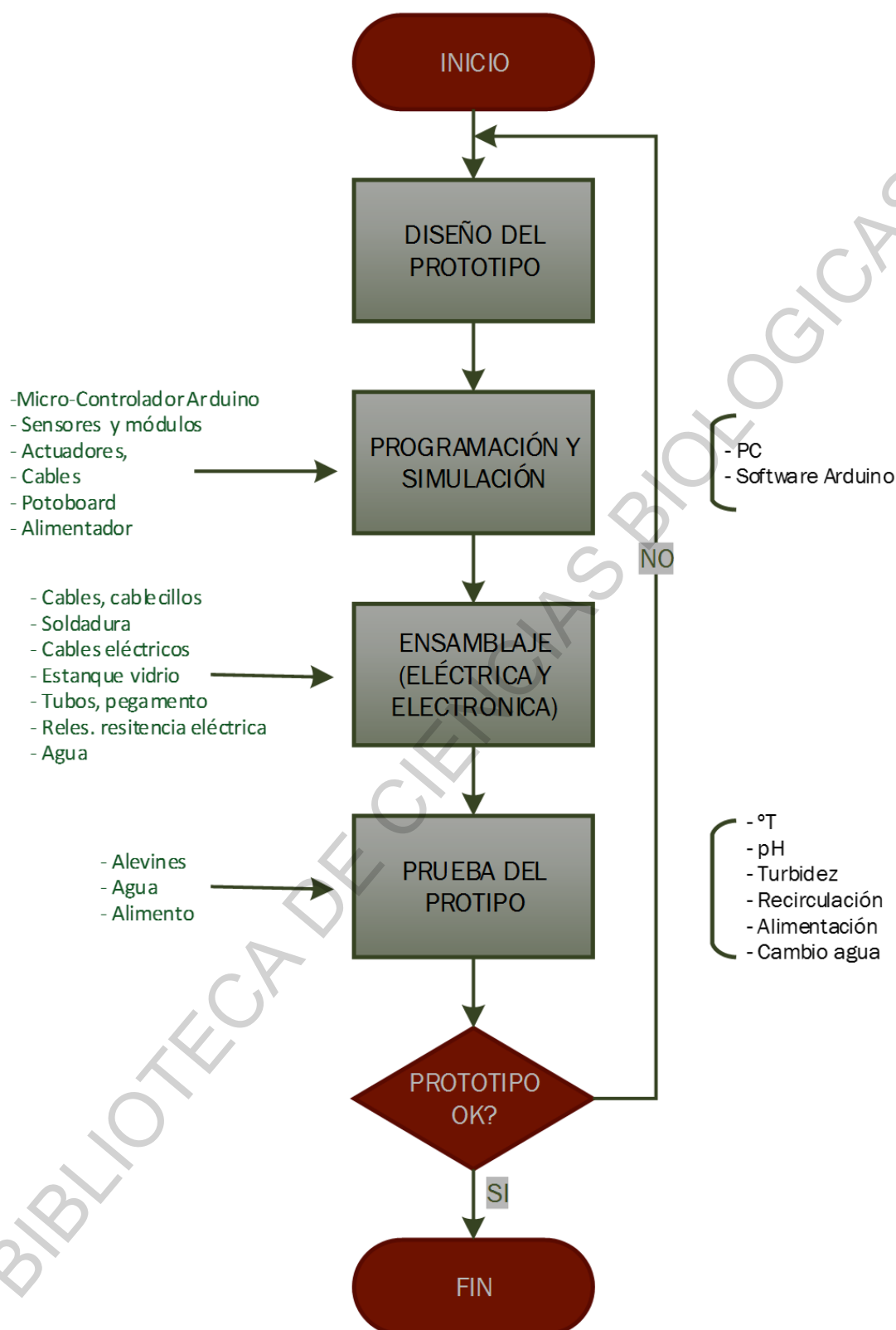


Figura 5. Diagrama de flujo general del Diseño e Implementación de un Prototipo Automatizado para la Crianza de *Oreochromis niloticus* "Tilapia", Mediante Tecnología Arduino.

El prototipo es una representación limitada de un producto, permite al usuario probarlo en situaciones reales o explorar su uso. Es el primer modelo del producto a crearse el cual posee ciertos elementos del producto final, dicho modelo se diseña y se construye con rapidez y con un bajo costo, esto con el objetivo de explorar las ideas preliminares del proyecto. EL prototipo permitió observar las posibles limitantes que se presentan en el producto final permitiendo de este modo explorar y experimentar con distintas versiones hasta tener un producto final totalmente refinado (Lacalle, 2015).

En cuanto a la elección del micro-controlador para la implementación de cualquier proyecto electrónico y de automatización es de suma importancia dado que de él depende el resto de elementos del sistema. Hay ciertos requisitos que éste debe cumplir para que el sistema funcione correctamente, requisitos como memoria, número de pines, Pulse Width Modulation (PWM), comunicación por Inter-Integrated Circuit-I2C o Serial Peripheral Interface-SPI, posibilidad de implementar protocolos de comunicación, entre otros.

A parte de los requisitos mencionados para la implementación de esta investigación se consideró la reproducibilidad, bajo costo y accesibilidad. Para ello se decidió optar por el uso de hardware libre (open source), y de esta forma facilitar el desarrollo y mejora del Proyecto en un Futuro. Con ello se decidió usar la placa Arduino (o compatible), que ofrece un rendimiento muy bueno y costo reducido.

Las características más importantes de la placa según Arduino (2018) son:

- Procesador Atmega328P
- Velocidad de reloj 16 MHz
- Memoria Flash de 32 kB
- SRAM de 2kB

- Voltaje de trabajo de 5V (voltaje de alimentación recomendado entre 7-12V, voltaje límite 6-20V)
- Corriente DC para los pines I/O 20mA (para el pin 3.3V es de 50Ma)
- Pines digitales I/O 14 (de los cuales 6 pueden funcionar como salidas PWM), utilizados para el control de actuadores: relés de calefacción, de recirculación, aireación, desagüe y servomotor de alimentación
- Pines analógicos 6, usados para la lectura de los sensores de Temperatura, pH, Turbidez
- Conectividad USB Estándar A/B USB
- Fácil de programación con el IDE de Arduino, lo que el trabajo de modificación e implementación de código, al ser un lenguaje de programación derivado de C pero con la múltiples librerías internas



Figura 6. Placa Arduino UNO. Lado izquierdo Original, lado derecho Alternativa.

El sensor de pH elegido fue un dispositivo de Module Sky, el que se presenta como una opción adecuada ya que fue diseñado para su funcionamiento en la plataforma Arduino, presenta buenas características de precisión y tiene bajo costo de adquisición comparado con otros dispositivos comerciales (\$25). La sonda estaba compuesta (figura 7):

- El sensor proporciona una señal analógica al microcontrolador directamente proporcional a la medición del pH a través de una sonda tipo Bayonet Neill-Concelman-BNC.
- El circuito puede ser conectado (pines del módulo) a cualquier entrada analógica de Arduino, para así poder leer el valor del pH de manera sencilla, que va a estar directamente relacionado con una tensión que lee la placa.

Cabe indicar que la sonda presenta un LED indicador de funcionamiento. La luz emitida por este LED podría afectar a la medida de la turbidez si las mediciones se realizaran en paralelo. De cualquier forma, las sondas en el prototipo final saldrán de una caja aislada para evitar la interferencia de estos indicadores LEDs.

Las principales especificaciones, sacadas de los documentos ofrecidos por los fabricantes (Module Sky (MS), 2018) fueron:

- Tensión de funcionamiento de 5V.
- Tamaño del circuito 43mm x 32mm.
- Rango de medida del pH: 0-14, con ello cubre todo el rango de valores de su respectiva escala.
- Rango de temperatura soportada; 0-60°C, lo que le confiere versatilidad en su utilización.
- Precisión: 0.1 pH a 25°C. El sensor tiene una precisión adecuada para el presente Proyecto acuícola.

- Tiempo de respuesta inferior a 1 minuto, característica que le hace 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 activo todo el 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 de ajuste de ganancia. Con ello se asegura que la tensión leída sea acorde con su rango de funcionamiento.

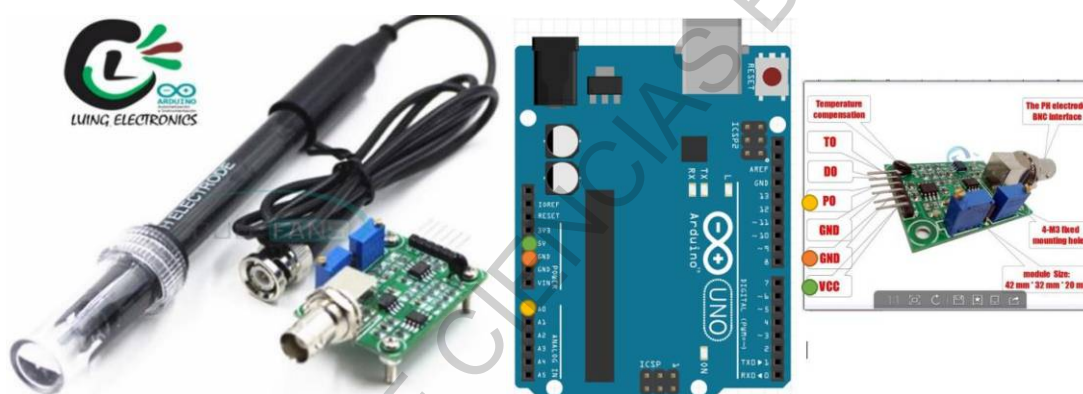


Figura 7. Sensor de pH (electrodo) + Módulo de sensor de pH (Molule Sky (MS), 2018)

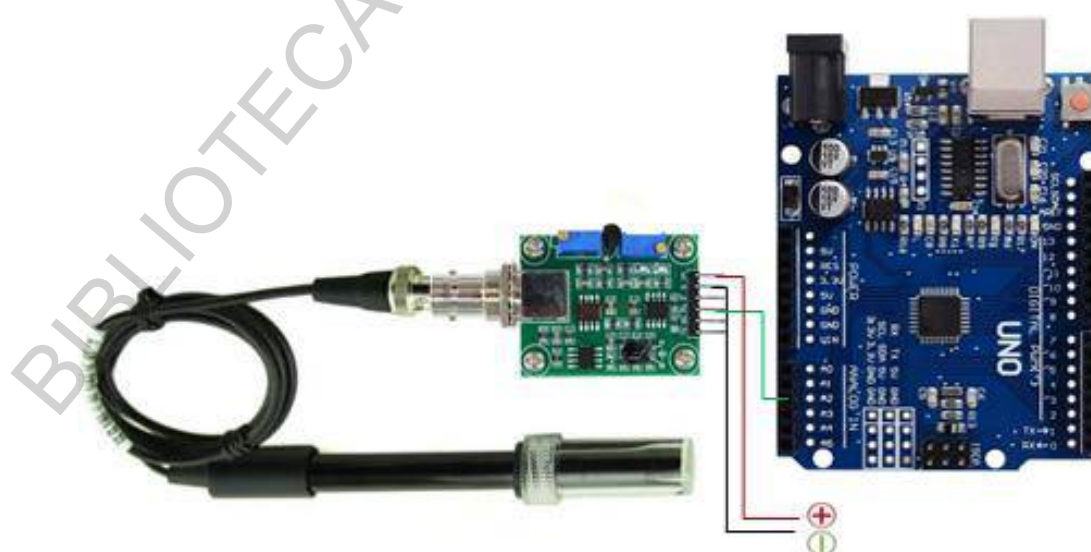


Figura 8. Conexión del módulo de pH con Arduino.

En cuanto a la conexión con Arduino, el sensor se conecta de manera cómoda y sencilla con la placa de Arduino: en primer lugar, se conecta la sonda con un Bayonet Neill-Concelman-BNC al circuito acondicionador, el cual se conecta con tres cables al Arduino:

- El pin V+ del módulo se conecta con el pin de 5V del Arduino, para alimentar al sensor.
- El pin G del módulo se conecta con el pin GND del Arduino, polo negativo del sensor.
- Pin Po del módulo se conecta con el pin analógico del Arduino, pin de lectura de la señal de pH.
- Pin Do del módulo es utilizado para realizar lecturas tipo digitales para umbrales de pH.
- Pin To del módulo se utiliza para la adquisición (lectura de temperatura)

Las conexiones de pines del módulo a la placa Arduino pueden hacerse mediante cables hembra-hembra o por soldadura. Para el presente proyecto se utilizó sólo los pines V+, G y Po (Figura 8), el pin Po (señal del sensor), fue conectado al pin analógico A0, del que se pudo extraer información sobre como varía la acidez del agua en función del tiempo y así poder alertar cuando se exceda los parámetros de pH para el crecimiento óptimo de las tilapias.

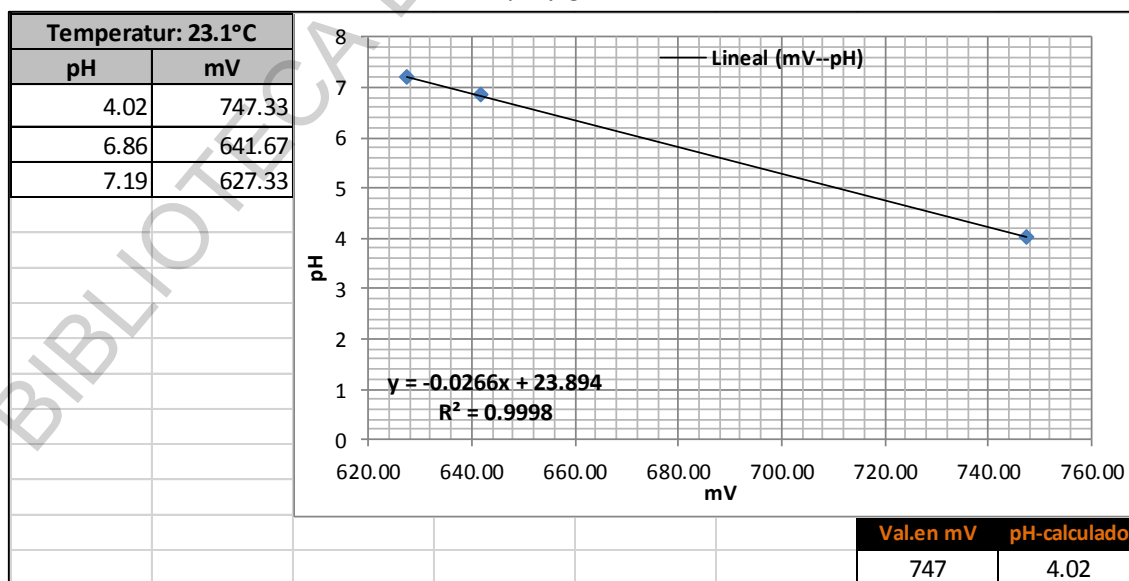
Las especificaciones de calibración dadas en la documentación de DFRobot (2018) especifica el valor de mV convertidos a valores de pH de la tabla de calibración (Tabla 1). Muestra el valor del voltaje en el electrodo y su respectivo nivel de pH correspondiente a una temperatura del agua a 25°C. El circuito acondicionador contiene un adaptador de tensión para que la lectura en el Arduino se encuentre en el rango 0-5 V, que es en el que trabaja la placa y no un rango simétrico como el que utiliza el electrodo de la sonda.

Tabla 1. Relación entre la salida del electrodo en mV y su respectivo valor en el rango de pH, medido a 25 °C.

VOLTAGE (mV)	pH value	VOLTAGE (mV)	pH value
414.12	0.00	-414.12	14.00
354.96	1.00	-354.96	13.00
295.80	2.00	-295.80	12.00
236.64	3.00	-236.64	11.00
177.48	4.00	-177.48	10.00
118.32	5.00	-118.32	9.00
59.16	6.00	-59.16	8.00
0.00	7.00	0.00	7.00

Fuente: Dfrobot (2018).

Para la calibración del sensor utilizado en la investigación, se realizó mediante la utilización de sustancias buffer de pH: 4,01, 6,86 y 7,00 de la empresa OOTDTY. El procedimiento a seguir fue el de utilizar una tabla de comparación entre el equivalente en mV y pH de las lecturas del agua para posteriormente procesarlas en Excel, generar su ecuación (modelo matemático), comprobar su funcionamiento y finalmente traducirlo en el código para Arduino.

Tabla 2. Data de calibración del sensor de pH y generación del modelo matemático

En la ecuación del modelo generado, el valor de “x” represento el valor leído en mV por el sensor, la relación encontrada fue similar a la propuesta por el fabricante (relación inversa).

La implementación del código en Arduino para el sensor de pH se muestra en la figura (9). Donde la asignación del pin analógico A0 de Arduino se usó para la captura de la señal. Para reducir los errores y precisar la lectura del sensor se ha creó la variable avgValue cuya función fue tomar medidas, una cada 10 milisegundos, las ordena de menor a mayor y descarta las dos menores y las dos mayores. Con esto, se aseguró que no se altere el resultado final.

La variable phValue, lo que hace es llamar a la variable avgValue, tomar el valor promedio de 6 muestras centrales, multiplicarlos por 5 (voltaje entregado por Arduino), dividirlo entre 1024 (10 bits) dividirlo finalmente entre 6 (6 medidas centrales). Luego de la conversión a milivoltios se procede a escribir la ecuación del modelo matemático: $phValue = -0.0266 * phValue + 23.894$ (ver Tabla 2 y Figura 9).

```

Archivo  Editar  Programa  Herramientas  Ayuda

phMeterSample $

1  /*Universidad Nacional de Trujillo-E.A.P. de Biología Pesquera
2  David. P. Luján C.----Mariano Luján C.
3  Trujillo-2018
4  */
5
6  #define SensorPin 0          //La salida analógica del pH-metro a la entrada analógica 0 del Arduino
7  unsigned long int avgValue;  //Almacenar el valor promedio del sensor
8  float b;
9  int buf[10],temp;
10
11 void setup()
12 {
13   Serial.begin(9600);
14   Serial.println("Ready");    //Test del monitor serie del Arduino
15 }
16 void loop()
17 {
18   for(int i=0;i<10;i++)        //Obtener 10 valores del muestreo del sensor para suavizar el valor
19   {
20     buf[i]=analogRead(SensorPin);
21     delay(10);
22   }
23   for(int i=0;i<9;i++)         //ordenar el análogo del más pequeño al más grande
24   {
25     for(int j=i+1;j<10;j++)
26     {
27       if(buf[i]>buf[j])
28       {
29         temp=buf[i];
30         buf[i]=buf[j];
31         buf[j]=temp;
32       }
33     }
34   }
35   avgValue=0;
36   for(int i=2;i<8;i++)         //tomar el valor promedio de 6 muestras centrales
37     avgValue+=buf[i];
38   float pHValue=(float)avgValue*5.0/1024/6; //Convertir el valor analógico a milivoltios
39   pHValue=-0.0266*pHValue+23.894;         //Convertir los milivoltios a valores de pH
40   Serial.print("    pH:");
41   Serial.print(pHValue,2);
42   Serial.println(" ");
43   delay(800);
44 }

Guardado.

39                                     Arduíno/Genuíno Uno en COM4

```

Figura 9. Implementación del código para el sensor de pH

El sensor de temperatura NTC, fue elegido por diferentes razones: buena relación capacidad/precio, fácil de instalación, no necesita de librerías (librería usada math.h), amplio rango de lectura (-20 a 105°C), sumergible en agua, cuenta con librerías adaptadas para uso en Arduino y fácil de conseguirlo (Figura 10).

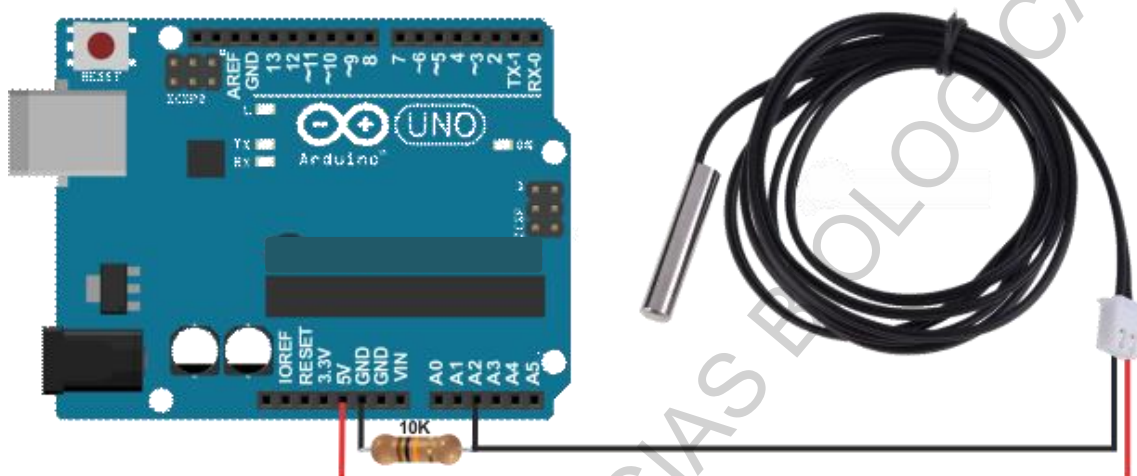


Figura 10. Conexión del sensor de temperatura tipo Negative Temperature Coefficient-NTC.

El sensor de temperatura presentó las siguientes especificaciones técnicas:

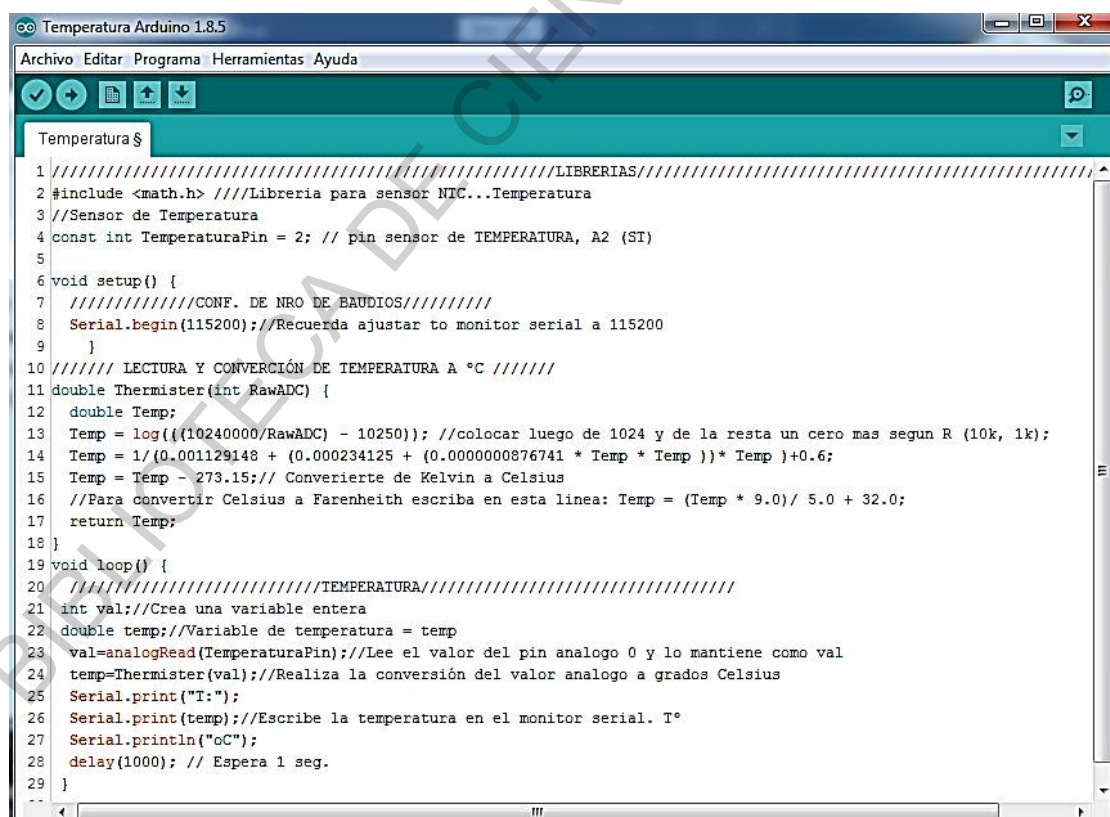
- Rango de medida: -20 ~ 105 °C
- Tipo: NTC 10K±1%
- Constante de disipación típica: 5mW/°C
- Lectura Analógica
- Compatible con Placas Arduino

Para la conexión con Arduino el sensor de temperatura Negative Temperature Coefficient-NTC, presento 2 cables para su conexión en la energización y comunicación con Arduino, sin embargo, debe ser protegida por una resistencia, para este caso se utilizó una resistencia de 10kΩ. Un cablecillo del sensor fue conectado directamente al pin de 5V de Arduino y los otros pines generados por la conexión de la resistencia van a

GND y al pin analógico A2. Una vez realizada la conexión estaba lista para poder ser instalada en el acuario automático (agua del acuario de tilapia).

Para la calibración del sensor de temperatura se siguió el procedimiento sugerido por TR3SDLAND (2011), mediante el uso de la librería math.h. Luego se aplicó el programa y fue verificado con un termómetro de mercurio. Se observó una diferencia de 0.6°C, variación que fue corregida en la nueva programación desarrollada.

El código implementado para el sensor de temperatura no fue difícil ya que sólo se modificó el propuesto por TR3SDLAND (2011), compensada la variación de la lectura que éste arrojaba en comparación de un termómetro de mercurio (Figura 11). La señal del sensor fue conectada al pin analógico 2. La lectura del sensor se realizó cada segundo y su verificación o lectura se obtuvo mediante el monitor serie de la plataforma de programación de Arduino.



```

Temperatura Arduino 1.8.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Temperatura $

1 //////////////////////////////////////////////////LIBRERIAS//////////////////////////////////////
2 #include <math.h> //Libreria para sensor NTC...Temperatura
3 //Sensor de Temperatura
4 const int TemperaturaPin = 2; // pin sensor de TEMPERATURA, A2 (ST)
5
6 void setup() {
7   //////////////////////////////////////////////////CONF. DE NRO DE BAUDIOS////////////////////////////////
8   Serial.begin(115200); //Recuerda ajustar to monitor serial a 115200
9 }
10 ////////////////////////////////////////////////// LECTURA Y CONVERSIÓN DE TEMPERATURA A °C //////////////////////////////////
11 double Thermister(int RawADC) {
12   double Temp;
13   Temp = log(((1024000/RawADC) - 10250)); //colocar luego de 1024 y de la resta un cero mas segun R (10k, 1k);
14   Temp = 1/(0.001129148 + (0.000234125 + (0.0000000876741 * Temp * Temp )) * Temp )+0.6;
15   Temp = Temp - 273.15; // Convierte de Kelvin a Celsius
16   //Para convertir Celsius a Farenheit escriba en esta linea: Temp = (Temp * 9.0)/ 5.0 + 32.0;
17   return Temp;
18 }
19 void loop() {
20   //////////////////////////////////////////////////TEMPERATURA//////////////////////////////////////
21   int val; //Crea una variable entera
22   double temp; //Variable de temperatura = temp
23   val = analogRead(TemperaturaPin); //Lee el valor del pin analogo 0 y lo mantiene como val
24   temp = Thermister(val); //Realiza la conversión del valor analogo a grados Celsius
25   Serial.print("T:");
26   Serial.print(temp); //Escribe la temperatura en el monitor serial. T°
27   Serial.println("°C");
28   delay(1000); // Espera 1 seg.
29 }

```

Figura 11. Implementación del código para la adquisición y lectura de temperatura.

Para el Módulo Sensor de Turbidez, que se utilizó para detectar la cantidad de sólidos suspendidos en el agua. A mayor turbidez, mayor fue la cantidad de sólidos presentes en el agua. Este parámetro fue utilizado como indicador de cambio de agua del acuario.

Como referencia se tomó los niveles de turbidez, del agua potable en los diferentes reglamentos de los estados y de las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud-OMS, los que suelen estar alrededor de 5NTU (Organización Mundial de la Salud, 2006; Ministerio de Salud Perú, 2011)

El sensor que se eligió fue el SKU:SEN0189 de DFRobot, el mismo fabricante del sensor de pH. Este sensor detectó la calidad del agua mediante niveles de turbidez, usando luz para detectar partículas suspendidas en el agua mediante la transmitancia y la tasa de dispersión de la luz el cual cambia con la cantidad del total de sólidos suspendidos (TSS) en el agua (DFRobot, 2017).

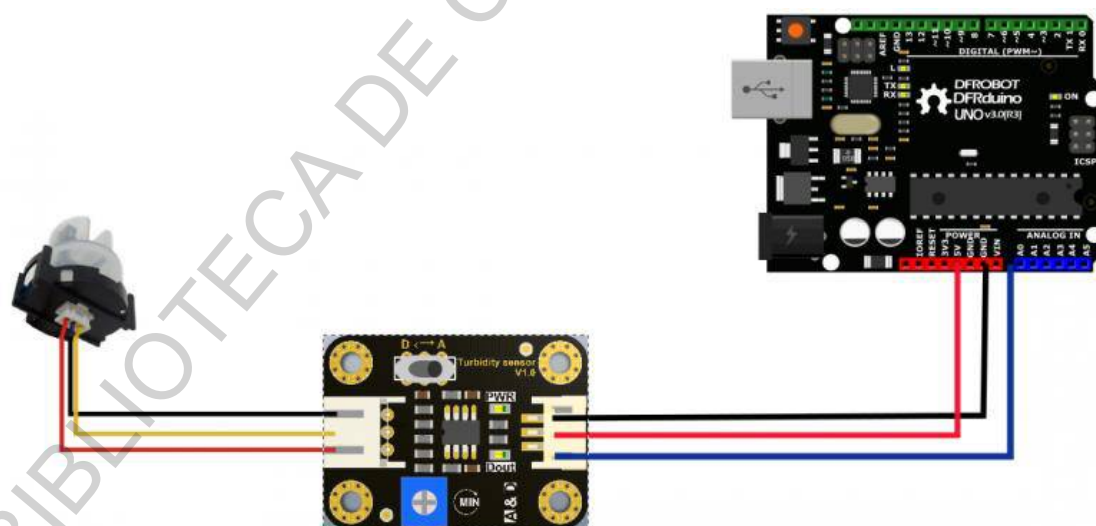


Figura 12. Conexión del sensor de turbidez en Arduino.

Fuente. DFRobot.

El módulo sensor de turbidez presenta las siguientes especificaciones técnicas:

- Tensión de funcionamiento: 5 V DC
- Corriente de funcionamiento: 40ma (MAX)
- Tiempo de respuesta: <500 ms
- Resistencia de aislamiento: 100 m (MIN)
- Método de salida: analógico
 - Salida analógica: 0-4.5 V
 - Salida digital: Señal de nivel alto/bajo (puede ajustar el valor umbral ajustando el potenciómetro)
- Temperatura de trabajo: -5 ~ 90 °C
- Temperatura de almacenamiento: -10 ~ 90 °C
- Peso: 30g
- Adaptador Dimensiones: 38mm * 28mm * 10mm

El esquema de conexión con Arduino se detalló en la figura (12) antes presentada. El módulo presenta 3 pines: GND, 5V y OUT (D/A). GND al pin GND (0V) ; 5V al pin 5V y D/A al pin analógico A0 de la placa Arduino (Figura 13).



Figura 13. Sensor de turbidez y pines de conexión.

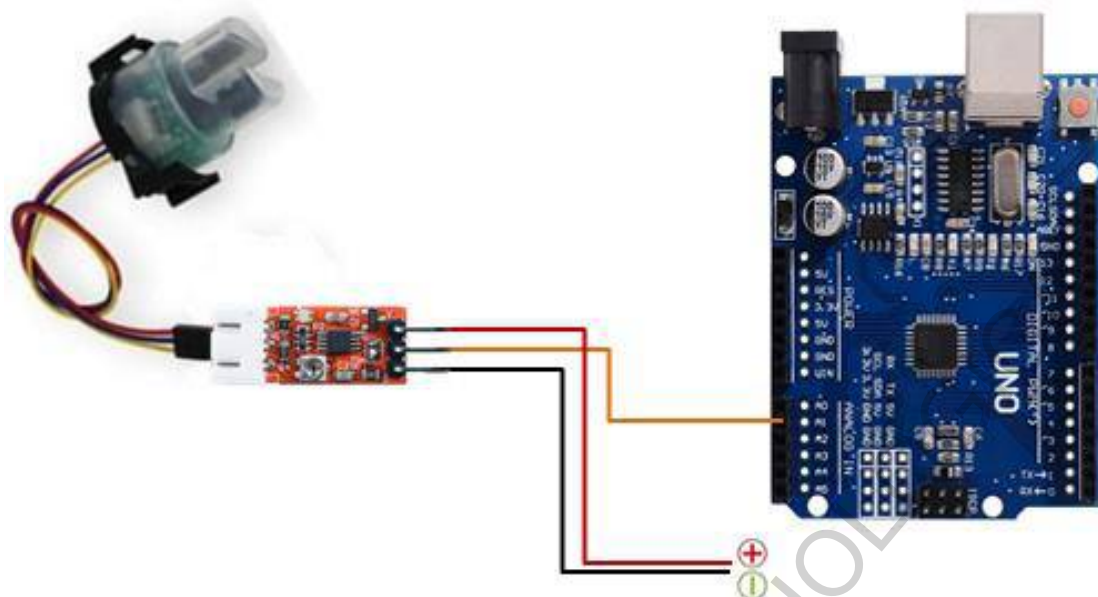


Figura 14. Esquema de conexión del módulo de turbidez.

La descripción de la interface se realizó:

- “OUT=D/A”. Conexión de la señal de salida
 - “A”. Señal analógica de salida, el valor de salida decrementará en líquidos cuando estos presentaron alta turbidez
 - “D”. Señal digital de salida, nivel alto y bajo, el que puede ser ajustado mediante la perilla del potenciómetro que presentó el módulo (esto se hace con un desarmador-perillero)
- Threshold Potentiometer (umbral del potenciómetro). Se puede cambiar la condición de disparo (trigger), ajustando el umbral del potenciómetro en modo de señal digital.

La calibración para el sensor de turbidez se realizó de acuerdo a lo recomendado por DFRobot (2017), el cual nos muestra la relación entre los valores de turbidez y voltaje.

Las unidades de turbidez utilizadas en este proyecto fueron unidades de Nephelometric

Turbidity Units- NTU, también conocidas como JTU (Jackson Turbidity Unit).

1JTU=1NTU=1mg/L.

La elección del modo analógico del sensor se determinó fundamentalmente por la tensión de salida de éste que depende de la temperatura, la cual no se mantendrá en el mismo rango en los acuarios para los que estuvo diseñado en el sistema. Por lo tanto, sería preciso el ajuste del umbral en función de la temperatura cuando se use éste en modo digital y se controla de manera manual. Por lo tanto, esta opción queda descartada para este sistema.

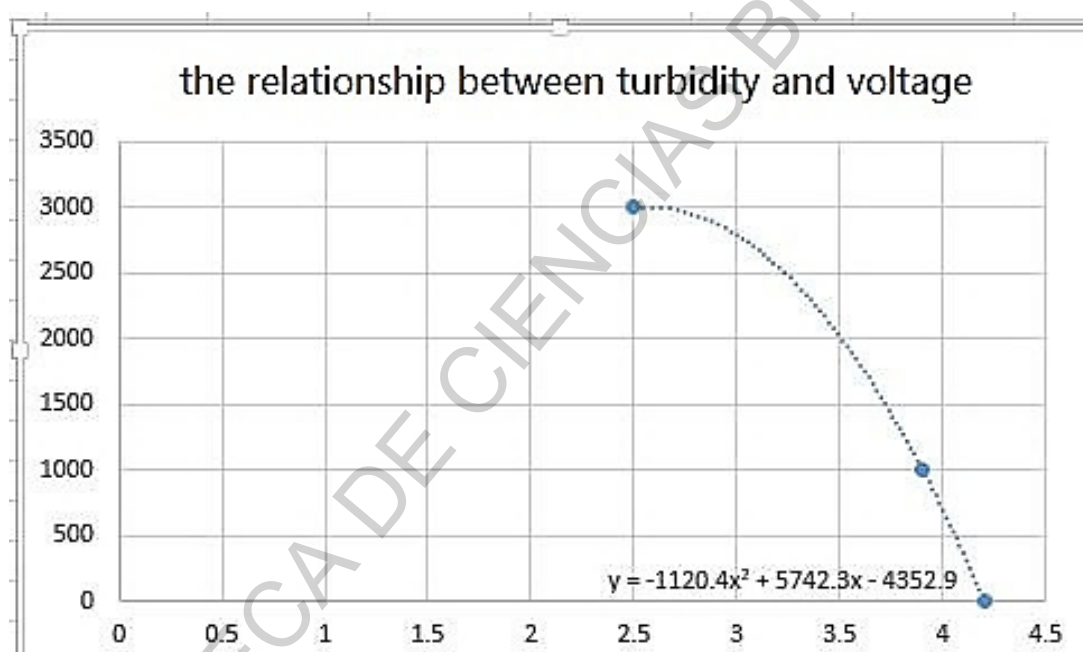


Figura 15. Modelo matemático para la relación entre turbidez y voltaje

Fuente: DFRobot (2017).

DFRobot (2017) muestra también un gráfico referencial figura (15) del mapeo de la salida de voltaje para 3 diferentes NTU en función a la temperatura. Los rangos analizados muestran que a mayor temperatura los niveles de voltaje de salida se reducen en aproximadamente 0.5 V, lo que sugiere tomar este punto en consideración para las lecturas correctas del sensor. Del gráfico también se puede observar que la diferencia de voltaje entre las soluciones de 0 a 3000NTU, es de aproximadamente 1.9V, con lo que a

partir de ello se puede determinar la relación de variación entre Voltaje (mV) y NTUs: $(\Delta \text{Concentración. Sólidos})/(\Delta \text{Voltaje}) = 3000\text{NTU}/1900 \text{ mV} = 1.58 \text{ NTU/mV}$. Para un agua potable la lectura en mV sería de 3.16mV (Max. 5NTU, para ser considerada agua potable: $5\text{NTU} \times (1.58\text{mV}/1\text{NTU}) = 3.16\text{mV}$).

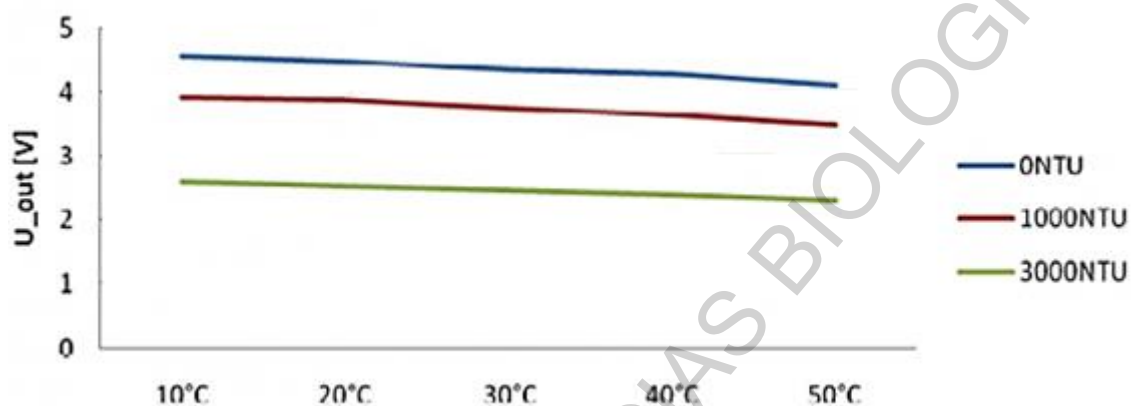


Figura 16. Curva característica Voltaje-Temperatura.
Fuente: DFRobot (2017).

Dado que su funcionalidad es similar al del sensor de pH, la programación es también parecida. Para ello se implementa en el código una función que transforma el valor del pin analógico a voltios, haciendo la multiplicación por 5 y dividiendo entre 1024 (Figura 17).

Para la lectura al igual que el sensor de pH, se debe considerar el efecto de la temperatura en su lectura. Para el caso de la presente investigación como la temperatura se mantuvo controlada no se consideró para tal efecto.

```

Turbidez Arduino 1.8.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Turbidez
1 //CÓDIGO PARA LA LECTURA DEL SENSOR DE TURBIDEZ en mV.
2 //Cridadero de tilapia.UNT-Trujillo
3 //David Luján Corro----Mariano Luján Corro
4
5 const int sensorPin=0;
6
7 void setup() {
8   Serial.begin(9600); //velocidad de baudios, velocidad de transmision fijados a 9600
9 }
10 void loop() {
11   int sensorValue = analogRead(sensorPin); // lectura de la señal analógica en el pin A0:
12   float voltage = sensorValue * (5.0 / 1024.0); // Convierte lectura analógica (valores c
13   Serial.println(voltage); // muestra el valor leído en el monitor serie de la plataforma
14   delay(500); // tiempo retardo de lectura
15 }
16 //=====modo digital=====
17 /*int ledPin = 13;           // Conectar un LED al pin 13
18 int sensorPin = 2;          // Conectar el sensor de turbidez a pin digital 2
19
20 void setup(){
21   pinMode(ledPin, OUTPUT);    // Seteo del ledPin a modo salida
22   pinMode(sensor_in, INPUT);  // Seteo del sensor como modo salida
23 }
24
25 void loop(){
26   if(digitalRead(sensor_in)==LOW){ // lee la señal de sensor
27     digitalWrite(ledPin, HIGH);    // if sensor is LOW, then turn on
28   }else{
29     digitalWrite(ledPin, LOW);     // if sensor is HIGH, then turn off el LED
30   }
31 }

```

Guardado.

"C:\Users\MARIANO\AppData\Local\Arduino15\packages\arduino\tools\avr-gcc\4.9.2-atmel3.5.4-ard

"C:\Users\MARIANO\AppData\Local\Arduino15\packages\arduino\tools\avr-gcc\4.9.2-atmel3.5.4-ard

El Sketch usa 3164 bytes (9%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 32256 B

29 Arduino/Genuíno Uno en COM4

Figura 17. Implementación del código para la adquisición y lectura del sensor de turbidez.

Para poder almacenar los datos adquiridos por los sensores antes descritos, se implementó un Módulo de Almacenamiento de Datos (Módulo micro SD Card), el módulo nos permite insertar una memoria Micro SD que son las más comunes en el mercado, el Módulo micro SD Card para Arduino fue seleccionado ya que está adaptado para esta plataforma. Este módulo puede ser alimentado con 3.3V o 5V usando los pines respectivos.

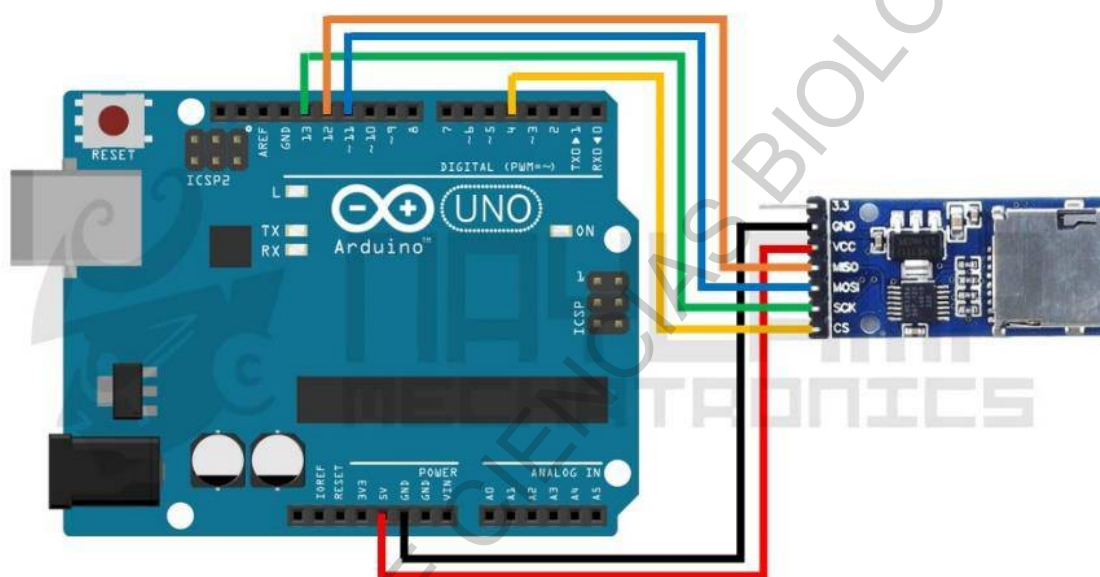


Figura 18. Instalación del módulo Micro SD en Arduino.

Fuente: Naylamp mechatronics.

Dentro de las especificaciones técnicas para la elección del módulo micro SD Card para Arduino, se realizó considerando los aspectos de funcionamiento, disponibilidad y bajo costo. Las principales características se detallan a continuación:

- Voltaje de funcionamiento: VCC 4.5 ~ 5.5V
- Corriente: 0.2 ~ 200mA
- Nivel eléctrico de la interfaz: 3.3V / 5V
- Admite Micro SD hasta 2GB

- Micro SDHC hasta 32GB
- Cables: GND, VCC, MISO, MOSI, SCK, CS
- Interfaz estándar SPI
- Agujeros de instalación de tornillo de 4 M2 de 2,2 mm
- Compatible con plataforma Arduino

Para la conexión con Arduino seguir la figura (18) donde tratándose de un micro SD se conectará de la siguiente manera:

Tabla 3. Pines de conexión del micro SD Card y Arduino UNO.

Módulo SD	Placa Arduino UNO
CS	4
CSK	13
MOSI	11
MISO	12
VCC	5V
GND	GND
3.3V	No conectado

La alimentación con 3.3V es posible en lugar de 5V, utilizando los pines correspondientes, pero no se debe hacer la alimentación por ambos pines al mismo tiempo.

En cuanto a la calibración para no tener problemas de funcionamiento del módulo, se recomienda trabajar bajo un micro SD limpia completamente (formateada) y sobre ella crear un archivo con el nombre de DATOS.txt

Luego de realizado el almacenamiento de datos, su análisis y procesamiento se puede realizar sobre la plataforma de Excel, mediante la opción importar datos.



```

microSD Arduino 1.8.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

microSD $
1 /* 23/05/2018
2  * El módulo microSD debe ser conectado de la siguiente manera:
3  PIN SC:a D4 / PIN SCK:a D13 / PIN MOSI:a D11 / PIN MISO:a D12 / PIN VCC:a 5V / PIN GND:a GND
4  Los datos se guardarán en el archivo creado previamente en la microSD, con el nombre de "DATOS"
5  AUTOR: Ing. Mariano Luján Corro ----- E-mail: mariano.lujancorro@gmail.com Trujillo-Perú*/
6  #include <SD.h> //librería para la microSD
7  #include <math.h> ///Librería para sensor NTC...Temperatura
8  File myFile;
9  const int TemperaturaPin = 0; // pin sensor de TEMPERATURA, A0 (ST)
10
11 void setup() {
12   Serial.begin(9600);
13   Serial.print("Iniciando SD ..."); // mensaje de bienvenida
14   //el pin 4 que a continuación se hace referencia, conecta a la tarjeta (hace inicializar la ta
15   if (!SD.begin(4)) {
16     Serial.println("No se pudo inicializar"); //si no se halla conectada el módulo arrojará este
17     return; }
18   Serial.println("inicializacion exitosa"); }
19   double Thermister(int RawADC) {
20   double Temp;
21   Temp = log(((1024000/RawADC) - 10250)); //colocar luego de 1024 y de la resta un cero mas seg
22   Temp = 1/(0.001129148 + (0.000234125 + (0.0000000876741 * Temp * Temp ))* Temp );
23   Temp = Temp - 273.15; // Convierte de Kelvin a Celsius
24   return Temp; }
25
26 void loop() {
27   int val; //Crea una variable entera
28   double temp; //Variable de temperatura = temp
29   val=analogRead(TemperaturaPin); //Lee el valor del pin analogo 0 y lo mantiene como val
30   temp=Thermister(val); //Realiza la conversión del valor analogo a grados Celsius
31   ///////////////////////////////////ESCRIBIR EN MICRO.SD////////////////////////////////////
32   myFile = SD.open("DATOS.txt", FILE_WRITE); //llama al archivo DATOS.txt (creado con el bloc d
33   if (myFile) {
34     Serial.print("Escribiendo SD: ");
35     myFile.print(" Temp:");
36     myFile.print(temp, 2);
37     delay(2000);
38     myFile.close(); } //cerramos el archivo
39   else {
40     Serial.println("Error al abrir el archivo"); }
41 }

```

Guardado.

El Sketch usa 13562 bytes (42%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 32256 bytes.
Las variables Globales usan 1026 bytes (50%) de la memoria dinámica, dejando 1022 bytes para las var

15 Arduino/Genuino Uno en COM4

Figura 19. Implementación del código para la adquisición de datos

El Módulo de Alimentación para el sistema fue construido de tal modo que sea posible su control, para su programación respectiva (horas de alimentación y proporción adecuada). Los elementos (de segundo uso) usados para su diseño y construcción fueron: caja de fuente poder de CPU, un servomotor, dos ventiladores de 12 V y un brazo de alambre (como control de cierre y apertura de alimento). El servomotor fue alimentado directamente con voltaje externo (5V), su activación obedecía a la hora que se estableció en la programación (9 am, 12 md y 17 pm), este movía el brazo robótico (de alambre) para permitir el paso del alimento y pasado el tiempo de apertura regresaba a su posición inicial. Para desplazar el alimento hacia el acuario la caja cuenta con dos ventiladores instalados en la parte posterior los cuales estos se activaran juntamente con el servomotor, estos cuentan con alimentación de voltaje externo (12V). Este sistema es gobernado por un Tarjeta Arduino NANO alternativa y un relé que permite la activación y desactivación de los ventiladores (Figura 20).

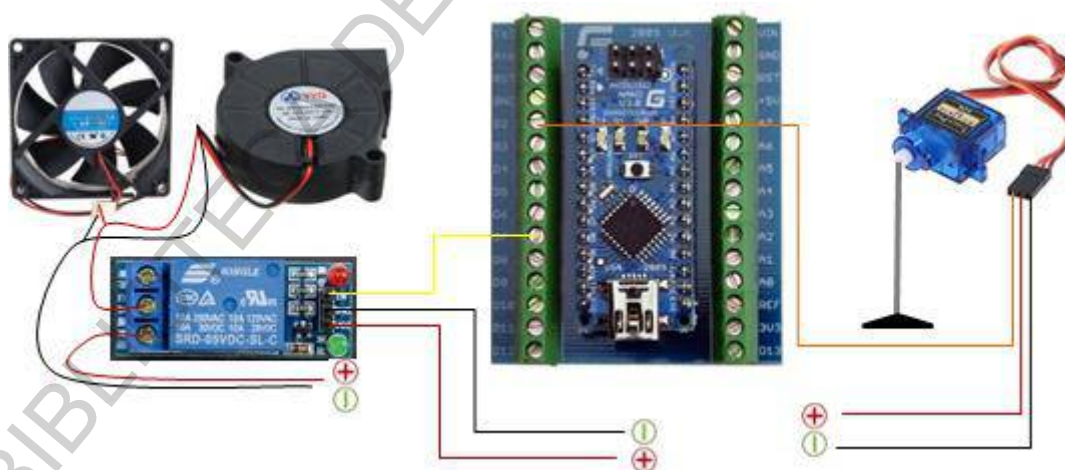


Figura 20. Comunicación entre ventiladores - relé – servomotor – Arduino NANO.

Para el Módulo Calentamiento el cual fue una parte importante del sistema, cuya función fue la de estabilizar la temperatura, fundamentalmente calentarla dado que la temperatura del ambiente es inferior a la parametrizada (temperatura deseada 30°C). La temperatura promedio en los meses más cálidos en la ciudad de Trujillo (lugar de prueba), no superan los 30°C. En función a la temperatura (sensor de temperatura), la resistencia eléctrica (potencia 1500W) permanece apagada o activa, cuyas conexiones con la tarjeta Arduino se muestra en la figura (21) y su respectivo código en la figura (22). La activación es de tipo electrónica, mediante un pulso digital se energiza el relé del submódulo de relés (energía 220V) y cierra el circuito con lo que hace que la resistencia eléctrica se active.

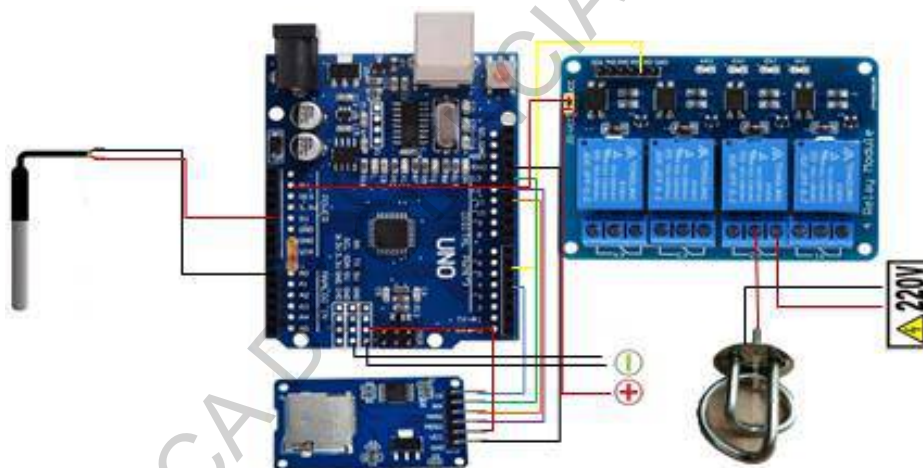


Figura 21. Esquema de comunicación entre sensores - módulo de almacenamiento - relés - resistencia - tarjeta Arduino UNO R3.

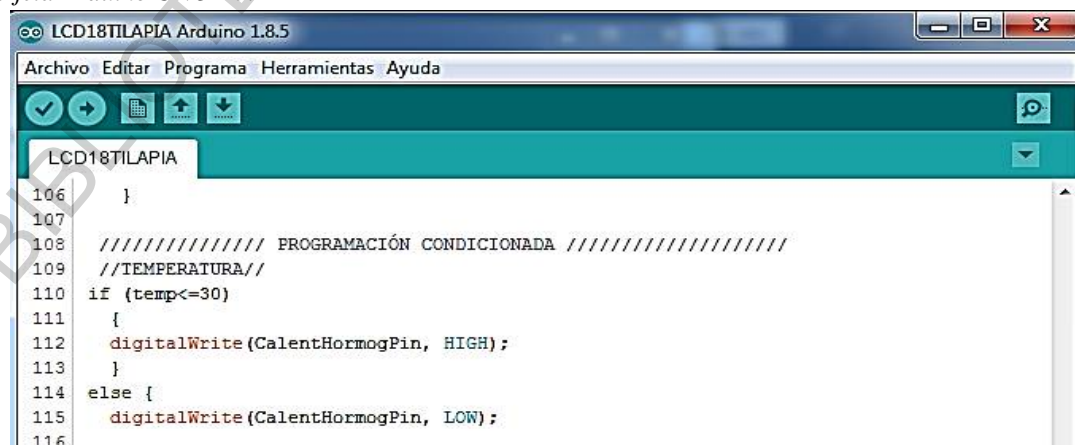
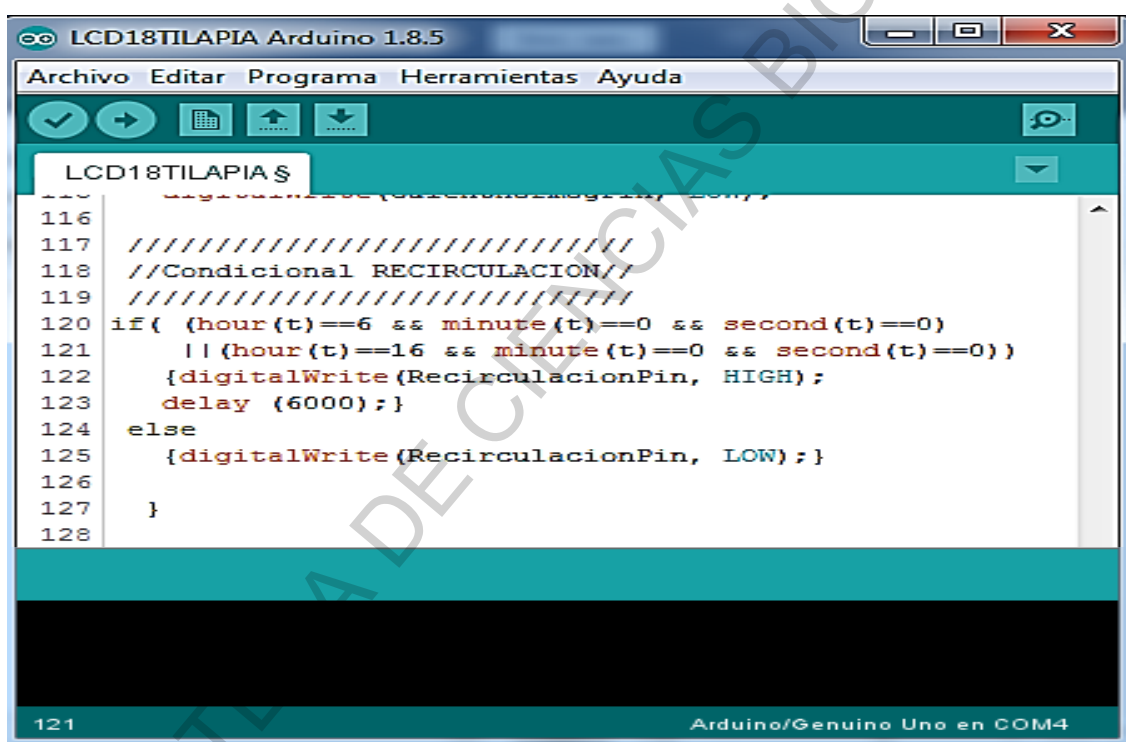


Figura 22. Código para el control del calentador

En la operación de recirculación se utilizó un Módulo Recirculación que permite retener cierta cantidad de los sólidos generados en el acuario a modo de filtro dispuesto en el depósito superior. El código se muestra a continuación, son órdenes sencillas que dependen de la hora fijada (figura 23). La hora fijada para recirculación fue 06:00 am y 04:00 pm por lapsos de tiempo de 6 segundos, así mismo es necesario recalcar que la hora de recirculación se fijó de tal manera que no coincida con la alimentación de los peces.



```

LCD18TILAPIA Arduino 1.8.5
Archivo  Editar  Programa  Herramientas  Ayuda
LCD18TILAPIA $
116
117 ///////////////////////////////////////////////////
118 //Condicional RECIRCULACION//
119 ///////////////////////////////////////////////////
120 if{ (hour{t}==6 && minute{t}==0 && second{t}==0)
121     || (hour{t}==16 && minute{t}==0 && second{t}==0)}
122     {digitalWrite(RecirculacionPin, HIGH);
123     delay {6000};}
124 else
125     {digitalWrite(RecirculacionPin, LOW);}
126
127 }
128
121 Arduino/Genuino Uno en COM4
  
```

Figura 23. Código del módulo de recirculación.

En cuanto al Módulo Desagüe, cuando el agua supera los límites de turbidez o pH, ésta debe ser renovada para ello se creó un código que permita hacer este trabajo de manera autónoma. El sistema funcionó en respuesta principalmente a la turbidez (ya que es el parámetro identificado como más perceptible), cuando superaba el límite indicado, activaba la recirculación, la alimentación de agua limpia y la eliminación de desechos, tal como se puede observar en la siguiente ilustración.

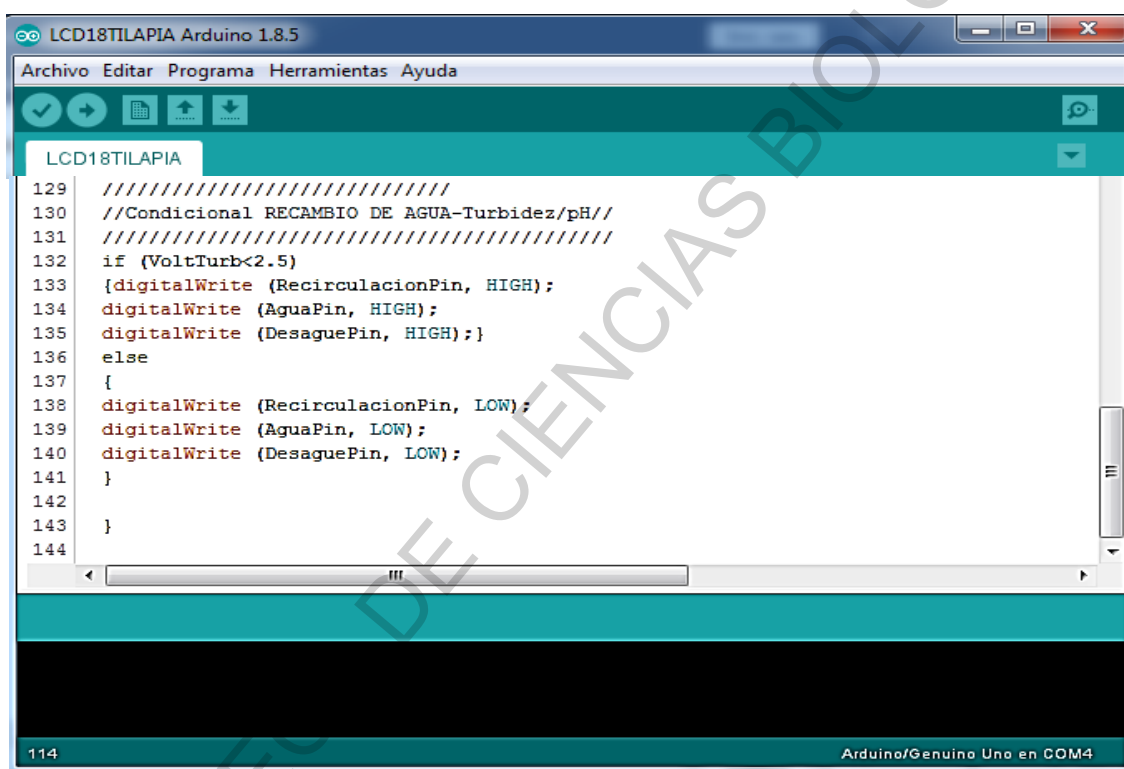


Figura 24. Código del módulo de desagüe.

El rango de parámetros establecidos para la crianza de tilapia fue ingresado al sistema, generando rangos en las cuales la especie tenga un desarrollo óptimo y de esa manera controlar mejor el modo de vida de la especie (Tabla 4). Estas lecturas por parte del equipo de medición (parámetros de calidad del agua), fueron analizadas mediante modelo de estimación, y éste a su vez nos dará la respuesta de una lectura estimada.

Tabla 4. Parámetros óptimos para una buena crianza de *Oreochromis niloticus* “tilapia”.

REQUERIMIENTOS AMBIENTALES PARA TILAPIA <i>“Oreochromis niloticus”</i>		
CARACTERÍSTICAS	REQUERIMIENTOS	DEL PROYECTO
Temperatura	28-32°C	30°C
Turbidez	5 – 6 ppm (>4 mg/L) NTU	<1500 NTU
pH	6.5 – 9	6.5-9

Fuente: FONDEPES (Modificado por Autor).

En los acuarios estudiados (Automático y Convencional), se contó con una población de 5 alevines, de los que se muestrearon con una frecuencia de 7 días de manera aleatoria, por 8 semanas (60 días). Las variables de control fueron longitud y peso, las que fueron medidas mediante el uso de un Ictiómetro y una balanza digital (precisión 0.01g).

Para la validación del sistema propuesto, se realizó la comparación de medias con respecto a sistema de crianza convencional, mediante la prueba t-Student (prueba t). Se eligió esta metodología dado con lo recomendado por SÁNCHEZ (2015), en el que se indica que la prueba t-Student se fundamenta en dos premisas; la primera: en la distribución de normalidad y la segunda: en que las muestras sean independientes. Permitiendo comparar muestras, $N \leq 30$ y/o establece la diferencia entre las medias de las muestras. La primera presunción es formular la hipótesis nula y la hipótesis alterna, que

establece que no hay diferencias en la media de las dos muestras independientes y que, de existir esta diferencia, sólo se debe al azar. Si la t calculada que se origina de las dos muestras es desmesurada (valor de p que se encuentra en las tablas respectivas), entonces se rechazaría la hipótesis nula (error tipo I).

Adicionalmente se calculó la tasa de crecimiento “TCA” de los alevines durante el periodo de prueba (8 semanas). Para ello se utilizó la siguiente fórmula (TORRES MOYA, et al., 2016):

$$TRC = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{(t_2 - t_1)}$$

RESULTADOS

Los prototipos diseñados y contruidos son acuarios que simulan los acuarios donde se efectúan las mediciones de la calidad del agua contenida durante la crianza de tilapia tanto en el prototipo automático como en el convencional (ver Figuras 25 y 26), durante el periodo de dos meses (8 semanas). Dentro del acuario automático se implementan sensores (temperatura, pH, turbidez), actuadores y módulo de almacén de datos conectados a los microcontroladores (Arduino UNO y Arduino NANO), tal como se observa en la figura (25).



Figura 25. Montaje del Prototipo incluyendo los componentes del hardware.



Figura 26. Sistema automático y convencional en operatividad.

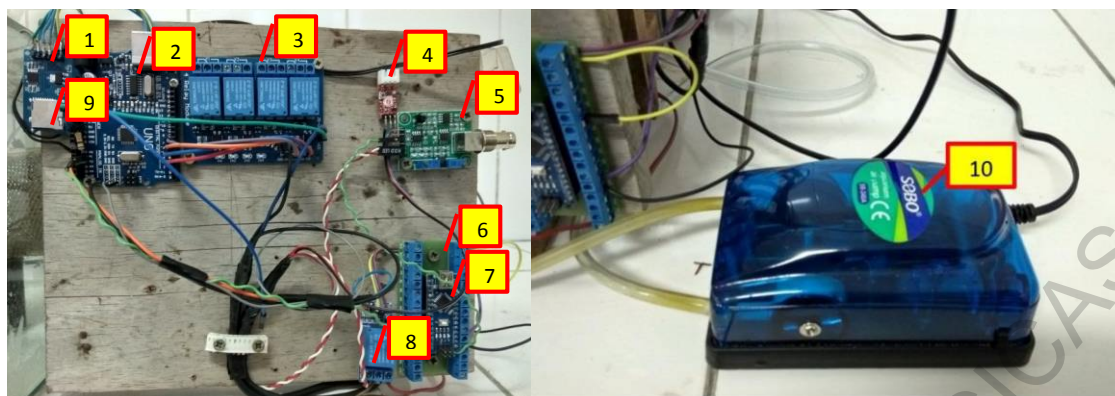


Figura 27. Puntos de conexión del Sistema Propuesto y Bomba de aireación; aparte de forzar el intercambio de aire internamente permite mantener la temperatura del agua constante en todo el acuario.

En la Figura (27) se muestra los componentes que contiene el módulo de hardware encargado de realizar las actividades programadas como son las mediciones, la transmisión y control de actuadores, detallando cada una de sus partes.

- 1; Módulo de almacenamiento de datos
- 2; Tarjeta Arduino UNO R3 (Compatible)
- 3; Relé 4 canales
- 4; Módulo turbidez
- 5; Módulo pH
- 6; Placa Borne
- 7; Arduino NANO (Compatible)
- 8; Relé un canal
- 9; Módulo Almacenamiento de datos
- 10; Aireador

Durante las mediciones de temperatura, el acuario mantuvo la temperatura según lo programado en el sistema, mostrando el sensor una oscilación de lectura no mayor a 1°C (rango de ± 0.5) siendo más precisos los niveles de temperatura del agua en las unidades experimentales varió entre 30.61°C como máximo y 31.01°C como mínimo. Además, fue posible experimentar con temperaturas constantes menores a 29°C y mayores a 30°C hasta un límite de 32°C utilizando la resistencia aumentando su potencia o de lo contrario disminuyendo la temperatura en la programación. Entonces podemos concluir que se obtuvo mediciones de temperatura consistentes y adaptadas a la programación según el rango establecido (Figura 28).

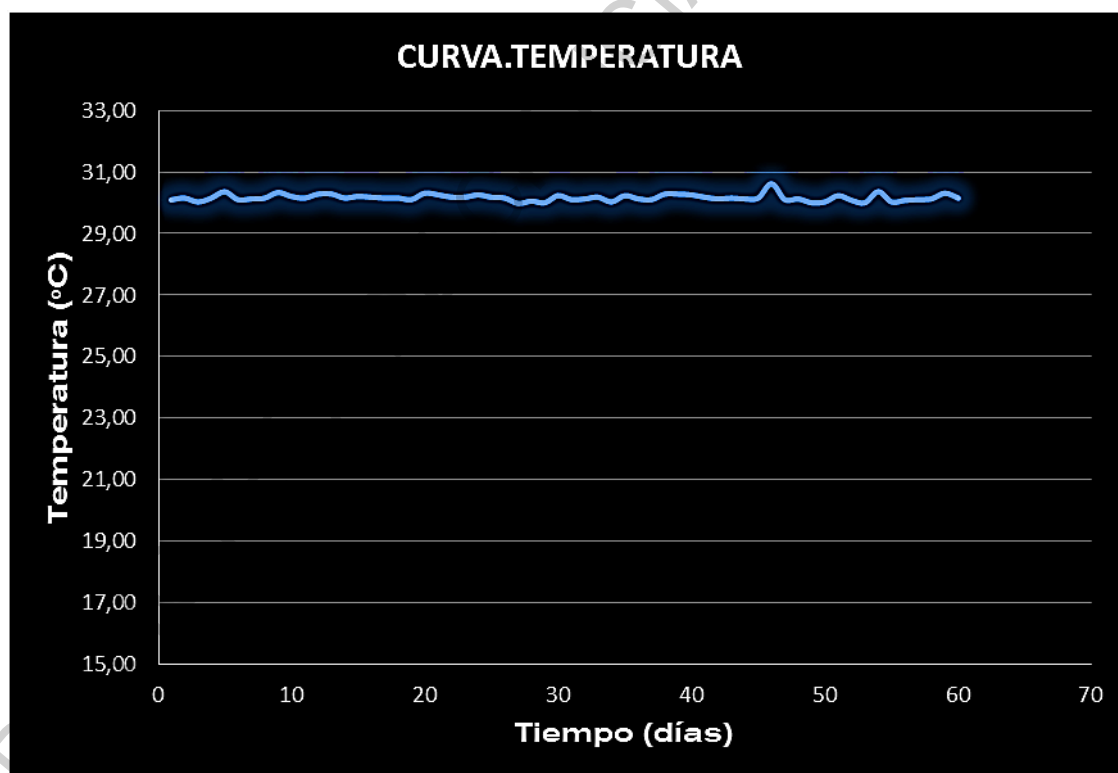


Figura 28. Comportamiento de la temperatura durante el periodo de prueba.

El potencial de hidrogeno-pH fue otro de los parámetros de mucha importancia y que se debe tomar en cuenta en la crianza de tilapia ya que el aumento o disminución de este parámetro puede traer efectos negativos. Por esto se utilizó equipos con niveles de error mínimo y precisión de $\pm 0,01$ pH, dando como resultado lecturas constantes en intervalos de tiempo de 2 s obteniendo valores de medición de pH en promedio $8,15 \pm 0,16$ aproximadamente, el cual se puede decir que funcionan de acuerdo a lo esperado, además se encuentran dentro del rango de medición (Figura 29).

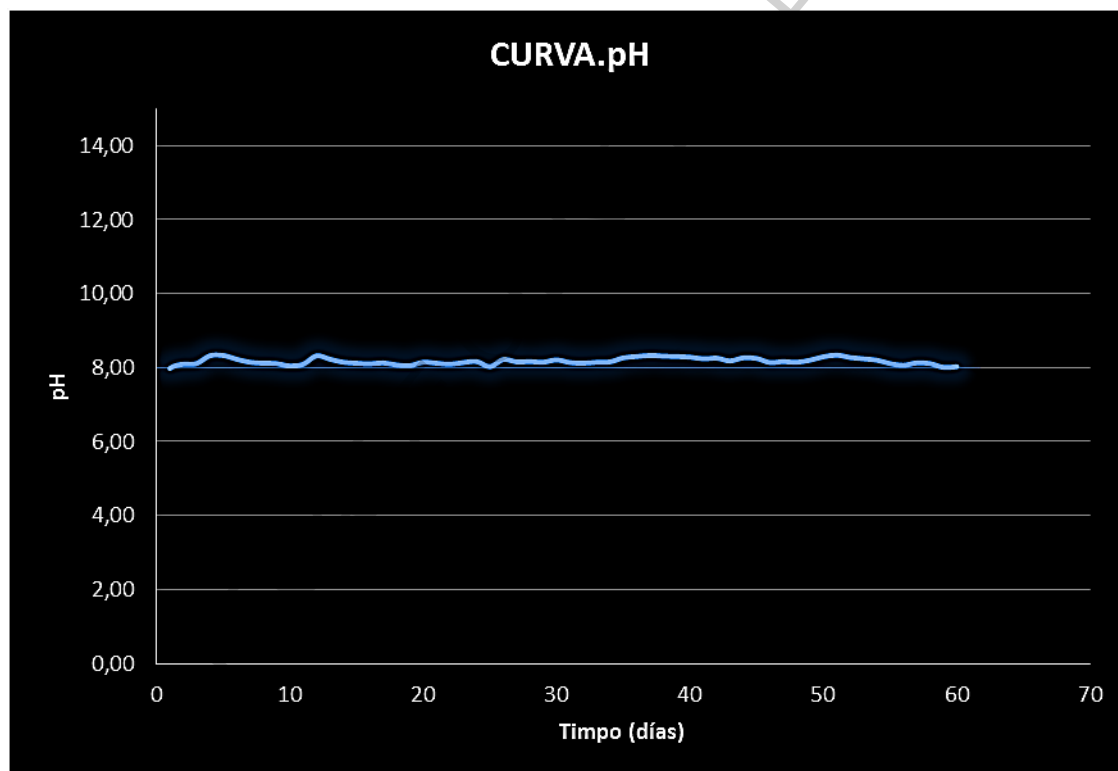


Figura 29. Comportamiento del pH durante el periodo de prueba.

En cuanto a la turbidez, este sensor se adaptó satisfactoriamente al modelo del sistema el cual permite registrar los datos de manera constante (del orden de dos segundos) manifestando su precisión y su fácil lectura, generando valores en voltios que luego se transformó en unidades NTU. Obteniendo una tendencia a disminuir hasta 181,56 NTU y aumentar a 1580,71 NTU debido a los recambios de agua que se generaron ya que se alcanzó el máximo de turbidez que se generó en el código de la programación (Figura 30).

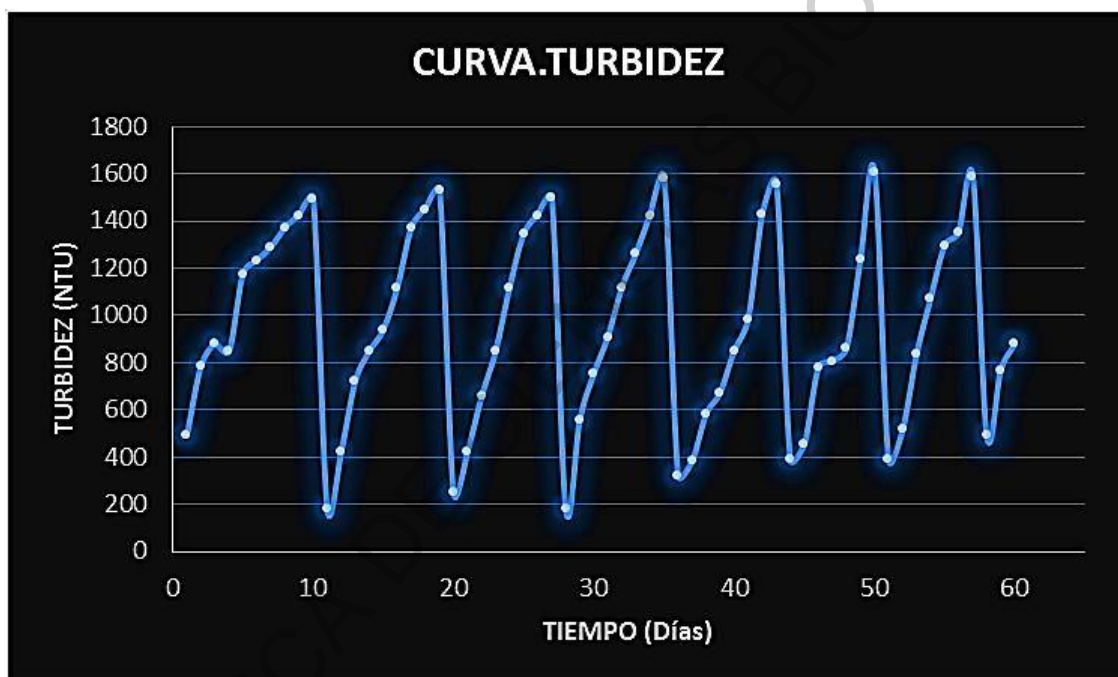


Figura 30. Comportamiento de la turbidez durante el periodo de prueba.

En lo que concierne con el sistema de recirculación, este muestra un óptimo funcionamiento y de manera constante lo que permitió filtrar, desaguar y por ende mantener el agua más limpia y con menos suciedad ya que estos son atrapados por el filtro que están ubicados en el sistema de recirculación. Todo esto se debe al buen funcionamiento que presentaron la bomba y las electroválvulas ya que se ajustaron al código establecido a la programación.

Con el alimentador se logra cumplir con el objetivo, ya que se puede programar los horarios y la cantidad de comida por suministrar. El sistema ayuda a suministrar alimento automáticamente ya que presenta un distribuidor de comida conformado por dos ventiladores, el cual esparce el alimento almacenado en la cámara hacia el acuario, pese al buen funcionamiento este presenta un retraso de 1 min/día de alimentación el cual no trajo ningún problema al sistema.

Verificando que tan efectivo es el sistema de alimentación automática se consideran como factor importante para el suministro del alimento los horarios y el número de veces que se suministra el alimento, porque se comprobó que la alimentación tres veces al día es más efectiva que cuando se hace una sola vez, debido a que los pescados consumen el alimento más rápido (Gary A. 2014)

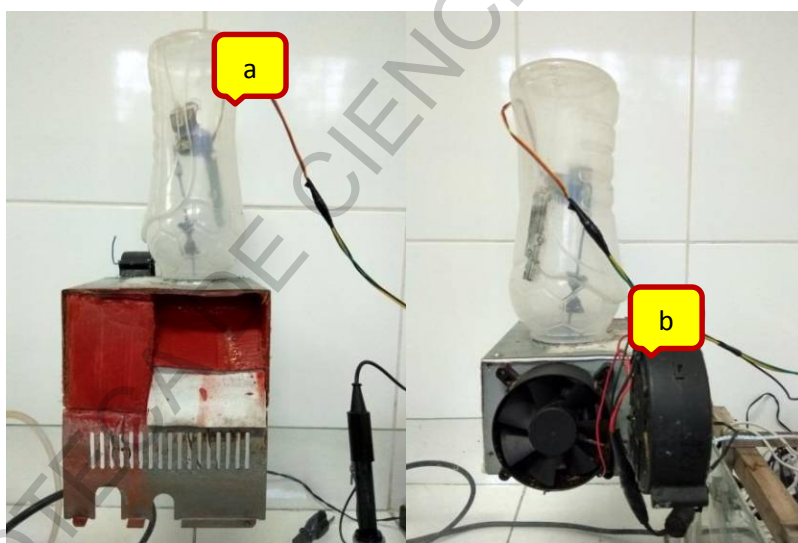


Figura 31. Parte frontal y trasera del alimentador mostrando el servomotor (a) y ventiladores (b).

Con respecto a las Variables de Control, la comparación de tasas muestra que los peces del tanque automático destacan sobre los otros durante el periodo de crianza que fue de 60 días con fecha de inicio del 08 de mayo hasta el 06 de julio de 2018 (Tabla 5). Esto tiene que ver con la temperatura del agua ya que existe una relación positiva entre

temperatura y crecimiento en peso, pues a mayor temperatura el metabolismo del pez aumenta y por ende tiene un mayor crecimiento. Además realizaron el análisis estadístico de la talla y el peso y se encontró que el modelo que se ajustó mejor a los datos fue de tipo potencial, el cual se expresó como $W\alpha=0.043*L2.681$ con una correlación entre $L(i)$ y $W(i)$ de 97 % $p<0.001$). Y en la prueba de t-Student indico que el valor del exponente $b=2,681$ no fue significativo diferente al valor de 3 ($t=6,314$, $p>0,05$), por lo que el crecimiento de la especie de este acuario se consideró como de tipo isométrico.

Tabla 5. Tasas de crecimiento y peso en función a las semanas de crianza en el sistema automatizado como en el convencional

SEMANA	AUTOMATIZADO		CONVENCIONAL	
	TALLA	PESO	TALLA	PESO
0	3,04	0,532	3,02	0,53
1	4,06	1,046	4	0,974
2	4,9	1,902	4,668	1,714
3	5,44	2,626	5	2,236
4	5,96	3,212	5,36	2,874
5	6,38	3,79	5,78	3,156
6	6,88	4,526	6,08	3,874
7	7,14	5,378	6,38	4,116
8	7,34	6,692	6,42	4,642
TASAS	0,5375	0,95950156	0,46321526	0,61446503

En las figuras 32 y 33 se observa el crecimiento constante de la Tilapia, el cual muestra un comportamiento rápido durante el tiempo de cultivo en el sistema automático a comparación del convencional, además se observa para la longitud un $R^2 = 0,9974$ y para el peso $R^2 = 0,9881$ el cual fue muy adecuado en ambos parámetros (Longitud y Peso) respectivamente, indicando una buena relación con el tiempo de cultivo. Dando como resultado que los peces criados en el prototipo automático, obtuvieron un desempeño superior a los individuos criados de manera convencional.

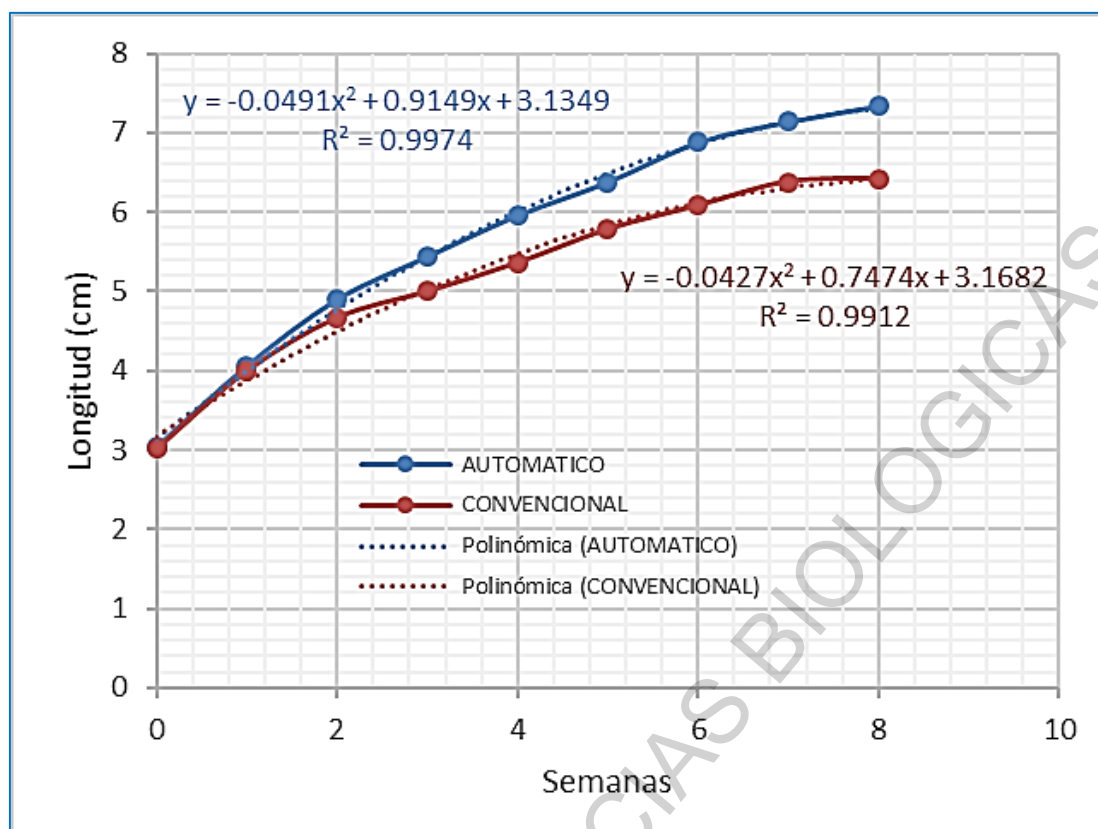


Figura 32. Curva comportamiento del crecimiento en ambos sistemas durante el tiempo de crianza.

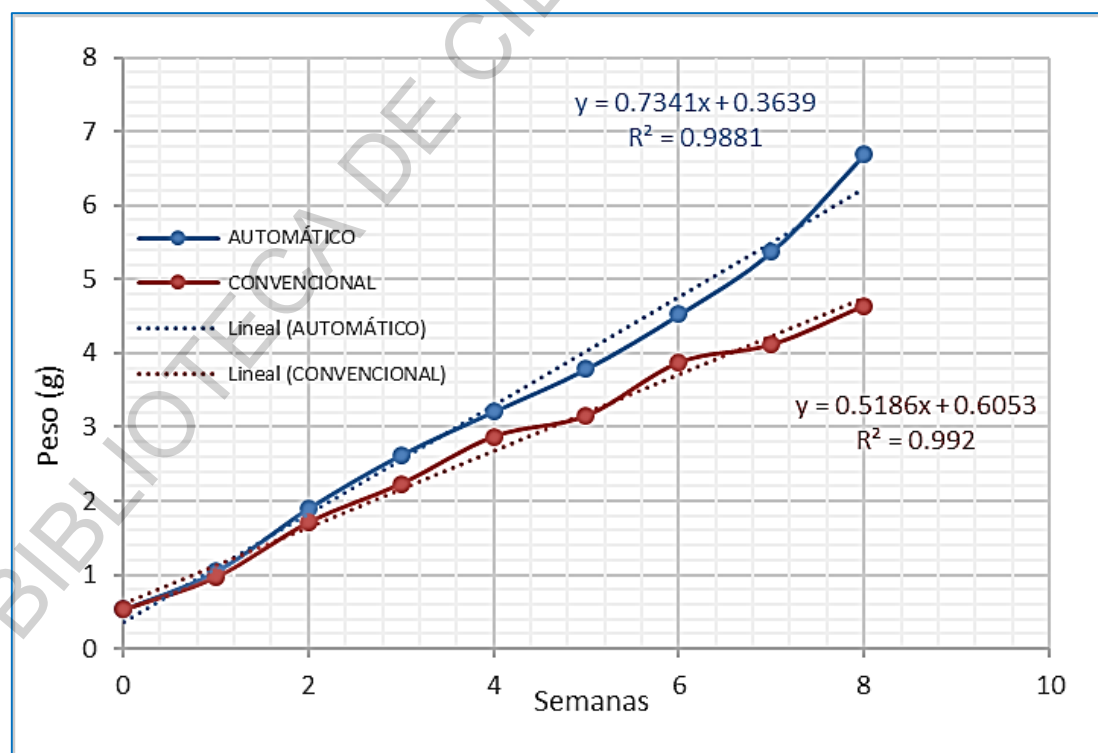


Figura 33. Curva comportamiento del peso en ambos sistemas durante el tiempo de crianza.

El mayor grado de relación que guardan los factores de peso y longitud, en condiciones de crianza automática en Tilapia, fue un $R^2 = 0,9933$ el cual es muy adecuado en ambos parámetros indicando una buena relación con el tiempo de cultivo de tilapia.

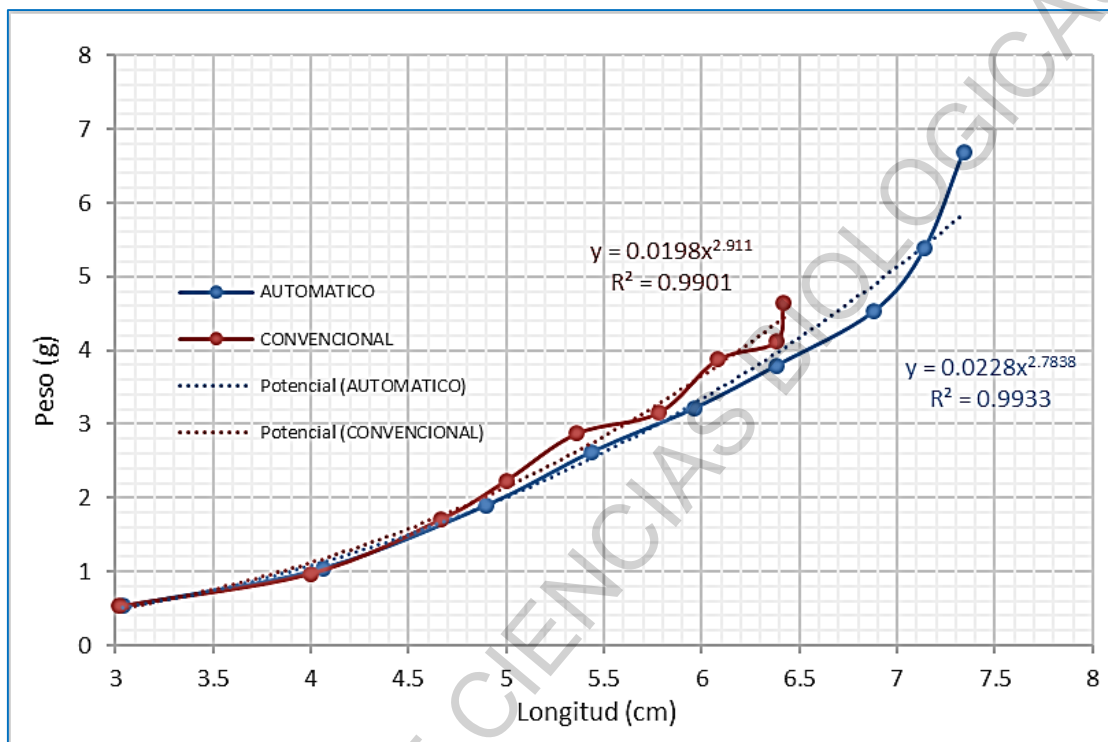


Figura 34. Relación Peso – Longitud en el sistema automático y convencional durante el tiempo de crianza.

En cuanto a la prueba estadística, al comparar las muestras respecto al peso se obtuvo:

- Muestra 1: AUTOMÁTICO (Peso) Muestra 2: CONVENCIONAL (peso)
- Muestra 1: 5 valores en el rango de 6.23 a 7.4 Muestra 2: 5 valores en el rango de 3.67 a 6.13

La tabla 6 contiene el resumen estadístico para las dos muestras de datos. Pueden utilizarse otras opciones tabulares, dentro de este análisis, para evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas. De

particular interés son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que pueden usarse para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar las pruebas que comparan las desviaciones estándar. En este caso, ambos valores de sesgo estandarizado se encuentran dentro del rango esperado. Ambas curtosis estandarizadas se encuentran dentro del rango esperado.

Tabla 6. *Análisis de variables de los sistemas analizados respecto a la Peso.*

	AUTOMÁTICO	CONVENCIONAL
Recuento	5	5
Promedio	6.692	4.642
Desviación Estándar	0.524662	0.970809
Coefficiente de Variación	7.84013%	20.9136%
Mínimo	6.23	3.67
Máximo	7.4	6.13
Rango	1.17	2.46
Sesgo Estandarizado	0.654029	0.933526
Curtosis Estandarizada	-1.00632	0.15157

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de AUTOMÁTICO: 6.692 +/- 0.651456 [6.04054; 7.34346]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de CONVENCIONAL: 4.642 +/- 1.20542 [3.43658; 5.84742]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias

Suponiendo varianzas iguales: 2.05 +/- 1.13803 [0.911971; 3.18803]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: $\mu_1 = \mu_2$

Hipótesis Alt.: $\mu_1 \neq \mu_2$

Suponiendo varianzas iguales: $t = 4.15395$ valor-P = **0.0031916**

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

Prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos, o cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde 0.911971 hasta 3.18803. Puesto que el intervalo no contiene el valor 0, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras, con un nivel de confianza del 95.0%.

También puede usarse una prueba-t para evaluar hipótesis específicas acerca de la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0.0 versus la hipótesis alterna de que la diferencia no es igual a 0.0. Puesto que el valor-P calculado es menor que 0.05, se puede rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna.

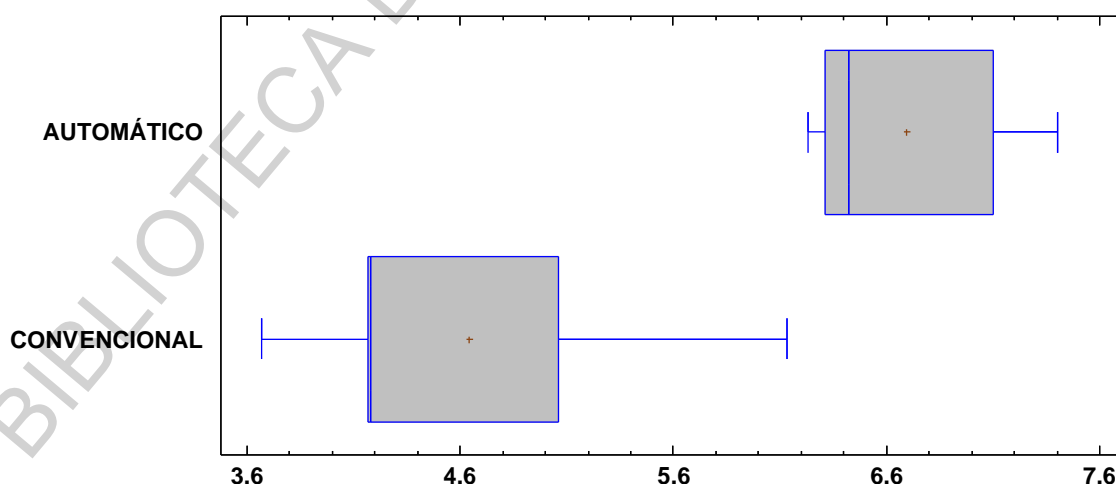


Figura 35. Caja y Bigotes para ambos tratamientos respecto al peso.

En cuanto a la prueba estadística, al comparar las muestras respecto a la longitud se obtuvo:

- Muestra 1: AUTOMÁTICO_1 (Longitud) Muestra 2: CONVENCIONAL_1 (Longitud)
- Muestra 1: 5 valores en el rango de 7.1 a 7.6 Muestra 2: 5 valores en el rango de 5.9 a 7.1

La tabla 7 contiene el resumen estadístico para las dos muestras de datos. Pueden utilizarse otras opciones tabulares, dentro de este análisis, para evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas. De particular interés son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que pueden usarse para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar las pruebas que comparan las desviaciones estándar. En este caso, ambos valores de sesgo estandarizado se encuentran dentro del rango esperado. Ambas curtosis estandarizadas se encuentran dentro del rango esperado.

Tabla 7. Análisis de variables de los sistemas analizados respecto a la longitud.

	<i>AUTOMÁTICO</i>	<i>CONVENCIONAL</i>
Recuento	5	5
Promedio	7.34	6.42
Desviación Estándar	0.207364	0.460435
Coeficiente de Variación	2.82513%	7.17188%
Mínimo	7.1	5.9
Máximo	7.6	7.1
Rango	0.5	1.2
Sesgo Estandarizado	0.214994	0.55364
Curtosis Estandarizada	-0.896085	0.125118

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de AUTOMÁTICO_1: 7.34 +/- 0.257478 [7.08252; 7.59748]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de CONVENCIONAL_1: 6.42 +/- 0.571707 [5.84829; 6.99171]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: 0.92 +/- 0.52077 [0.39923; 1.44077]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: $\mu_1 = \mu_2$

Hipótesis Alt.: $\mu_1 \neq \mu_2$

Suponiendo varianzas iguales: $t = 4.07383$ valor-P = 0.00356447

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

Prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos, o cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde 0.39923 hasta 1.44077. Puesto que el intervalo no contiene el valor 0, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras, con un nivel de confianza del 95.0%.

También puede usarse una prueba-t para evaluar hipótesis específicas acerca de la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras.

En este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0.0 versus la hipótesis alterna de que la diferencia no es igual a 0.0.

Puesto que el valor-P calculado es menor que 0.05, se puede rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna.



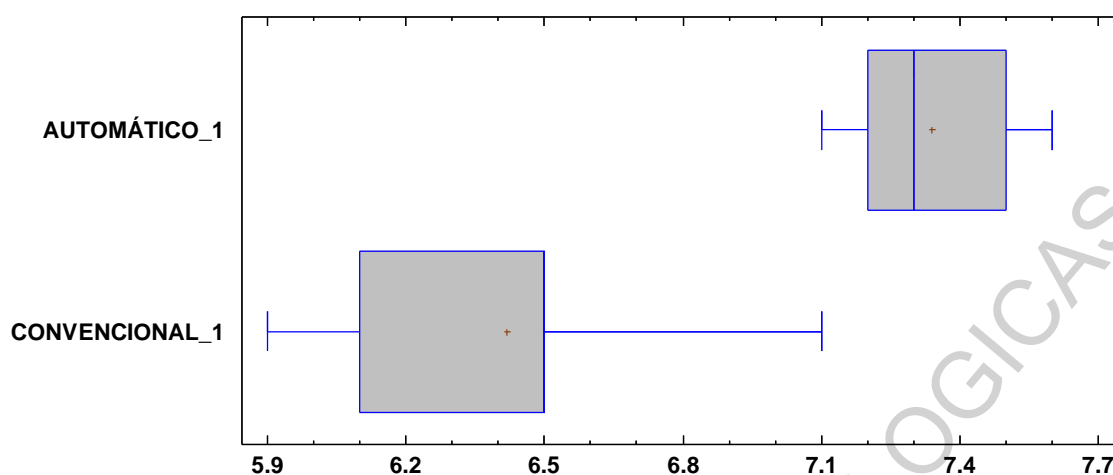


Figura 36. Caja y Bigotes para ambos tratamientos respecto a la longitud.

DISCUSIÓN

El diseño del sistema para automatizar el acuario fue capaz de ejecutar de manera correcta las acciones programadas, dando valores dentro de los rangos establecidos de relación entrada-salida de acuerdo a las reglas usadas en la aplicación acoplándose satisfactoriamente al diseño, el cual fue apto para proporcionar las condiciones apropiadas para el desarrollo de la especie, permitiendo estimar las variables en cualquier parte del sistema de cultivo conociéndose los valores ahorrando tiempo y en parte evitando la intervención de personal. Esto se puede corroborar con lo dicho por Rivera y Yepez (2015) quienes argumentan que es factible diseñar un prototipo capaz de registrar mediciones de los parámetros de la calidad del agua en un criadero de peces de forma automática y en tiempo real, logrando automatizar la recolección de la información que actualmente se toma de manera manual, ya que se obtiene mayor capacidad de análisis del comportamiento de los parámetros de la calidad del agua, además permite la disponibilidad de información en cualquier momento y lugar.

Así mismo Rivera y Yepez (2015) argumentan que el diseño del Módulo electrónico 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 almacenan a una base de datos para su posterior manipulación. Siendo muy similares lo dicho por estos autores a nuestros resultados ya que se obtuvo comportamientos de los módulos según lo esperado obteniendo mediciones concordantes y recibiendo la señal de los sensores de manera adecuada sin ningún contratiempo. Además el módulo de almacenamiento permitió almacenar todos los datos en la Micro SD desde el inicio hasta el término de la investigación.

Según Polania (2017) en las explotaciones piscícolas de clima cálido es fundamental contar con una temperatura óptima con el fin de que los peces crezcan más rápido y el ciclo productivo se reduzca. Para ello Vásquez et al. (2014) recomiendan usar cobijas térmicas que disminuyan la pérdida de temperatura en el agua, o implementar un sistema con resistencias eléctricas que realice el calentamiento ante la ausencia de energía solar, ya que en el cultivo de tilapia es crítico mantener la temperatura alrededor de los 28 °C, con el fin de hacer más eficiente su metabolismo y, así, su crecimiento; especialmente, se debe controlar en la etapa de crecimiento de los alevines, debido a su vulnerabilidad, obteniendo en su sistema valores de temperatura que varían durante el día y la noche entre 28 y 30°C, siendo la temperatura del agua uno de los factores más importantes en la crianza de peces. Según Vázquez et al. (2014). argumentan que la tilapia deja de alimentarse cuando la temperatura del agua está por debajo de los 16-17 °C y se estresa cuando supera los 37-38 °C.

Debido a esto se realizó este sistema con el fin de mantener una temperatura óptima para la crianza. La temperatura del agua se incrementó cuando estuvo por debajo del rango establecido en el sistema y según los valores que adquiriera el sensor. El sistema propuesto fue viable y factible de controlar la variable temperatura de manera automática dependiendo de los valores que detecte el sensor sin salir del rango establecido en el controlador. Por lo tanto, los resultados obtenidos en la temperatura del acuario fue según lo programado de 30°C obteniendo una variación no mayor de 0,5°C manteniendo la temperatura dentro del rango óptimo para la crianza de tilapia.

Para el proceso de medición de pH Torres (2007) indica que existen diferentes formas de medir el pH de una solución; sin embargo, existen métodos y formas de medición que garantizan la medida real y con precisión del pH. Si bien es cierto existen sustancias

que permiten identificar si una solución es acida o básica mediante el color (usando papel tornasol o reactivos químicos), este análisis es realizado de manera cualitativa pero con limitaciones al presentarse con sustancias opacas o turbias. Por ello concluyó que la mejor forma de medir el pH fue mediante un instrumento de medición automático mediante sensores. Navarro et al. (2013), obtuvo en su sistema de prototipo artificial un valor promedio de 7.4 ± 0.1 en las lecturas de pH y DFroboots (2018) encontró una relación inversa entre voltaje y valor de pH. Datos similares a los obtenidos por nuestro sistema se obtuvo con las lecturas del sensor en promedio de $8,15 \pm 0,16 \pm$, Con los resultados obtenidos se concluye que el sistema implementado presento lecturas correctas y de gran precisión en la medición de esta variable dependiendo de las condiciones de temperatura.

En cuanto al proceso de medición de la variable turbidez se obtuvo valores promedio de 3,91 V que convertido a NTU se obtuvo un valor de 971,81, similar resultado fue encontrado por El-Khoury (2016) quien obtiene un valor de 3,16 V que convertido a NTU da un valor de 1, 58 NTU. Lo que indica que el sensor se adaptó satisfactoriamente al modelo del sistema el cual permitió registrar los datos de manera constante manifestando su precisión y su fácil lectura.

Según Villavicencio (2016) indica que el alimentador automático autónomo realizado en su trabajo tiene la capacidad de dosificar cualquier alimento balanceado tipo pellet que esté dentro de los tamaños que maneja, siendo balanceados para especies acuáticas, como los de truchas, tilapias, camarones, langostas, para los cuales será necesario ejecutar la calibración previa para cada uno de estos alimentos. Encontrando como resultado durante las pruebas de alimentación que entregó a la hora establecida con un retraso de 26 milisegundos aproximadamente. Valor muy similar al encontrado en

nuestro trabajo en el que obtuvimos un retraso en las horas de alimentación de aproximadamente 1 min/día. Pero esto no implicó un mal funcionamiento del alimentador ya que este funcionó de acuerdo a la programación realizada en el sistema obteniéndose resultados positivos y el funcionamiento correcto del servomotor y de los ventiladores esparciendo el alimento en casi todo el acuario.

Otro punto vital fue la recirculación del agua, por ende Vilela (2009) indica que esta es importante para todo proceso de oxigenación y de uniformidad, debido a que en un estanque con recirculación se cuenta con una bomba de agua, la cual hace que todo el estanque sea realimentado con la misma agua, para eso además debe de contar con una caída de agua para su oxigenación leve y para poder enfriar el agua en caso de que se cuente con unas temperaturas elevadas sobre el óptimo, además del movimiento de las aguas del estanque los cuales permitirán que los desechos de los peces se depositen en el centro del estanque y puedan ser absorbidos por el filtro.

La uniformidad de los parámetros es importante para la crianza de tilapia es necesaria para presentar incremento en el crecimiento y engorde, para que no existan diferentes tamaños de tilapia en un mismo estanque. Por lo tanto Vilela (2009) concluye que su sistema de recirculación funciona todos los días ininterrumpidamente según lo esperado (excepto en casos de emergencia o algún caso extremo), eso significa que la bomba de recirculación se encuentra encendida. Al hacer uso de su sistema de recirculación, logra que los excrementos de los peces tiendan a ir hacia el centro superior de los estanques, es por eso que dentro de éstos se encuentra un tubo en posición vertical revestido en su parte superior con una malla de plástico para atrapar los excrementos y posibles excesos de alimento de los peces. Estos resultados fueron similares a los obtenidos en nuestro sistema de recirculación en acuarios ya que funcionó correctamente de acuerdo a la

programación, permitiendo observar que la bomba funcionaba correctamente y realizaba las acciones según los códigos ingresados al sistema, obteniendo un resultado satisfactorio teniendo el plus de observar el recambio, eliminación de desechos que se produce en un sistema cerrado y filtración de agua.

Durante el periodo de prueba con tilapia en el acuario automático se observó un crecimiento constante, el cual mostro un comportamiento en su crecimiento y peso proporcional en todo el periodo de cultivo en el sistema automático, además se observó para longitud un R^2 de 0,9974 estos resultados asumen que las varianzas de las dos muestras son iguales. En este caso, esa suposición parece razonable, con base en los resultados de la prueba-F para comparar las desviaciones estándar. Pueden verse los resultados de esta prueba seleccionando Comparación de Desviaciones Estándar del menú de Opciones Tabulares y para peso un R^2 de 0,9881 estos resultados asumen que las varianzas de las dos muestras son iguales. En este caso, esa suposición parece razonable, con base en los resultados de la prueba-F para comparar las desviaciones estándar. Pueden verse los resultados de esta prueba seleccionando Comparación de Desviaciones Estándar del menú de Opciones Tabulares, el cual se consideró significativo durante el tiempo de cultivo. Los resultados de esta investigación fueron similares a los de García et al. (2011), en cuanto a su análisis de la relación talla $L(i)$ Peso $W(i)$, mostró un crecimiento de tipo isométrico en el cual los organismos presentan un crecimiento proporcional entre la talla y peso. Esto indica que los valores obtenidos para las tilapias del acuario se encuentran dentro de este intervalo, y da confiabilidad a los resultados obtenidos en el presente estudio. A comparación de nuestros datos la tasa de crecimiento del sistema SAA-CT fue del 0.54 cm/sem y del convencional 0,46 cm/sem; por otro lado, la tasa de ganancia de peso para el sistema

SAA-CT fue de 0.96g/sem y del convencional 0.61g/sem. Mediante la prueba estadística t-Student ($t=6.692 \pm 0.651$ para peso) ($t=7.34 \pm 0.257$ para talla), se encontró diferencia estadísticamente significativa entre las medias para ambos tratamientos respecto a los atributos indicados, con un nivel de confianza del 95.0%.

BIBLIOTECA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó un prototipo automatizado para la crianza de *Oreochromis niloticus* “tilapia”, durante 60 días mediante la tecnología Arduino, registrando y controlando a través de sensores los parámetros de temperatura, pH, turbidez y alimentación sistematizada, además de la recirculación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agudelo E., Muñoz, J. & Echevarría J. (2009). Sistema robótico para la alimentación de peces. Feria Explora y Cuidamundos EPM. Colombia. 23 pp.

ARDUINO (2018). ARDUINO UNO REV3.Overview-Tech Specs. [En línea]. [Último acceso: 25 Junio 2018].

Disponible: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>

DFRobot (2017). Turbidity sensor SKU: SEN0189. [En línea]. [Último acceso: 19 Abril 2018].

Disponible:https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Turbidity_sensor_SKU:_SEN0189

DFROBOT (2018). PH meter (SKU: SEN0161). [En línea]. [Último acceso: 7 Junio 2018].

Disponible:[https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter\(SKU:_SEN0161\)#](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter(SKU:_SEN0161)#)

El-Khoury N. (2016). Adaptación e Implementación de un Sistema Autónomo de Bajo Coste de Monitorización de Calidad del Agua en Tiempo Real. Trabajo fin de grado. Departamento de Ingeniería Electrónica. Escuela Politécnica de Madrid. 62 pp.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO (2016). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. [En línea]. [Último acceso: 3 Julio 2018].

Disponible: <http://www.fao.org/publications/sofia/2016/es/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO (2018). El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura. [En línea]. [Último acceso: 03 Agosto 2018].

Disponible: <http://www.fao.org/publications/es/>

García A., Tume J., Juárez V. (2011). Determinación de los parámetros de crecimiento de la Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus*) en un estanque revestido con geomembrana y abastecido con agua de subsuelo. México. D.F. Pág. 3. (Consultado el 11 de Diciembre del 2013). También disponible en: http://www.uap.edu.pe/Investigaciones/Esp/Revista_15-02_Esp_05.pdf.

García J. y Ramírez M. (2012). Automatización de la Producción de la Tilapia. Tesis para obtener el Título de: Ingeniero en Control y Automatización. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Electrónica. Instituto Politécnico Nacional. México D.F. 167 pp.

Ministerio de Salud Perú (2011). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. DS N° 031-2010-SA., Lima: Dirección General de Salud Ambiental- Ministerio de Salud.



Molule Sky (MS) (2018). Liquid PH 0-14 Value Detection Regulator Sensor Module
Monitoring Control Meter Tester + BNC PH Electrode Probe For Arduino.

[En línea]

Disponible: <https://es.aliexpress.com/item/Liquid-PH-Value-Detection-detect-Sensor-Module-Monitoring-Control-For-arduino-BNC-Electrode-Probe/32797327021.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.274263c098cz4s>

Navarro A., Padilla J. & Prías J. (2013). 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. Universidad Tecnológica de Pereira. Scientia et Technica Año XVIII, Vol. 18, No 2, Agosto de 2013. ISSN 0122-1701.

Organización Mundial de la Salud-OMS (2006). Guías para la calidad del agua potable.

[En línea]. [Último acceso: 19 Abril 2018].

Disponible: www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf

Polania N. (2017). Propuesta de Automatización para Proceso Piscícola. Especialización en informática y automática industrial Facultad de Ingeniería Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. 12 pp.

Rivera D. y Yépez E. (2015). Diseño e Implementación de un Prototipo para la Medición de la Calidad del Agua y Control de la Oxigenación en Forma

Remota Orientado a la Producción Acuícola. Tesis previa a la obtención del título de: Ingeniero de Sistemas/Ingeniero Electrónico. Universidad Politécnica Salesiana. Sede Guayaquil. Ecuador. 104 pp.

Rojas L., Tique V. & Bocanegra J. (2017). USO DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS EN LA PRODUCCIÓN PISCÍCOLA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA. Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo, Vol. 17 (2), Julio-Diciembre 2017, pp. 47-57, Sogamoso-Boyacá, Colombia ISSN: 1900-771X, ISSN: 2422-4324 (En Línea).

Seoáñez M. (1998), “Ecología industrial: Ingeniería medioambiental de aplicada a la industria”. MUNDI-PRENSA, 2.ed. Madrid, España.

SÁNCHEZ, R. (2015). t-Student. Usos y abusos. Revidta Mexicana de Cardiología, I(26), pp. 59-61.

TORRES, E. y otros (2016). Efecto de la fertilización en el crecimiento y desarrollo del cultivo de la avena (*Avena sativa*). Pastos y Forrajes, XXXIX(2), pp. 102-110.

TR3SDLAND (2011). Tutorial Arduino # 0005 – Sensor de temperatura NTC. [En línea]. [Último acceso: 25 Mayo 2018].

Disponible: <https://www.tr3sdland.com/2011/12/tutorial-arduino-0005-sensor-de-temperatura-ntc/>



Torres J. (2007). Diseño e Implementación de un Instrumento de Medición de pH para la Crianza de Truchas. Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima – Perú. 102 pp.

Vásquez R., Urrutia A. & Jiménez H. (2014). Sistema energéticamente eficiente y de bajo costo para controlar la temperatura y aumentar el oxígeno en estanques de cultivo de alevines de tilapia roja. Revista Facultad de Ingeniería, Enero-Junio 2014, Vol. 23. No. 36. pp. 9-23. Colombia.

Vilela F. (2009). Diseño e Implementación de un Modelo de estimación del Oxígeno Disuelto en el Estanque de Crianza de Tilapias de la PUCP Usando Lógica Difusa. Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico. Pontificia Universidad Católica del Perú. 70 pp.

Villavicencio J. (2016). IMPLEMENTACIÓN DE UN ALIMENTADOR AUTOMÁTICO AUTÓNOMO PARA PECES CON COMUNICACIÓN GSM EN LA EMPRESA ALFA CONSTRUCCIONES EN ACEROS. Tesis de Grado, previa obtención del título de Ingeniero en Electrónica Control y Redes industriales. FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO. Riobamba – Chimborazo – Ecuador. 113 pp.

ANEXOS



ANEXO 1. Recepción de los alevines utilizados en la ejecución del proyecto.



ANEXO 2. Toma de datos Longitud y Peso.



ANEXO 3. Equipos en funcionamiento (Sistema automático (x), Sistema convencional (y)).