

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						  
	<b>DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 4</b>

**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:** IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE VARIABLES FISICO-QUIMICAS PARA UN CULTIVO ACUAPÓNICO EN LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
VALDERRAMA GONZALEZ	CRISTHIAN EDUARDO
ROJAS RAMOS	CRISTIAN CAMILO

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
MARTINEZ BARRETO	GERMAN EDUARDO

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
POLANIA PUETNES	EDILBERTO
DUARTE TORO	MAURICIO

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** INGENIERO ELECRRONICO

**FACULTAD:** INGENIERIA

**PROGRAMA O POSGRADO:** INGENIERIA ELECTRONICA

**CIUDAD:** NEIVA

**AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2015 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 96

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						  
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-07</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>2 de 4</b>

**TIPO DE ILUSTRACIONES** (Marcar con una X):

Diagramas   x   Fotografías   x   Grabaciones en discos    Ilustraciones en general   x   Grabados     
 Láminas    Litografías    Mapas    Música impresa    Planos    Retratos    Sin ilustraciones    Tablas  
 o Cuadros   x  

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento:

**MATERIAL ANEXO:**

**PREMIO O DISTINCIÓN** (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1.	<u>MONITOREO</u>	<u>MONITORING</u>		
2.	<u>ACUAPONIA</u>	<u>ACUAPONIC</u>		
3.	<u>VARIABLES</u>	<u>VARIABLES</u>		
4.	<u>ARDUINO</u>	<u>ARDUINO</u>		
5.	<u>                  </u>	<u>                  </u>		

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

The work consists of an electronic circuit that monitors and records in a database 4 physicochemical variables in an aquaponic growing in the experimental farm of the University Surcolombiana, making the job of recording and analysis much simpler, this system consists of stages key on the remote monitoring.



## GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

### DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



**CÓDIGO**

**AP-BIB-FO-07**

**VERSIÓN**

**1**

**VIGENCIA**

**2014**

**PÁGINA**

**3 de 4**

--

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

--



## GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

### DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

4 de 4

#### APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: German Martínez Barreto

Firma:

Nombre Jurado: Mauricio Duarte Toro

Nombre Jurado: Edilberto Polania

Firma:

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						  
	<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-06</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 2</b>

Neiva, 31 de agosto de 2015

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

CRISTHIAN EDUARDO VALDERRAMA GONZALEZ, con C.C. No. 1075255984,

CRISTIAN CAMILO ROJAS RAMOS, con C.C. No. 1075239294,

\_\_\_\_\_, con C.C. No. \_\_\_\_\_,

\_\_\_\_\_, con C.C. No. \_\_\_\_\_,

autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o \_\_\_\_\_

titulado IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE VARIABLES FISICO-QUIMICAS PARA UN CULTIVO ACUAPONICO EN LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

presentado y aprobado en el año 2015 como requisito para optar al título de

INGENIERO ELECTRONICO;

autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.

- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.

- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>						  
	<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-06</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>2 de 2</b>

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

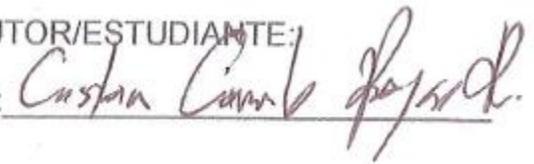
EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:



EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:



**IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE VARIABLES  
FISICO-QUIMICAS PARA UN CULTIVO ACUAPONICO EN LA GRANJA  
EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**

**CRISTIAN CAMILO ROJAS RAMOS  
CRISTHIAN EDUARDO VALDERRAMA**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
NEIVA  
2015**

**IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE VARIABLES  
FISICO-QUIMICAS PARA UN CULTIVO ACUAPONICO EN LA GRANJA  
EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**

**CRISTIAN CAMILO ROJAS RAMOS  
CRISTHIAN EDUARDO VALDERRAMA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero  
Electrónico**

**Director  
Germán Martínez Barreto  
Ingeniero Electrónico**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
NEIVA  
2015**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Neiva, 30 de Julio del 2015.

## DEDICATORIA

*“A mis padres, Abraham Rojas González y Bárbara Ramos Losada, que cada día depositan su confianza en mí y han estado incondicionales, mil gracias; y a ti guerrera, por tu apoyo y ser la inspiradora de esto.”*

CRISTIAN CAMILO ROJAS RAMOS

*“Todo mi esfuerzo y mi trabajo de estos años de mi carrera se lo dedico a mis queridos padres José Domingo Valderrama Ramírez y Luz marina González Tamayo a mis hermanos Diego José Valderrama González y Karen Carolina Valderrama González que siempre me apoyaron moral y económicamente a mis amigos y demás familiares que siempre me animaron en los momentos difíciles y en especial a mi novia quien se preocupó y me colaboro mucho para culminar mi carrera. Muchas gracias.”*

CRISTHIAN EDUARDO VALDERRAMA GONZALEZ

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a cada una de nuestras familias, al programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad Surcolombiana, por el apoyo en todo este proceso. A los profesores del programa que nos brindaron asesoría constante y a nuestros compañeros de carrera, muchas gracias por acompañarnos y ayudarnos en este ciclo. También a las siguientes personas:

- Ing. Germán Martínez Barreto, director de nuestro proyecto, por estar siempre atento y su aporte intelectual en este objetivo.
- A los Ingenieros Mauricio Duarte, Edilberto Polanía y Julián Molina por sus aportes desde distintos campos, y el conocimiento dado a este proyecto.
- A cada compañero de estudio que nos aportó algo diferente en todo este tiempo de carrera, gracias.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	18
2. JUSTIFICACION .....	20
3. OBJETIVOS .....	21
3.1. OBJETIVO GENERAL .....	21
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	21
4. MARCO REFERENCIAL.....	22
4.1. GENERALIDADES DE LA ACUAPONIA .....	22
4.2. ELEMENTOS DE UN SISTEMA ACUAPONICO .....	23
4.2.1. Tanques para cultivar peces .....	23
4.2.2. Bomba de aireación .....	24
4.2.3. Bomba de agua.....	25
4.2.4. Biofiltro .....	26
4.2.5. Los sistemas de cultivos hidropónicos .....	26
4.3. ESQUEMA DE UN SISTEMA ACUAPONICO .....	27
4.4. VARIABLES FISICO-QUIMICAS.....	28
4.5. ARDUINO .....	29
4.5.1. Arduino Uno.....	31
5. REQUISITOS DEL SISTEMA DE MONITOREO .....	32
5.1. HARDWARE .....	33
5.2. SOFTWARE.....	33
6. ANALISIS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE VARIABLES FISICO- QUIMICAS.....	35
6.1. DIAGRAMA DEL SISTEMA DE MONITOREO .....	36
6.2. FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE .....	37
6.2.1. Caso de usuario cualquiera .....	37
6.2.2. Caso de administrador del sistema de monitoreo .....	38
7. ETAPAS DEL SISTEMA DE MONITOREO .....	39
7.1. HARDWARE .....	39
7.1.1. Etapa de sensado .....	39
7.1.2. Etapa de adquisición y procesamiento .....	45
7.1.3. Etapa del sistema alarmado.....	49
7.1.4. Etapa de comunicación en tiempo real (Protocolo).....	51
7.2. SOFTWARE.....	53

7.2.1. Procesamiento en Arduino.....	54
7.2.2. Interfaz de usuario (visualización y almacenamiento).....	57
8. IMPLEMENTACION Y PRUEBAS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE VARIABLES FISICO-QUIMICAS.....	66
8.1. MONTAJE Y PRUEBAS DE LAS TARJETAS ELECTRONICAS .....	66
8.2. INSTALACION DEL SISTEMA DE MONITOREO .....	76
8.3. PRUEBAS DEL SISTEMA IMPLEMENTADO .....	82
9. CONCLUSIONES.....	84
10. RECOMENDACIONES .....	85
11. TRABAJOS FUTUROS .....	86
12. BIBLIOGRAFÍA .....	87
13. ANEXOS .....	89

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. <i>Tanque de cultivo de peces (Granja experimental-USCO)</i> .....	23
Figura 2. <i>Blower´s- Especificaciones (Granja Experimental- Usco)</i> .....	24
Figura 3. <i>Bomba de agua sumergible (Granja Experimental-USCO)</i> .....	25
Figura 4. <i>Tanque de Biofiltro (Granja Experimental-Usco)</i> .....	26
Figura 5. <i>Cultivo hidropónico de raíz flotante (Granja Experimental-USCO)</i> .....	27
Figura 6. <i>Diagrama del sistema</i> .....	28
Figura 7. <i>Multiparamétrico variables físico-químicas (Granja Experimental-USCO)</i> .....	29
Figura 8. <i>Placa Arduino Uno</i> .....	30
Figura 9. <i>Diagrama del sistema de monitoreo</i> .....	32
Figura 10. <i>Esquema del sistema por sus bloques respectivos</i> .....	36
Figura 11. <i>Caso de usuario cualquiera</i> .....	37
Figura 12. <i>Caso uso Administrador del sistema de monitoreo</i> .....	37
Figura 13. <i>Ejemplo de manipulación de las lecturas (Eliminación de datos)</i> .....	38
Figura 14. <i>Interfaz de acceso del administrador al servidor</i> .....	38
Figura 15. <i>Asignación de pines (Datasheet)</i> .....	40
Figura 16. <i>Sensor de temperatura</i> .....	40
Figura 17. <i>Diagrama de bloques del DS18B20</i> .....	41
Figura 18. <i>Sensor de nivel</i> .....	42
Figura 19. <i>Sensor de pH</i> .....	43
Figura 20. <i>Sensor de humedad</i> .....	45
Figura 21. <i>Tarjetas Arduino Uno, OpenAquarium, Shield de la XBee Pro S-2 y Modulo del sensor de pH</i> .....	46
Figura 22. <i>Tarjeta Open Aquarium (Libelium)</i> .....	47
Figura 23. <i>Tarjeta Open Aquarium reverso (Celda tipo moneda)</i> .....	48
Figura 24. <i>Acople entre ambas tarjetas (Arduino Uno &amp; Open Aquarium)</i> .....	48
Figura 25. <i>Esquema operativo del circuito (Reloj – Tiempo real)</i> .....	49
Figura 26. <i>Conmutador-aislador del sistema de alarma</i> .....	50
Figura 27. <i>Transistor Darlington Epitaxial (TIP120/121/122)</i> .....	51
Figura 28. <i>Modulo XBee PRO serie 2B (Protocolo ZigBee)</i> .....	52
Figura 29. <i>Coordinador/Router, envío bidireccional de datos</i> .....	52
Figura 30. <i>Antena TP-LINK</i> .....	53
Figura 31. <i>Entorno de desarrollo Arduino, anexo librería OpenAquarium</i> .....	54
Figura 32. <i>Inclusión de librería</i> .....	55
Figura 33. <i>Calibración del sensor de pH</i> .....	55
Figura 34. <i>Calibración sensor de temperatura</i> .....	56
Figura 35. <i>Calibración sensores de nivel</i> .....	56

Figura 36. <i>Calibración sensor de humedad</i> .....	57
Figura 37. <i>Autorización de uso del producto para fines académicos</i> . ....	58
Figura 38. <i>Diagrama de flujo del cuerpo principal del software</i> . ....	59
Figura 39. <i>Diseño de interfaz de administración (Visual Studio Community 2013)</i> . .....	60
Figura 40. <i>Interfaz principal final del sistema de monitoreo</i> . ....	61
Figura 41. <i>Interfaz de monitoreo en funcionamiento</i> .....	62
Figura 42. <i>Diseño interfaz de base de datos</i> . ....	63
Figura 43. <i>Interfaz final de la base de datos del sistema de monitoreo</i> .....	63
Figura 44. <i>Exportación de datos</i> .....	64
Figura 45. <i>Datos ordenados para su análisis</i> .....	64
Figura 46. <i>Montaje de las tarjetas electrónicas</i> . ....	66
Figura 47. <i>Prueba de las tarjetas electrónicas</i> . ....	67
Figura 48. <i>Conexión del sensor de temperatura</i> .....	68
Figura 49. <i>Conexión de los sensores de nivel</i> .....	68
Figura 50. <i>Laboratorio de recursos GeoAgroAmbientales (suelos)</i> .....	69
Figura 51. <i>Reactivos de pH (Buffer)</i> . ....	69
Figura 52. <i>Pruebas finales del sensor de pH</i> .....	70
Figura 53. <i>Diseño circuito impreso de la alarma del sistema</i> .....	71
Figura 54. <i>Circuito de alarma en fibra de vidrio</i> .....	71
Figura 55. <i>Referencia de sirena usada en el sistema</i> . ....	72
Figura 56. <i>Conexión entre etapas (Alarma-procesamiento)</i> .....	73
Figura 57. <i>Circuito de monitoreo en su caja acrílica</i> .....	73
Figura 58. <i>Sistema de monitoreo con sus módulos XBee Pro S2B (Circuito interno)</i> .....	74
Figura 59. <i>Casa metálica, vista interior</i> .....	74
Figura 60. <i>Vista interna del circuito en la casa metálica</i> .....	75
Figura 61. <i>Sistema de monitoreo de variables físico-químicas</i> . ....	75
Figura 62. <i>Cercha para el cableado del sensor de humedad</i> . ....	76
Figura 63. <i>Base del sistema de monitoreo</i> .....	77
Figura 64. <i>Modulo XBee PRO s2B coordinador instalado</i> .....	78
Figura 65. <i>Prueba de funcionamiento (XBee PRO s2B-Coordinador)</i> .....	78
Figura 66. <i>Implementación de sonda de humedad en el sistema</i> .....	79
Figura 67. <i>Sensores sumergidos en el estanque acuapónico</i> .....	80
Figura 68. <i>Sensor de humedad instalado</i> .....	80
Figura 69. <i>Sirena de alarma instalada</i> .....	81
Figura 70. <i>Interfaz de usuario tomando datos del sistema acuapónico</i> .....	83

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Valores nominales Arduino Uno .....	31
Cuadro 2: Rango de funcionamiento optimo sensor temperatura .....	41
Cuadro 3: Valores nominales sensor de nivel .....	42
Cuadro 4: Valores nominales sensor de pH.....	44
Cuadro 5: Valores nominales sensor de humedad.....	45
Cuadro 6: Valores maximos de funcionamiento DS1307 .....	49

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A: Documentacion Software Utilizado .....	88
Anexo B:Codigo de interfaz de usuario (Visual C#) .....	90
Anexo C: Manual de instalación de la interfaz de usuario .....	91

## GLOSARIO

**ATMEGA 328:** es un microcontrolador de la familia ATMEGA creada por la empresa Atmel, se usa para adquisición y procesamiento de datos.

**BASE DE DATOS:** es un espacio de memoria en un servidor dedicado a almacenar datos que se están adquiriendo constantemente.

**BLOWER:** es un motor especializado a suministrar oxígeno a los estanques de peces que funciona con la red eléctrica local, deben estar en constante funcionamiento.

**COMUNICACIÓN INALAMBRICA:** es la que no necesita ningún tipo de conducción cableada sino que se transmite a través del aire por medio de ondas electromagnéticas, llevando algún tipo de información específica.

**CONECTOR BNC:** es un conector de fácil conexión y desconexión se utiliza para aplicaciones donde se permita poca interferencia o ruido, y es de impedancia constante, pues tiene unas prestaciones buenas de inmunidad.

**CULTIVO ACUAPONICO:** es un cultivo donde se está produciendo dos tipos de alimentos, pez y hortalizas. Se le conoce como cultivo intensivo, por su pequeño tamaño y grandes producciones de alimento.

**DOMOTICA:** es una técnica orientada a automatizar, controlar y/o monitorear sistemas urbanos y agrícolas que integran la tecnología de las comunicaciones, seguridad y gestión energética.

**ELECTRODO:** es un sensor especializado para alguna tarea, el electrodo de pH por ejemplo, está diseñado a recibir primariamente la variable física y convertirla (Transducción) en una, de otra magnitud (eléctrica).

**GUIDE:** es la interfaz orientada a objetos de un programa interactivo, se usa mucho en interfaces de usuario, páginas web y aplicaciones móviles.

**HEXADECIMAL:** es un sistema de medida numérico usado en operaciones grandes a nivel máquina. Su base es 16, a diferencia del decimal (base 10) y binario (base 2).

**INTERFAZ DE USUARIO:** es la página con la que el usuario va a interactuar directamente, normalmente es sencilla y contiene niveles de seguridad.

**MEDIDA PATRON:** en la instrumentación se conoce a esta medida como la base para calibración, de ella depende cada instrumento a calibrar y a obtener sus respectivos rangos.

**MULTIPARAMETRICO:** es un instrumento poli funcional que sirve para medir variables físico-químicas de forma rápida y portátil.

**SOLUCION NUTRITIVA RECIRCULANTE:** es una técnica usada en los circuitos acuapónicos intensivos que consiste en usar el agua de crianza de pez como medio para alimentar las plantas, y estas a su vez limpiando el agua que sirve de medio para los peces.

**TOPOLOGIA DE RED:** es un mecanismo para ordenar y organizar una red entre varios nodos (servidores, ordenadores, etc.) que se usa para intercambiar datos.

**VARIABLES FISICO-QUIMICAS:** son las variables a medir, que se estarán monitoreando, que son de carácter físico y/o químico (Humedad, Nivel, pH, Temperatura, etc.).

**VISUAL BASIC:** es un lenguaje programable muy usado para aplicaciones de seguridad, va dirigido a eventos, y es muy versátil en cuanto a compatibilidad a otros códigos de alto nivel.

## RESUMEN

Hemos implementado un sistema de monitoreo de variables físico-químicas para el cultivo acuapónico en la granja de la Universidad Surcolombiana, teniendo en cuenta 4 variables, las cuales son sensadas, procesadas e interpretadas para el usuario.

Estas variables son: nivel, temperatura, humedad y pH. Cada una debe ser vigilada constantemente con el propósito de tener un buen monitoreo del circuito acuapónico, para ello utilizamos 3 tarjetas electrónicas para la adquisición de las señales obtenidas de cada sensor (Arduino, Open Aquarium x2). Usamos la tarjeta Open Aquarium, para tener mejores prestaciones cuando se quiera monitorear muchos procesos, de igual forma es la tarjeta Arduino la que se encarga del procesamiento de las señales.

Otra parte fundamental es la transmisión de los datos para ser leídos y almacenados por el usuario, para ello usamos 2 dispositivos XBee que nos permiten la comunicación remota entre la tarjeta Arduino y el ordenador de interfaz. También implementamos el sistema de alarma conformado por una sirena (Zumbador) que se activa dependiendo de los niveles críticos de las variables sensadas, y un circuito ON/OFF para encender o apagar dicha alarma.

**PALABRAS CLAVES:** MONITOREO, ACUAPONIA, VARIABLES, ARDUINO.

## **ABSTRACT**

We have implemented a monitoring system of physical and chemical variables for aquaponics crops on the farm at the University of Southern Colombia, taking into account four variables that are detected, processed and interpreted by the user.

These variables are: level, temperature, humidity and pH. Each must be constantly monitored to have a good aquaponics circuit result, for this we use 3 electronic cards to acquire the signals obtained from each sensor (Arduino, open aquarium x2). We use open aquarium card for better performance when you want to control many processes, such as the Arduino board which is responsible for signal processing.

Another important part is the transmission of the data to be read and stored by the user, so that the two devices that let us XBee remote communication between the Arduino board and computer interface are used. We also implemented the alarm system consists of a siren (buzzer) is activated based on the critical levels of the detected variables, and a circuit on / off or disable the alarm.

**KEYWORDS: MONITORING, AQUAPONICS, VARIABLES, ARDUINO.**

## INTRODUCCIÓN

La acuaponía es una técnica relativamente nueva que proporciona prestaciones alimentarias con mejores resultados que la convencional, debido a que une la recirculación de agua, los cultivos de peces y de hortalizas en un espacio “pequeño” en comparación con la producción de alimentos que produce.

En este sistema, los desechos metabólicos generados por los peces y los restos de alimento, son utilizados por los vegetales y transformado en materia orgánica vegetal. De esta forma se genera un producto de valor a través de un sub producto desechable, con la ventaja de que, el agua libre ya de nutrientes queda disponible para ser reutilizada. Gracias a esto, los sistemas acuapónicos trabajan sobre dos puntos de gran interés en producción, rentabilidad y tratamiento de desechos.<sup>1</sup>

Los sistemas acuapónicos domésticos se están masificando y generando un nuevo mercado de auto sustentabilidad en alimentación. Los rendimientos obtenidos con hidroponía superan enormemente a las producciones llevadas en tierra. Por ejemplo, lechugas cultivadas en suelo, rinden entre 6 a 8 plantas por  $m^2$ , mientras que en hidroponía alcanzamos las 25 a 30 plantas por  $m^2$ .<sup>2</sup>

el monitoreo de estos circuitos acuapónicos se vuelven imprescindibles para obtener unos resultados e investigaciones más precisas con respecto a las variables a medir, dichas variables deben ser seguidas con gran precisión para garantizar la poca mortandad en los peces y en las plantas del circuito y que las prestaciones sean optimas, por ello se desarrollan circuitos electrónicos de monitoreo y de control para estos procesos, con una alta fiabilidad y gran visión a proyectos que cada vez se van masificando, convirtiéndose en el futuro de la seguridad alimentaria.

Colombia es un país agrícola, que tiene potencial para este tipo de cultivos autosustentables, pero poco se ha desarrollado a nivel de industria masiva, debido al desconocimiento, la poca inversión estatal y a los monopolios de cultivos tradicionales. La electrónica se ha vuelto un gran aliado en el monitoreo y el control de estos cultivos de nueva generación, pues hacen menos engorroso el seguimiento de variables como la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto entre

---

<sup>1</sup> CALO PABLO. *Introducción a la Acuaponía*. Centro nacional de desarrollo acuícola-CENDAC. 2011 p.1

<sup>2</sup> Reequilibrium, Biofish. *Agricultura Sustentable y Alternativa: <<Acuaponía>>* 2007 p.2

otras y brinda una alta fiabilidad a los procesos, disminuyendo costos y elevando la producción.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los cultivos acuapónicos son sistemas que integran cultivos de peces y un cultivo hidropónico con plantas, estos se encuentran en un circuito cerrado o realimentado, en cual el agua se utiliza como componente acuícola y componente hidropónico, la cual estará en constante recirculación, es decir que dichos cultivos se juntan para aprovechar al máximo los desechos metabólicos generados por los peces, que contienen los restos de alimentos utilizados como nutrientes por las plantas, para luego ser transformados en materia orgánica vegetal, con el fin de utilizar el agua con las heces fecales de los peces como abono para las plantas con la ventaja de que después el agua quede libre de nutrientes y pueda ser reutilizada.

Gracias a esto, los cultivos acuapónicos resultan muy beneficiosos para la producción por su rentabilidad y el tratamiento de desechos. En los sistemas acuapónicos los desechos metabólicos de los peces proporcionan grandes cantidades adecuadas de la mayoría de nutrientes que la mayoría de las plantas necesitan para su crecimiento, estos nutrientes son generados por la mineralización de la materia orgánica como heces y restos de alimento, la excreción de los peces como el amonio. Éstos desechos resultan ser tóxicos para los mismos peces, por lo tanto deben ser retirados del agua del tanque, para que luego las plantas puedan absorber el amonio o el nitrato del producto de la oxidación del amonio por bacterias nitrificantes, para que actúen como un filtro biológico depurando el agua que retorna al tanque de peces en adecuadas condiciones.

Por lo cual el agua en un cultivo acuapónico tiene muchas características, en la cual las bacterias juegan un rol principal generando sustancias prebióticas que protegen a las raíces de las plantas y a los peces de enfermedades, ya que el agua para la producción de los peces y las plantas es la misma, tampoco se utilizan fertilizantes dado que los nutrientes son aportados por el alimento y la excreción de los peces. De igual modo tampoco se pueden tratar las plantas con pesticidas, pues el producto entra en contacto con el agua y puede matar los peces y microorganismos. Por lo tanto el uso de pesticidas en el control de plagas no es una respuesta práctica en acuaponía; por ende existen muchas variables tanto físicas y químicas presentes en este tipo de cultivo, ya que los peces estarán expuestos a los diferentes cambios de temperatura que presenten los estanques, variaciones de nivel de agua en los mismos, la concentración de pH contenida en el agua debido a la acidificación que produce la nitrificación, el oxígeno disuelto en el agua, y las plantas dependen de la humedad del suelo utilizado como sustrato,

conductividad eléctrica usado como parámetro para medir las sales en el agua para saber si excede o carece de nutrientes para las plantas, etc.

Para lograr una sostenible producción con la mayor ganancia en este tipo de cultivos acuapónicos es necesario tener muy en cuenta estas variables, para mantener las mejores condiciones adecuadas para garantizar el normal desarrollo de los peces y las hortalizas y tomar las precauciones necesarias para disminuir la tasa de mortalidad de los mismos, que se presenta por las irregularidades durante el proceso de cultivo.

## 2. JUSTIFICACION

Los cultivos acuapónicos parecen ser una alternativa bastante prometedora para la producción de peces y hortalizas hoy en día, debido a la deforestación masiva y a la sequedad de quebradas, lagos y ríos cada vez más constante por cambios bruscos de temperatura a causa de la problemática de calentamiento global que se presenta actualmente en nuestro planeta, es por eso que con urgencia hay que buscar alternativas que ayuden a mantener el equilibrio de nuestra fauna y flora buscando conservar siempre nuestras fuentes hídricas al máximo, es por eso que a nivel mundial se han desarrollado diferentes tipos de proyectos hoy en día que combinan métodos de acuicultura y agricultura para la producción de vegetales como hortaliza de hoja verde, plantas medicinales, culinarias, pepinos, pimientos, tomates, calabacín, melones ,berenjena, etc. Y peces como la tilapia que es el más común en este tipo de cultivos entre otras.

En el departamento del Huila la producción de tilapia es cada vez más baja y va en des-aumento, debido a las construcciones de fábricas e industrias más frecuentes en zonas rurales y zonas aledañas por donde pasan quebradas, riachuelos, lagos y ríos, como es el caso de la represa de Betania en Yaguará-Huila y la ahora en construcción represa del Quimbo en dicho departamento, represas que utilizan el rio Magdalena como fuente de recurso hídrico, de las mismas desviándolo de sus cauces reduciendo así el flujo de agua de este importante rio hacia quebradas o riachuelos cercanos, disminuyendo la capacidad de oxigenación del agua para mantener el número de especímenes que por años han contenido estos ríos. Debido a esto, empresas piscícolas en el departamento del Huila están optando por proyectos de acuaponía cada vez más como una solución a este problema.

La universidad Surcolombiana cuenta con un programa de acuicultura e ingeniería agrícola y una granja experimental donde se está realizando un proyecto usando un cultivo acuapónico actualmente, por eso es de suma importancia que vaya de la mano con la tecnología para que pueda obtener mayores beneficios, por eso es importante que el programa de ingeniería electrónica se sume a este proyecto, para implementar un sistema que ayude a monitorear en tiempo real los procesos que se lleven a cabo para evitar el mayor número de errores humanos que se pueden cometer durante su desarrollo.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Implementar un sistema de monitoreo para la medición de variables físicas y químicas de un cultivo acuapónico desarrollado en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Implementar sensores para la adquisición y medición de variables físicas y químicas para la temperatura, nivel, pH y humedad del cultivo acuapónico.
- Diseñar una interfaz gráfica y crear una base de datos para el monitoreo en tiempo real de las variables físico-químicas.
- Determinar una curva característica a partir de la base de datos para estudiar el comportamiento durante el transcurso de cultivo.
- Crear mediante software y hardware un sistema de alerta para que indique cuando los niveles medidos por los sensores no sean los adecuados para garantizar el normal desarrollo del cultivo.
- Implementar un protocolo de comunicación inalámbrica para el monitoreo remoto.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1. GENERALIDADES DE LA ACUAPONIA

La acuaponía es la combinación de la acuicultura de recirculación con la hidroponía, definiendo acuicultura como el cultivo de animales acuáticos como peces, moluscos, Crustáceos, e hidroponía como el cultivo de plantas que se desarrollan en un sustrato inerte, las cuales reciben los minerales aplicando soluciones de nutrientes<sup>3</sup>.

La hidroponía es el cultivo de plantas, principalmente hortalizas, sin usar suelo, que es substituido por un sustrato sólido constituido por materiales inertes como en el sistema de camas, o por agua como en el caso del sistema de raíz flotante y del sistema de solución nutritiva recirculante, este último también conocido como N.F.T. (nutrient film technique, por su sigla en inglés). Por ser inerte el sustrato de cultivo, las plantas hidropónicas se alimentan con una solución nutritiva en la cual se disuelven en agua las sales minerales que aportan a las plantas todos los elementos necesarios para su desarrollo. Una vez formulada la solución nutritiva y diluida según el caso, se aplica en razón de dos a tres litros por metro cuadrado al día, seis días a la semana, dejando un día a la semana el riego con solo agua, esto para lavar el exceso de nutrientes acumulados en el sustrato. Los sistemas productivos en acuicultura pueden ser extensivos o intensivos, dependiendo de la densidad de siembra, que se traduce en cuantos peces por metro cuadrado se crían. Entre los sistemas intensivos se mencionan los sistemas acuícola de reúso y los sistemas de recirculación. En los sistemas de reúso el agua pasa de un estanque a otro, se mueve en una sola dirección, y nunca regresa al mismo estanque dos veces. La acuicultura de recirculación es un sistema en el cual el agua fluye desde los estanque de cultivos a los sistemas de tratamientos (filtración), para luego regresar nuevamente a los estanques de cultivo. La acuicultura de recirculación requiere menos del 10% de agua comparado con los proyectos de acuiculturas extensivas y de reúso, y en los cuales los efluentes son eliminados constantemente.<sup>4</sup>

En el agua de los estanques de peces se encuentran disueltos 10 de los 13 nutrientes esenciales que las plantas necesitan. Las concentraciones de calcio, potasio y hierro son inferiores a las requeridas por las plantas y pueden suplirse al Sistema acuapónico en forma de hierro quelatado (EDTA Fe), hidróxido de calcio y potasio, estos ultimo dos también actúan como regulador del pH en caso de acidificación del agua<sup>5</sup>.

---

<sup>3</sup> GUZMAN Y MORENO, *Instalación y manejo de sistemas de cultivos acuaponicos a pequeña escala*. 2005. p.4.

<sup>4</sup> p.5.

<sup>5</sup> RACOCY, *Hydroponic lettuce production in a recirculating fish culture system (Online)*, 2012, p.3.

En resumen, la acuaponía es un sistema en el cual los desechos orgánicos producidos por algún organismo acuático (generalmente peces) sirven como fuente de alimento para las plantas. Estas a su vez al tomar estos desechos, limpian el agua para los peces actuando como filtro biológico<sup>6</sup>. La acuaponía es una técnica de producción intensiva, bio-integrada y altamente productiva en la cual se obtienen peces y hortalizas en un mismo sistema de producción, señala que por cada tonelada de pescado producida en sistemas acuapónico se obtienen hasta 7 toneladas de vegetales<sup>7</sup>

## 4.2. ELEMENTOS DE UN SISTEMA ACUAPONICO

### 4.2.1. Tanques para cultivar peces

El tanque para cultivar los peces es un componente indispensable en un sistema acuapónico<sup>8</sup>. En este componente se desarrollarán los peces que se han escogido por lo que es necesario que sea de un material resistente, que sus dimensiones sean proporcionales al número y el tamaño de los peces. Asimismo, debe tomarse en cuenta que el área del tanque es más importante que su altura, pues los peces se desplazan más en forma horizontal que vertical.

Figura 1. *Tanque de cultivo de peces (Granja experimental-USCO)*



Estos tanques pueden ser desde peceras de vidrio o acrílicas, barriles plásticos, tanques plásticos o piletas de concreto y el volumen puede variar desde pocos

---

<sup>6</sup> RAMIREZ ET AL, *La acuaponía: Una alternativa al desarrollo sostenible*, REVISTA DE BIOLOGIA. Universidad Militar De Nueva Granada. 4(1). p.32-51.

<sup>7</sup> MATEUS, *Acuaponía: hidroponía y acuacultura, sistema integrado de producción de alimentos. (en línea) Red Hidroponía*. Boletín No. 44. 2009. p.7-10.

<sup>8</sup> NELSON, *Aquaponics food production. Raising fish and profit. 1a ed. Nelson and Pade*, 2008. p.218.

litros a varios metros cúbicos. Es esencial que el tanque no haya sido utilizado previamente para el transporte de sustancias tóxicas, ya que estas pueden seguir disolviéndose en el agua y comprometer la salud de los peces y el crecimiento de las hortalizas; además se aconseja que el contenedor a usar como tanque no sea de metal, pues el agua puede corroerlo formando herrumbre y perjudicando a los peces.

#### 4.2.2. Bomba de aireación

Los peces necesitan la presencia de oxígeno disuelto en el agua para su sobrevivencia y desarrollo. También las raíces de las plantas se ven beneficiadas por la presencia de oxígeno disuelto en el agua del sistema, ya que previene la pudrición de las raíces al estar sumergidas durante el paso de esta a través del sistema hidropónico. La concentración mínima de oxígeno disuelto varía según la especie cultivada; además es necesario que la bomba de aireación esté funcionando las 24 horas, sin interrupciones.

Figura 2. *Blower's- Especificaciones (Granja Experimental- Usco)*



### 4.2.3. Bomba de agua

La bomba de agua es el motor del sistema acuapónico, dirige el agua desde el tanque de los peces a los cultivos hidropónicos y de estos la reenvía de vuelta al tanque en un sistema cerrado de recirculación. La circulación del agua generada por la bomba, garantiza que las plantas y las bacterias reciban sus nutrientes, de esta forma se filtra y mejora la calidad del agua que los peces recibirán una vez que el agua complete su recorrido al regresar al tanque.

La bomba de agua se activa manualmente o a través de un “timer” el cual se programa según las necesidades y características del sistema. El mercado ofrece una gran variedad de bombas de agua, desde sumergibles o externas, de diferentes potencias, caudales y alturas máximas de bombeo, por lo que la escogencia del tipo de bomba dependerá de las particularidades del sistema acuapónico, esto es, número de tanques y camas, distancia entre estos, etc.

Figura 3. *Bomba de agua sumergible (Granja Experimental-USCO)*



#### 4.2.4. Biofiltro

El biofiltro es un contenedor que alberga materiales porosos como piedra, esponjas o bio-bolas. Las bio-bolas son elementos plásticos diseñados para ofrecer una considerable superficie a las bacterias y actuar como filtro mecánico al recoger las partículas en suspensión.

El biofiltro sirve para albergar las bacterias nitrificadoras (*Nitrosomonassp.* y *Nitrobactersp.*) que convierten el amonio (molécula presente en las excretas de los peces) en nitrito y luego este en nitrato. El amonio y el nitrito son perjudiciales para los peces y en altas concentraciones pueden producir la muerte, pero el nitrato es menos tóxico para los peces y más aprovechable para las plantas.

Figura 4. *Tanque de Biofiltro (Granja Experimental-Usco)*



#### 4.2.5. Los sistemas de cultivos hidropónicos

Los principales sistemas de cultivos hidropónicos utilizados de acuaponía son: sistema de camas con sustrato sólido, sistemas de raíz flotante y técnicas de solución nutritiva recirculante.

Figura 5. *Cultivo hidropónico de raíz flotante (Granja Experimental-USCO)*

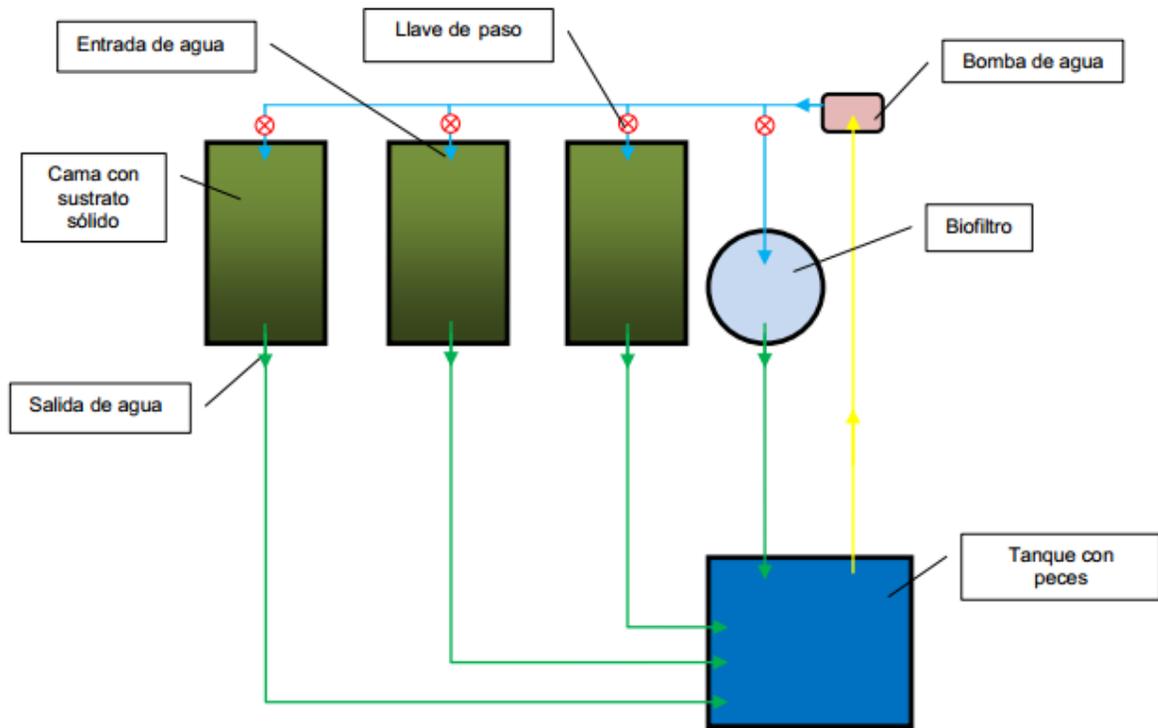


En la imagen se aprecia el cultivo hidropónico de tomate, el cual se encuentra sostenido en camas de agua de raíz flotante, sostenidos por una esponja que filtra el agua en su tallo. Este cultivo fue implementado en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana de la ciudad de Neiva.

#### **4.3. ESQUEMA DE UN SISTEMA ACUAPONICO**

Para una mejor comprensión del sistema y de su funcionamiento, a continuación se ofrece un esquema y una breve descripción.

Figura 6. Diagrama del sistema.



Al activarse la bomba, el agua es dirigida desde el tanque de los peces hasta la bomba (líneas amarilla). Luego la bomba distribuye el agua a las camas y al biofiltro (líneas azules) y con las llaves de paso, se puede regular el caudal de agua en las entradas. Al pasar a través de las camas y del biofiltro, el agua es filtrada y luego devuelta nuevamente al tanque de los peces (líneas verdes). (Las líneas de color representan las tuberías y las flechas indican la dirección del flujo de agua).

#### 4.4. VARIABLES FISICO-QUIMICAS

Las variables físico-químicas son dependientes del sistema de cultivo intensivo, estas proporcionan información fundamental, para el proceso de producción de determinados elementos en masa y ayudan a determinar el tiempo, la velocidad y otras respuestas concretas de un cultivo específico (peso, temperatura, oxigenación del agua, pH, nivel, etc.).

Figura 7. *Multiparamétrico variables físico-químicas (Granja Experimental-USCO)*



Estas variables deben ser monitoreadas por un circuito cerrado con constante vigilancia, debido a la fragilidad de los circuitos acuapónicos, lo que hace que la instrumentación industrial ejecute un gran papel en el campo de la seguridad alimentaria, más específicamente en el de la acuaponía recirculante.

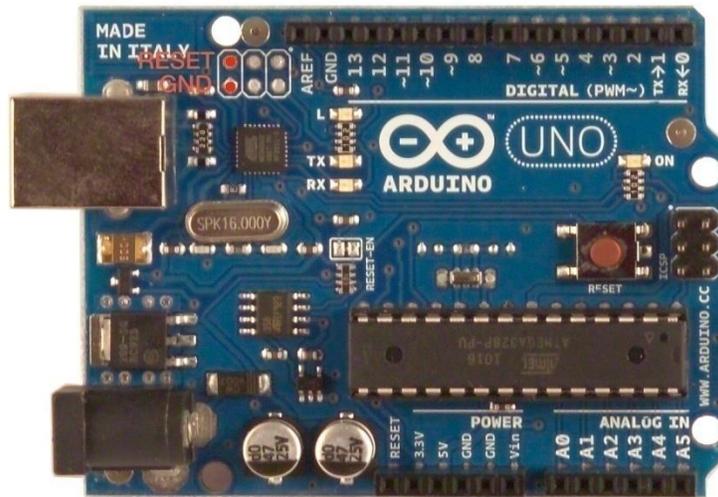
#### **4.5. ARDUINO**

Arduino es una tarjeta electrónica que basa su funcionamiento en software libre, usado para aplicaciones de electrónica, las comunicaciones y control entre otras.

En su placa contiene un microcontrolador de la familia ATMEGA que hace de “cerebro” del entorno de programación, controlando algunos puertos tanto analógicos como digitales (IN/OUT).

Arduino puede “sentir” el entorno mediante la recepción de entradas desde una variable de sensores y puede afectar a su alrededor mediante el control de luces, motores y otros artefactos. El microcontrolador de la placa se programa usando el “Arduino *Development Environment*” (*Basado en procesing*). Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o se pueden comunicar con software en ejecución en un ordenador (por ejemplo con Flash, Processing, MaxMSP, etc.).

Figura 8. *Placa Arduino Uno*



Fuente: <http://www.arduino.cc/en/Hacking/DFUProgramming8U2>

Las placas se pueden ensamblar a mano o encargarlas pre ensambladas; el software se puede descargar gratuitamente. Los diseños de referencia del Hardware (Archivos CAD) están disponibles bajo licencia open-source, por lo que eres libre de adaptarlas a tus necesidades. Arduino recibió una mención honorífica en la sección Digital Communities del Ars Electrónica Prix en 2006.

Hay muchos otros microcontroladores y plataformas microcontroladoras disponibles para computación física. Parallax Basic Stamp, netmedia's BX-24, Phidgets, MIT's Handyboard, y muchas otras ofertas de funcionalidad similar. Todas estas herramientas toman los desordenados detalles de la programación de microcontrolador y la encierran en un paquete fácil de usar. Arduino también simplifica el proceso de trabajo con microcontroladores, pero ofrece algunas ventajas para profesores, estudiantes y aficionados interesados sobre otros sistemas.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> HERRADOR E. Rafael. I.T.I Sistemas. *Guía de usuario de Arduino*. 2009. p.8.

### 4.5.1. Arduino Uno

El Arduino Uno es una tarjeta basada en el microcontrolador ATmega328, contiene 14 entradas/salidas digitales en sus pines (6 son salidas PWM), 6 entradas análogas, con un oscilador cerámico de 16MHz, conexión USB, entrada de poder y un botón de RESET. Esta placa difiere de sus versiones anteriores en que no utiliza el controlador de USB/SERIAL FTDI. En lugar de ello, se cuenta con el Atmega16U2 (Atmega8U2 hasta la versión 2) programado como convertidor de USB a SERIAL.

Cuadro 1. *Valores nominales Arduino Uno*

<b>Características</b>	<b>Valores de referencia</b>
Microcontrolador	ATmega328
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (Recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (Limites)	6-20V
Pines Digitales (Input/Output)	14 (6 proporcionan salidas PWM)
Entradas Analógicas	6
Corriente DC por E/S pin	40mA
Corriente DC de 3.3V pin	50mA
Memoria Flash	32Kb (ATmega328)
SRAM	2Kb (ATmega328)
EEPROM	1Kb (ATmega328)
Velocidad de reloj	16MHz
Longitud	68.6mm
Ancho	53.4mm
Peso	25gr

Fuente: <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>

## 5. REQUISITOS DEL SISTEMA DE MONITOREO

El sistema de monitoreo necesita unos parámetros básicos que describiremos a continuación para su correcta implementación y funcionamiento, y que dicho sistema satisfaga las necesidades requeridas. Podemos dividir el sistema en varias etapas como son: etapa de sensado, etapa de procesamiento de información (Software), etapa de comunicación y etapa de alarma.

Figura 9. *Diagrama del sistema de monitoreo*



El sistema debe contener robustez al tiempo que fiabilidad, debido a que se encontrara en condiciones ambientales críticas, debe poseer un peso mínimo posible, para su facilidad de implementación y manipulación. El sistema de alarma debe ser fiable y con una potencia mínima para que cumpla su objetivo en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana, la interfaz de usuario en el ordenador portátil, debe ser sencilla y practica para leer el monitoreo de forma simple y de fácil acceso al administrador.

La distancia entre el módulo de monitoreo (Tx) y el receptor de información (Rx) debe tener línea de vista para que la comunicación sea eficiente y con menor tiempo de retraso, teniendo en cuenta el trabajo de procesamiento del chip ATmega328 y open Aquarium para establecer un retardo de envío de datos mínimo.

El sistema de alarma debe contener un circuito externo independiente para aislarlo de la parte de procesamiento, para no incurrir en problemas de corrientes parasitas sobre las tarjetas de adquisición de datos, ya que este sistema de alarma maneja potencias mayores que las de las tarjetas.

## 5.1. HARDWARE

Los requisitos en cuanto a Hardware del sistema de monitoreo consta de varias etapas:

- Tomar las señales sensadas para ser procesadas (Sensores de: Humedad, temperatura, nivel y pH).
- Leer, procesar y acondicionar las señales (Tarjeta Electrónica Arduino Uno, Open Aquarium).
- Sistema de alarma remota sensible a errores de sensado (Sirena y circuito de alarma aislado).
- Mandar los datos procesados al usuario mediante un protocolo inalámbrico (Módulos XBee-PRO 2B ZigBee).
- Una protección de cortocircuito y de condiciones extremas de sol y agua (carcasa acrílica y casa metálica de protección).
- Adaptadores sencillos y estandarizados para la conexión sencilla de los dispositivos para el administrador del circuito acuapónico (Adaptadores 12V@ 500mA – 7V@500mA).

## 5.2. SOFTWARE

A nivel de Software el sistema de monitoreo necesita unas especificaciones concretas como:

- Lenguaje programable amigable (Arduino), una plataforma de alto nivel de processing para facilitar su desarrollo (Basado en C++).
- Facilitar las lecturas de los datos sensados a personal no familiarizado con el sistema.
- Página principal (Interfaz principal) con acceso completo, (contraseñas) a toda la línea del software (Páginas secundarias, niveles de seguridad, etc.)
- Conceder al administrador del sistema, una clave de usuario y contraseña para acceder a los datos, de forma total y controlable, permitiendo modificar el sistema.
- Obtener un sistema robusto para el almacenamiento de los datos (base de datos) y su fácil exportación a otras plataformas (Excel, Web, Etc.).
- Diseñar gráficas y ordenamiento de la base de datos para su análisis más simple para el personal no familiarizado.

- Implementar a nivel programable alertas audiovisuales dentro de su interfaz para que el administrador pueda advertir el problema con mayor sencillez.
- Una herramienta de simulación de las variables, para comprobar el software de recepción y procesamiento de datos, de esta forma detectar fallas sin necesidad de llevar los sensores a niveles críticos.

## 6. ANALISIS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE VARIABLES FISICO-QUIMICAS

La granja experimental de la Universidad Surcolombiana cuenta con un circuito acuapónico de recirculación el cual fue implementado y analizado por estudiantes del programa de Acuicultura Continental y del programa de Ingeniería Agrícola, el cual es monitoreado primariamente de forma manual y artesanal.

El instrumento utilizado en dicho monitoreo, cuenta con un aparato de medida de variables físico-químicas, sensores tales como: pH, Temperatura, Oxígeno diluido, entre otros (Ver Figura 7). Este aparato conocido como multiparamétrico es robusto y contienen los parámetros básicos para un análisis completo de dicho circuito acuapónico.

El sistema utilizado por el encargado consta de una bitácora (hojas) e ir desde la casa de la granja al circuito con el multiparamétrico y tomar medidas sensadas en los estanques y en las líneas de cultivos de hortalizas, esto para generar una base de datos del crecimiento de los alevinos y de las hortalizas por semana.

Este sistema de monitoreo abduce a muchos errores, como el humano, de calibración, y plantea fallas esenciales para el buen funcionamiento y manejo de dicho cultivo, haciendo esencial otro tipo de monitoreo, por tanto se vuelve necesario tener un sistema constante y mejorado, que este sensando, adquiriendo y procesando datos de dichas variables físico-químicas de forma continua para cualquier anomalía poder dar corrección temprana y las pérdidas sean menores.

Teniendo en cuenta los requerimientos de dicho monitoreo, optamos por medir 4 variables tales como: pH, Temperatura, Nivel y Humedad (esta última en las líneas de hortalizas). Se escogieron dichas variables a monitorear, por lo esencial que son para el análisis y porque son las que mayor información puede aportarnos en menor costo económico. La adquisición y procesamiento de los datos sensados deben ir a un microcontrolador, el cual elegimos Arduino Uno (Ver Figura 8), junto con la tarjeta Open Aquarium, esto nos facilitara el trabajo de sensado y nos disminuirá la programación redundante, dichas tarjetas deben contener una protección especial debido a que se encontraran en condiciones precarias de sol y agua, debido a esto usaremos una caja acrílica para proteger sus componentes y a su vez una caja metálica que asegure dichas condiciones no disminuyan el tiempo de vida de las tarjetas electrónicas.

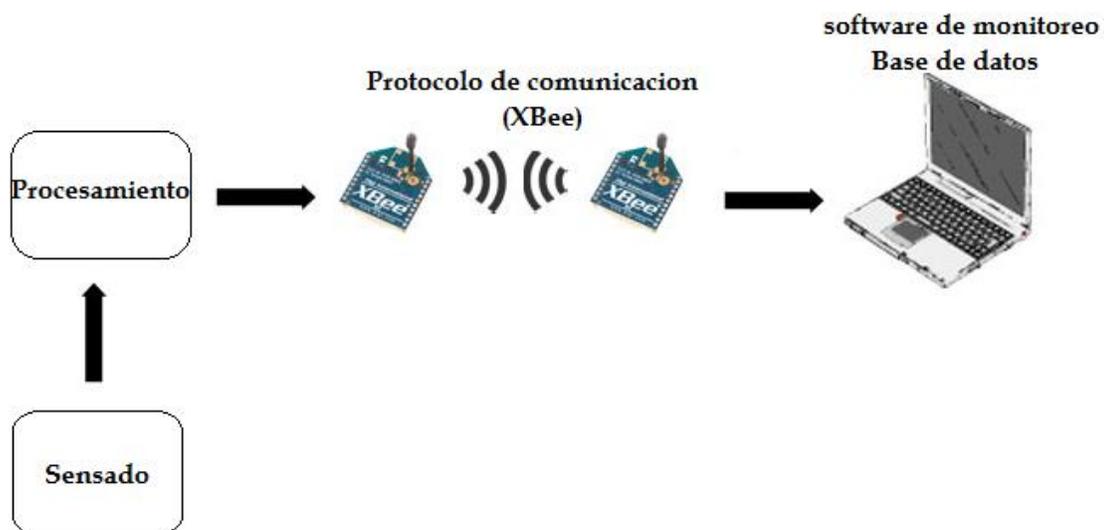
Debido a la falencia de la granja de no contar con servicio de internet de ningún tipo, elegimos implementar la comunicación directa desde ordenador

(Administrador) a las tarjetas electrónicas vía XBee ZigBee PRO 2.0, el rango que maneja dicho protocolo de comunicación en línea de vista llega hasta los 1.6 Km, haciendo rentable esta comunicación, pues la casa de la granja se encuentra a menos de 500 m de distancia al circuito acuapónico.

## 6.1. DIAGRAMA DEL SISTEMA DE MONITOREO

El sistema de monitoreo consta a nivel de Hardware de un ordenador portátil (Administrador) en el cual se desarrollara la aplicación (Interfaz gráfica) para la lectura y análisis de datos almacenados allí, Una tarjeta Arduino Uno, Open Aquarium, Acople de pH, 4 sensores (pH, Temperatura, Nivel, Humedad), 2 módulos XBee PRO 2 (Coordinador/Esclavo) y un circuito de Alarma (Sistema Alertado).

Figura 10. Esquema del sistema por sus bloques respectivos



Para la interfaz gráfica usamos Microsoft Visual Studio Community 2013, un software gratuito para fines de pruebas y/o académicos. Usamos este software por su versatilidad, pues contiene varios lenguajes programables tales como: Visual Basic, Visual C, C++, ASP.NET, entre otros. Además contiene gratuitamente una versión reducida de SQL SERVER llamada SQL SERVER EXPRESS EDITION como gestor de nuestra base de datos, teniendo en cuenta que no debe ser mayor a 10Gb, pues este es el límite de almacenamiento.

## 6.2. FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE

Mediante diagramas veremos como el usuario o administrador controla y/o recibe la información desde el circuito acuapónico y como la manipula para lo que desee.

Figura 11. *Caso de usuario cualquiera.*

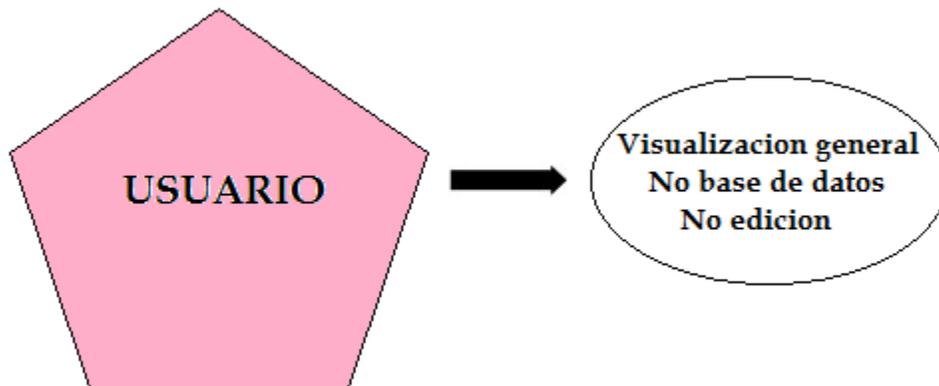
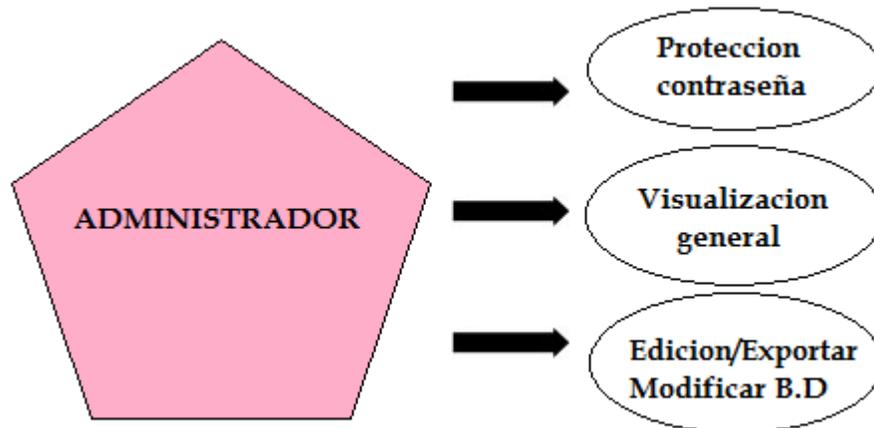


Figura 12. *Caso uso Administrador del sistema de monitoreo.*



### 6.2.1. Caso de usuario cualquiera

Cuando un usuario anónimo, no registrado en el software intenta acceder puede visualizar de forma muy general los datos sensados en tiempo real, pero con muchos impedimentos, como el ingreso a la base de datos, a la cual no podrá acceder, por ende tampoco modificar de alguna forma las características del sistema de monitoreo y sus datos almacenados. Por cuestión de seguridad se implementó un sistema de numeración de fidelidad (Id. Registro) a cada lectura, para asegurar que no se elimine ningún dato, pues si esto se hace, el número de

lectura y el número de registro será distinto cayendo en cuenta de que se ha manipulado la información.

Figura 13. *Ejemplo de manipulación de las lecturas (Eliminación de datos)*

No.	IdRegistro	Fecha_y_Hora	PH	Temperatura	Nivel_Agua	Humedad
1	2	13/07/2015...	5.62	33.25	LLeno	En el Agua
2	3	14/07/2015...	6.87	28.13	LLeno	En el Agua

Aunque el usuario anónimo no tendrá acceso a la base de datos pues no conoce el protocolo de seguridad (Id usuario y contraseña), se garantiza la seguridad de la información, debido a posibles errores del administrador, de almacenamiento de la información y/o problemas de otro tipo.

### 6.2.2. Caso de administrador del sistema de monitoreo

Cuando el administrador accede al software, este tiene control total del mismo, puede tanto visualizar los datos a nivel general, como detallado, revisar mediciones anteriores, eliminar lecturas, crear una base de datos nueva, exportar/guardar la información, etc.

Este tiene un ID de usuario (Admin) por defecto, y una contraseña preestablecida que le permitirá controlar y manipular los datos que se guardan. También puede simular una alarma en el cultivo acuapónico, para detectar errores en el sensado o en el protocolo de comunicación.

Figura 14. *Interfaz de acceso del administrador al servidor.*



## 7. ETAPAS DEL SISTEMA DE MONITOREO

El sistema de monitoreo consta de 4 etapas a nivel de hardware y 2 a nivel de software, las cuales se acoplan secuencialmente, haciéndoles dependientes entre sí, a continuación se entregara de forma detallada el diseño y montaje de cada etapa.

### 7.1. HARDWARE

Las 4 etapas del hardware son: Etapa de sensado, etapa adquisición y procesamiento, etapa del sistema de alarma y etapa de comunicación en tiempo real. Las cuales cumplen los 3 requisitos básicos del sistema; robustez, velocidad de procesamiento y velocidad de comunicación, pues los datos deben ser presentados en tiempo real, y los sensores deben soportar las condiciones climáticas y de ambiente críticas a las que estarán expuestos.

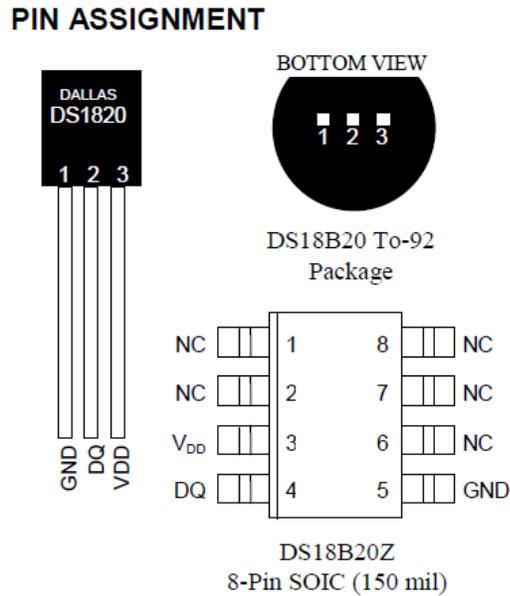
#### 7.1.1. Etapa de sensado

Esta etapa es la primaria, la que va a acceder al circuito acuapónico de forma directa y tomara las mediciones requeridas, para este propósito se decidió medir 4 variables físico/químicas que nos brinden buena información sobre el cultivo, los sensores adquiridos para dicha tarea son:

- **Sensor de temperatura**

El sensor usado basa su funcionamiento en el DS18B20-Programmable resolution 1-wire Digital Thermometer, que tiene 3 tipos de encapsulados tal como se muestra en la figura 14. El usado en nuestro sistema es el encapsulado DS18B20 to 92 Package (Bottom view).

Figura 15. Asignación de pines (Datasheet)



Fuente: <http://dlmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/Temp/DS18B20.pdf>

Las características del sensor están direccionadas para medios acuáticos, pues la sonda se encuentra sellada para medir con precisión las temperaturas en ambientes húmedos, este sensor ofrece lecturas digitales de 9 @ 12 bits, con tres hilos (Blanco, negro y rojo) establecido con las convenciones clásicas, negro a tierra, rojo a Vcc y blanco la serie de bits (lectura de datos).

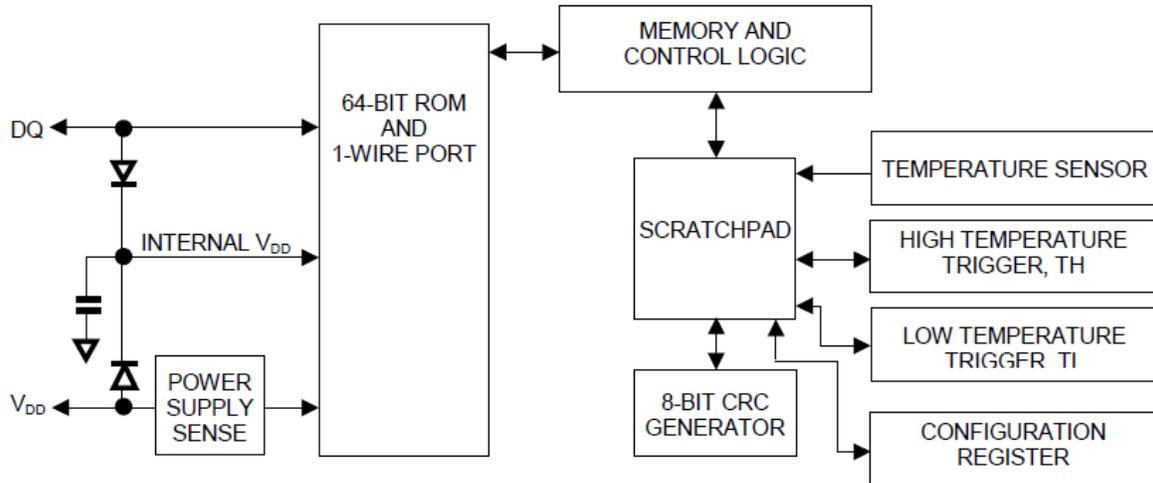
Figura 16. Sensor de temperatura



Fuente: [https://www.cooking-hacks.com/media/cooking/images/documentation/tutorial\\_open\\_aquarium/sensor\\_1\\_small.jpg](https://www.cooking-hacks.com/media/cooking/images/documentation/tutorial_open_aquarium/sensor_1_small.jpg)

El sensor está dividido en bloques independientes los cuales nos generan una respuesta o lectura más precisa, consta de el sensor de temperatura, un controlador de temperaturas bajas y otro para las altas, convertidor de 8 bits, registro de configuración, una memoria y control lógico.

Figura 17. Diagrama de bloques del DS18B20



Fuente: <http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/Temp/DS18B20.pdf>

La operación óptima del encapsulado depende de un rango de funcionamiento establecido por el fabricante (Dallas semiconductor).

Cuadro 2. Rango de funcionamiento óptimo sensor temperatura

TEMPERATURA (°C)	SALIDA DIGITAL (Binario)	SALIDA DIGITAL (Hexadecimal)
+125	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85	0000 0101 0101 0000	0550h
+25.0625	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5	0000 0000 0000 1000	0008h
0	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0625	1111 1110 0110 1111	FF6Fh
-55	1111 1100 1001 0000	FC90h

Fuente: <http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/Temp/DS18B20.pdf>

- **Sensor de nivel**

Usaremos dos sensores de nivel de características idénticas, su funcionamiento es sencillo, a través de un sensor resistivo (magnético) entre los polos cuando se cierra el sensor, la resistencia se disminuye hasta anularse (Idealmente), haciendo que este envíe una señal binaria a través de sus cables, los hemos implementado de forma tal que cuando el nivel decaiga, este sensor se abra y active su señal.

Figura 18. *Sensor de nivel.*



Los sensores actuarán para medir tres niveles distintos que son: lleno, bajo y crítico. El sistema se alertará en el momento que el nivel este crítico, haciendo ver que este nivel de agua es anormal y está colocando a los peces del estanque en un niveles no permitidos.

Cuadro 3. *Valores nominales sensor nivel*

<b>Potencia máxima</b>	10W
<b>Tensión máxima de conmutación</b>	100V
<b>Corriente máxima de conmutación</b>	0.5A
<b>Máxima tensión de ruptura</b>	220V
<b>Corriente de carga máxima</b>	1A
<b>Resistencia de contacto máxima</b>	100MΩ
<b>Rango de temperatura</b>	-10°C @ 85°C

Hay que tener en cuenta que este sensor solo dará dos valores binarios por ende debe ser conectado a las entradas digitales de la tarjeta de adquisición y

procesamiento, eso es imperativo, pues si se hace de otra forma, el sensor puede sufrir daños.

- **Sensor de pH**

Este sensor de pH es en realidad una sonda de una sola conexión que integra varios hilos dentro del sensor, tiene un conector tipo BNC, para disminuir las probabilidades de errores debido al ruido, pues este tipo de sensores son muy vulnerables a interferencias externas.

Figura 19. *Sensor de pH.*



Fuente: [https://www.cooking-hacks.com/media/cooking/images/documentation/tutorial\\_open\\_aquarium/sensor\\_3\\_diagram\\_small.jpg](https://www.cooking-hacks.com/media/cooking/images/documentation/tutorial_open_aquarium/sensor_3_diagram_small.jpg)

El pH es una variable necesaria para poder dar valor a un estudio acuapónico completo, lo que hace a este sensor indispensable para iniciar un análisis que arroje resultados traducibles, por tanto adquirimos este electrodo y sonda, los cuales estarán sumergidos de forma permanente en el estanque, con buenas prestaciones y tiempo de uso mayor al convencional de laboratorio. A continuación veremos las características del sensor para las prestaciones requeridas:

Cuadro 4. *Valores nominales sensor pH*

Características	Valores de referencia
Tipo de sensor	Combinación-Electrodo
Rango de medición	0 @ 14 pH
Temperatura de operación	0 @ 80°C
Potencial cero eléctrico	7+/- 0.25p
Tiempo de respuesta	<1 Minuto
Resistencia interna	<= 250MΩ
Repetitividad	0.017
PTS (percentage of slope)	>98.5
Ruido	<0.5V
Error alcalino	15mV
Exactitud de lectura	Hasta 0.01 (en función de la calibración)

Fuente: [http://www.libelium.com/downloads/documentation/smart\\_water\\_sensor\\_board.pdf](http://www.libelium.com/downloads/documentation/smart_water_sensor_board.pdf)

En el cuadro anterior vemos las características preponderantes del sensor especificadas por el fabricante, entre las más importantes para su calibración correcta se encuentran: el rango de medición, temperatura de operación, exactitud de lectura y el tiempo de respuesta.

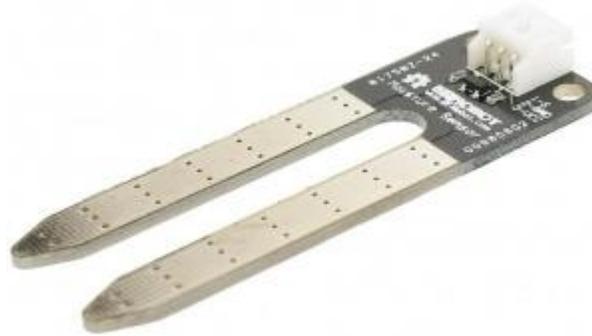
El fenómeno con el que trabaja el electrodo es de tipo electro-químico, pues este consta de una membrana de vidrio que separa dos soluciones. Esto la hace sensible a cualquier cambio, pues se hará evidente en la membrana que se encuentra en el electrodo. La celda que mide el pH, consiste en dos electrodos (Mercurio y vidrio) sumergidos en la disolución que se quiere medir.

El soporte del electrodo es de vidrio y no es conductor, mientras que la parte del bulbo es de un vidrio especial polarizable para el pH.

- **Sensor de humedad**

Otra variable a tener en cuenta es la humedad en la línea de hortalizas, para este requerimiento usamos un sensor de humedad del suelo en el cual se encontraran las plantas, este sensor de humedad puede leer la cantidad de humedad presente en el suelo que le rodea y dar valores fiables para advertir de una posible pérdida de agua o por el contrario un exceso en la cantidad, haciendo un monitoreo preciso no solo en el estanque acuícola sino también en la parte hidropónica del cultivo

Figura 20. *Sensor de humedad*



Fuente: <http://www.dfrobot.com/wiki/index.php?title=File:IMG5217.jpg>

Este sensor basa su funcionamiento en utilizar sus dos líneas metálicas para pasar corriente eléctrica a través del suelo, y luego de leer la resistencia del mismo se consigue una variación en mV para extrapolarla con la medida patrón y conocer su nivel de humedad real. Más agua hace que el suelo sea mejor conductor disminuyendo la resistencia, mientras que el suelo seco genera una mayor oposición dando una mayor resistencia.

Cuadro 5. *Valores nominales sensor de humedad*

Características	Valores nominales
Fuente de alimentación	3.3V @ 5V
Señal de voltaje de salida	0 @ 4.2V
Corriente entrada	35mA
Pines	1. Salida analógica (Cable azul) 2. GND (Cable negro) 3. Alimentación (Cable rojo)
Tamaño	60x20x5mm
Rango de valores (mV)	1. 0 @ 300: suelo seco 2. 300 @ 700: suelo húmedo 3. 700 @ 950: en el agua

Fuente: [http://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Moisture\\_Sensor\\_\(SKU:SEN0114\)#Introduction](http://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Moisture_Sensor_(SKU:SEN0114)#Introduction)

### 7.1.2. Etapa de adquisición y procesamiento

Esta etapa es la segunda en sucesión encargada de recibir los datos suministrados por la etapa de sensado, en esta se hace una adquisición y un procesamiento de dichos datos para ser enviados ordenadamente al usuario final, para este fin hemos decidido optar por las prestaciones de una serie de tarjetas

que nos brindan una fiabilidad y versatilidad mayor que otras del mercado, las cuales son:

- **Tarjeta Arduino Uno**

Esta tarjeta se encargara de la parte de procesamiento de los datos primarios entregados por los sensores, aquí mediante el programador de Arduino (Lenguaje basado en C++) tomamos los valores leídos que no se encuentran disponibles para ser analizados, pues solo serían observados en escalas de voltajes altos y bajos, mediante esta tarjeta y los valores de la medida patrón (Multiparametrico) calibramos las mediciones de cada sensor para su fiabilidad, más adelante en la etapa de software explicaremos con detalle el código diseñado e implementado en dicha tarjeta.

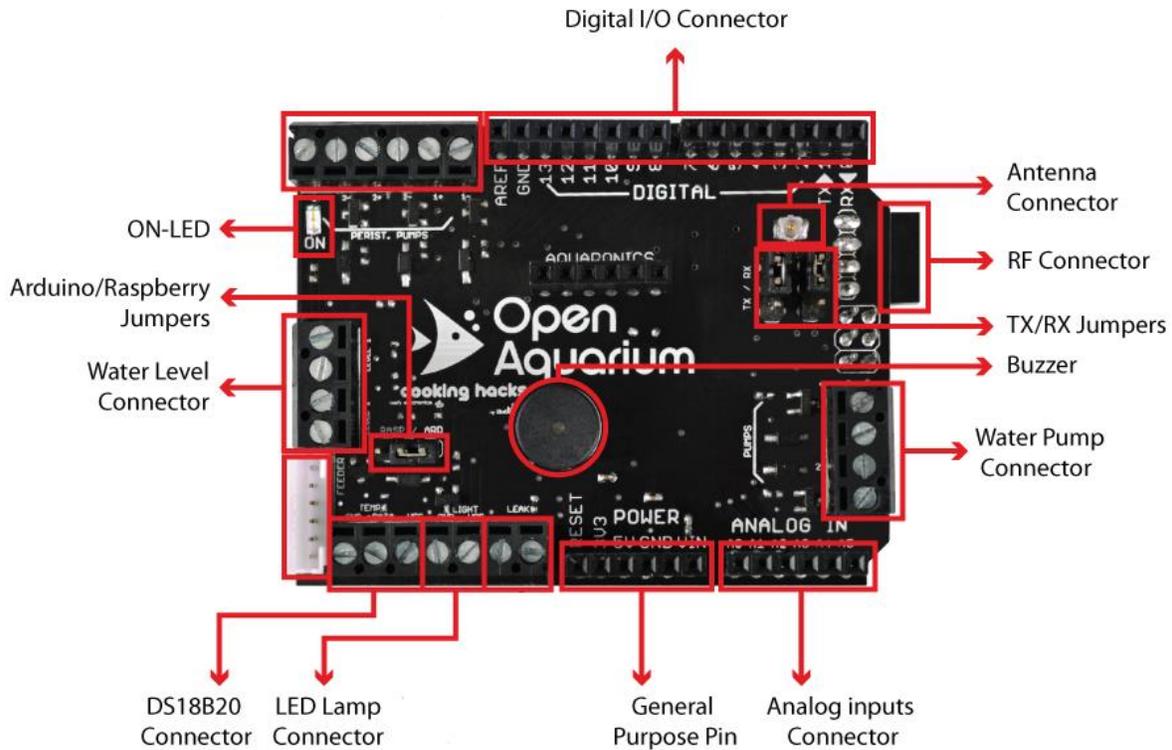
Figura 21. Tarjetas Arduino Uno, OpenAquarium, Shield de la XBee Pro S-2 y Modulo del sensor de pH



- **Tarjeta Open Aquarium**

Esta tarjeta consta de una arquitectura física similar a la del Arduino, para poder acoplarse de forma sencilla, también tiene puertos análogos y digitales junto a entradas especiales para cada sensor, esto utiliza de manera más eficiente tanto esta shield (Tarjeta) como la Arduino.

Figura 22. Tarjeta Open Aquarium (Libelium)

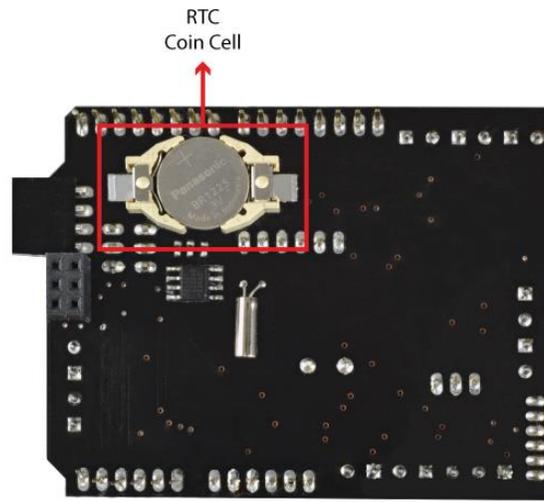


Fuente: [https://www.cooking-hacks.com/media/cooking/images/documentation/tutorial\\_open\\_aquarium/open\\_aquarium\\_gateway\\_top\\_diagram\\_big.png](https://www.cooking-hacks.com/media/cooking/images/documentation/tutorial_open_aquarium/open_aquarium_gateway_top_diagram_big.png)

Tiene prestaciones más eficientes, pues en cuanto al uso de sus pines y del Arduino proporcionan una mayor utilización de IN/OUT. Como se puede apreciar en la figura 20, tiene conexiones especializadas para algunos sensores y otras más para uso general, además tiene un zumbador (Buzzer) el cual alarma al sistema por protección de las tarjetas.

El sistema de monitoreo debe llevar una constante adquisición de datos y evidentemente debe contener rotulaciones precisas, de fecha y hora del monitoreo, haciendo entretener inconvenientes en caso de fallos eléctricos o de energía, para ello, esta tarjeta Open Aquarium, contiene una celda o pila, tipo moneda para no desconfigurar ni perder la rotulación de los datos que se van a transmitir en la etapa de comunicación. A su vez esta tarjeta recibirá dos más, las cuales prestarán servicios precisos, como acople y seguridad de los puertos.

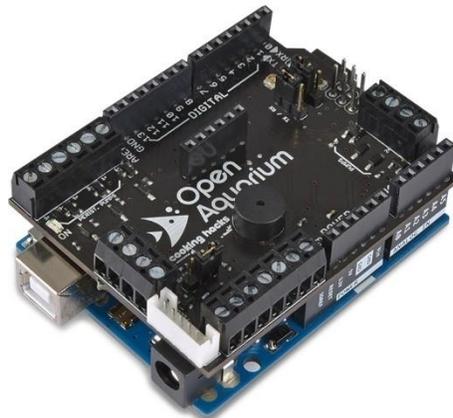
Figura 23. Tarjeta Open Aquarium reverso (Celda tipo moneda)



Fuente: [https://www.cooking-hacks.com/media/cooking/images/documentation/tutorial\\_open\\_aquarium/open\\_aquarium\\_gateway\\_bottom\\_digram\\_big.png](https://www.cooking-hacks.com/media/cooking/images/documentation/tutorial_open_aquarium/open_aquarium_gateway_bottom_digram_big.png)

Esta Tarjeta se puede acoplar al Arduino y programar desde la misma plataforma, simplemente agregando una librería de Open Aquarium, depositada por el fabricante de la tarjeta para su descarga gratuita para fines experimentales, aficionados y/o académicos.

Figura 24. Acople entre ambas tarjetas (Arduino Uno & Open Aquarium).

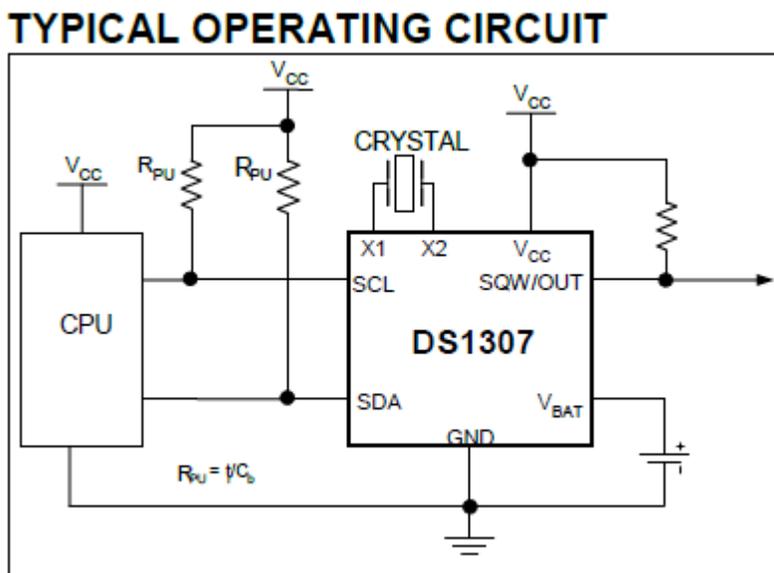


Fuente: [https://www.cooking-hacks.com/media/cooking/images/documentation/tutorial\\_open\\_aquarium/arduino\\_open\\_aquarium\\_big.jpg](https://www.cooking-hacks.com/media/cooking/images/documentation/tutorial_open_aquarium/arduino_open_aquarium_big.jpg)

La tarjeta Open Aquarium tiene integrado un circuito, de referencia DS1307 serial-real time clock (RTC). El cual tiene la tarea específica de contar ciclos definidos

para poder con los datos sensados enviar, segundos, minutos, hora, día, mes y año; haciendo más fácil el análisis de dichas lecturas. Para esto el circuito usa la batería (tipo moneda) para alimentar una memoria RAM interna de 56 bytes sin límite de escritura. En otras palabras, este circuito proporciona un reloj en tiempo real.

Figura 25. Esquema operativo del circuito (Reloj – Tiempo real).



Fuente: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1307.pdf>

Cuadro 6. Valores máximos de funcionamiento DS1307

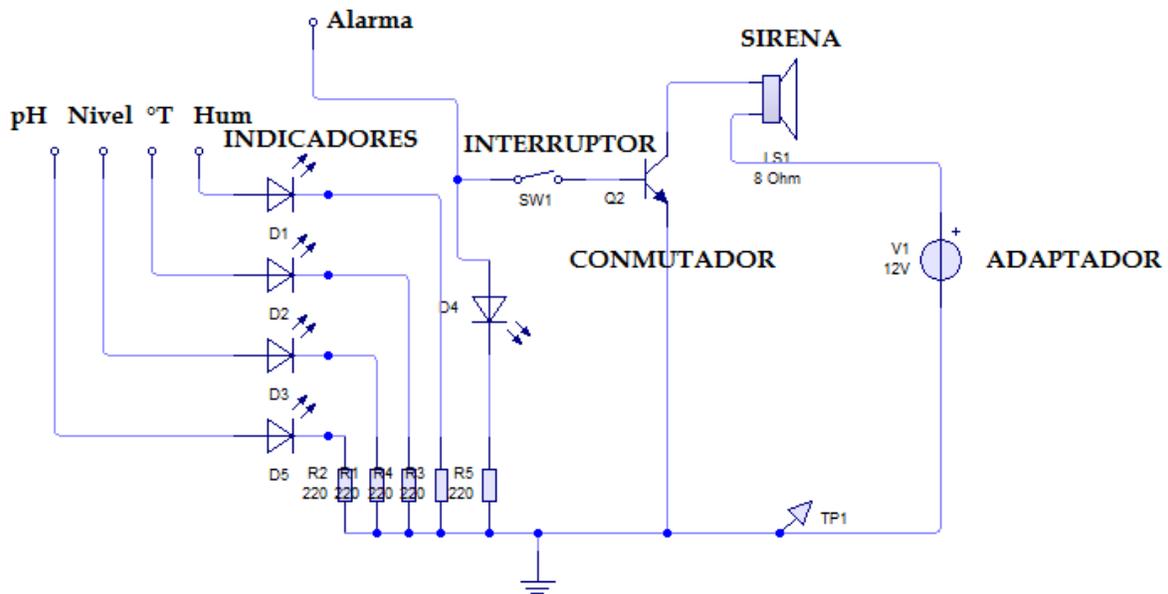
Rango voltaje	-0.5V @ 7V
Rango operativo de temperatura	Comercial: 0°C @ 70°C Industrial: -40°C @ 85°C
Rango crítico de temperatura	-55°C @ 125°C
Tolerancia temperaturas soldadura	-260°C por 10 segundos

Fuente: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1307.pdf>

### 7.1.3. Etapa del sistema alarmado

El sistema de monitoreo debe proveer una etapa que alarme e indique alguna falla en el circuito acuapónico, teniendo en cuenta que esta es la naturaleza de dicho monitoreo remoto, para ello, diseñamos un sistema de alarma fiable y que se acople a las características de las tarjetas electrónicas, teniendo en cuenta la protección de las mismas, ya que esta etapa requiere de una potencia mayor a la suministrada a las board's electrónicas (Tarjeta Arduino & Open Aquarium).

Figura 26. Conmutador-aislador del sistema de alarma



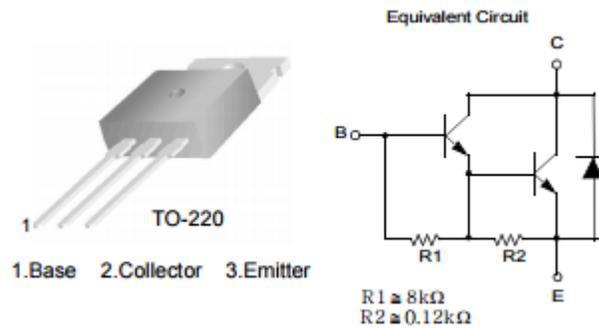
Este circuito sencillo, cumple una función importante para aislar las señales provenientes de las tarjetas electrónicas (Indicadores de pH, Nivel, Temperatura y Humedad), de la etapa de potencia de la alarma.

Su funcionamiento está controlado por unas señales de entrada, más concretamente 5. 4 de estas son indicadores de las variables físico/químicas, y la restante es un indicador independiente para cualquier fallo incluyendo las 4 anteriores.

Los bornes de la sirena van a estar siempre viendo 12V por parte del adaptador, pero estos no generaran un diferencial de potencial debido al TIP120 (Transistor Darlington), el cual no permite el paso de la corriente entre su "colector" y su "Emisor". Para que este permita la conmutación, debe haber un potencial mínimo en la "base" del TIP120 (Voltaje de umbral), esto solo sucederá en el momento que la entrada de ALARMA se active (+5V), en el momento que esto pase, el transistor tipo Darlington permitirá el flujo de los electrones hasta tierra (GND).

Además del sistema de sirena, se implementaron indicadores visuales (LED) de distintos colores para conocer con mayor exactitud donde se encuentra el fallo en el circuito acupónico. De igual forma se puso un interruptor de dos estados para encender o apagar la sirena, esto es muy útil en casos de pruebas del circuito o fallos en el mismo, aunque es recomendable solo usar dicho interruptor en casos críticos, pues este apagará el sonido de la sirena, pero no el sistema de alarma como tal.

Figura 27. Transistor Darlington Epitaxial (TIP120/121/122)



Fuente: <http://www.adafruit.com/datasheets/TIP120.pdf>

Este transistor posee características propias de interruptor lineal de potencia media, haciéndolo ideal para nuestro sistema como aislador de etapas.

#### 7.1.4. Etapa de comunicación en tiempo real (Protocolo)

En esta etapa usamos dos módulos XBee-PRO serie 2B-ZigBee, estas se comunican a través de un protocolo de alto nivel de comunicación inalámbrica el cual se llama ZigBee, que está basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal.

Este tipo de protocolo se utiliza en radiodifusión de bajo consumo, lo que lo hace ideal en aplicaciones de domótica, por su topología de red y su fácil integración.

ZigBee utiliza la banda ISM solo para proyectos industriales, científicos o médicos. Normalmente se usa sobre una banda estándar de 2.4GHz, este protocolo es muy similar al Bluetooth, a excepción de la tasa de envío de datos, pues en Bluetooth es mucho mayor (3000Kb/s) que ZigBee (250Kb/s), y el protocolo ZigBee requiere cerca del 10% de electrónica a un nodo Bluetooth o Wi-Fi típico. Aunque físicamente requiere menor robustez en sus accesorios, a nivel de software su código es más extensivo lo que llega incluso a ser del 50% del tamaño del Bluetooth.<sup>10</sup>

El protocolo ZigBee asegura menor consumo eléctrico que el Bluetooth, más exactamente, el ZigBee tiene un consumo de 30mA transmitiendo y de 3μA en

<sup>10</sup> Soria Lopez, Jose Manuel, *Cuadro nacional de atribución de frecuencias*, 2013, p.1.

reposito, frente a los 40mA transmitiendo y 0.2mA en reposo que tiene el Bluetooth.<sup>11</sup>

Figura 28. Módulo XBee PRO serie 2B (Protocolo ZigBee).



Usamos dos módulos XBee PRO serie 2B, los cuales establecerán comunicación inalámbrica entre ellos por medio del protocolo ZigBee para transmitir los datos del monitoreo remoto, estarán en topología Coordinador-Router, para que el envío de datos sea más versátil y eficiente, estos módulos pueden darnos mayores prestaciones en una topología de red de mayor complejidad, pero para nuestro sistema una comunicación directa entre ambos será suficiente.

Figura 29. Coordinador/Router, envío bidireccional de datos.



<sup>11</sup> Ortega, Carlos Alberto, *ZigBee: el nuevo estándar global para domotica e inmotica*. 2008.

El dispositivo router mantendrá de forma constante recibiendo datos de las tarjetas electrónicas, por medio de una Shield para su fácil montaje sobre dichas placas, este módulo XBee, cuando no esté acoplado a su contraparte (Coordinador) establecerá un modo distinto de bajo consumo (Hibernación) el cual ahorrara prestaciones de energía en el circuito, debido a que están diseñadas las redes ZigBee para conservar la potencia en los nodos “esclavos” (router). La transición del modo “dormido” (Hibernando) al modo “despierto” (Transmisión), dura alrededor de 15 @ 20 ms.

Ya cuando el modulo coordinador recibe los datos desde el router, este los lleva al ordenador de administración, para almacenarlos en el servidor y visualizarlos respectivamente.

Figura 30. *Antena TP-LINK*



Fuente: <http://www.tp-link.com/resources/images/products/gallery/TL-ANT2408CL-01.jpg>

Usamos una antena TP-LINK para direccionar y mejorar el alcance de la comunicación entre los módulos.

## **7.2. SOFTWARE**

A nivel de software el sistema se divide en dos etapas funcionales: Procesamiento en Arduino y la interfaz del administrador (Visualización y almacenamiento).

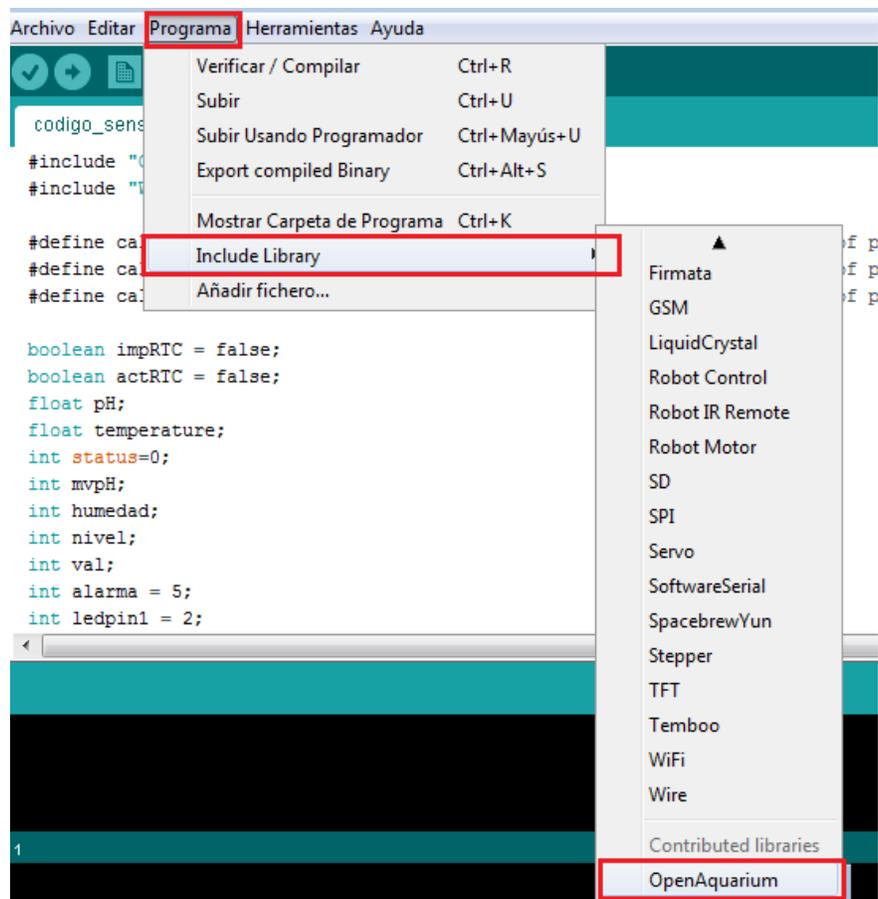
### 7.2.1. Procesamiento en Arduino

Usamos el software de Arduino para establecer un procesamiento de los datos que llegan desde los sensores, junto con la librería de Open Aquarium que explicaremos a continuación.

Explicaremos las características generales de cómo fue programada la tarjeta y como se solucionaron los problemas de conversión de datos para el posterior envío.

El paquete Open Aquarium es una plataforma abierta que es totalmente compatible con Arduino para fines específicos de monitoreo. Esta librería está disponible de forma gratuita para fines no comerciales, para sistemas de monitoreo robustos, desde la página del desarrollador ([www.libelium.com.es](http://www.libelium.com.es)) y se anexa al software de Arduino.

Figura 31. Entorno de desarrollo Arduino, anexo librería OpenAquarium



Luego de anexar esta librería al código de sintaxis del Arduino, esta se mostrara en nuestro código con 2 líneas de inclusión de librería, como se muestra en la figura 30.

Figura 32. *Inclusión de librería*



```
codigo_sensores_v3.5
#include "OpenAquarium.h"
#include "Wire.h"
```

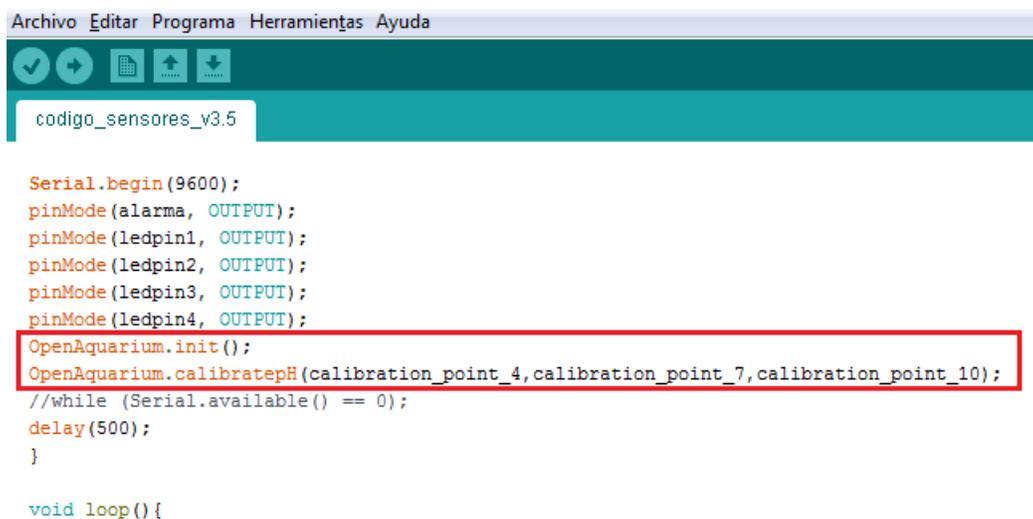
Luego de esto, ya estamos listos para empezar la programación de procesamiento de datos en nuestra tarjeta Arduino Uno.

Como la plataforma de Arduino se programa con un software propio, basado en C++, que es un lenguaje de programación de alto nivel, nos retribuirá en cuanto a complejidad.

Primero definiremos los valores a calibrar en el sensor de pH para sus tres puntos estándar (4,7 y 10), al hacer la prueba con la señal patrón, calibramos de forma que los valores en mV de cada rango está dado por: 3849mV (pH 4), 3178mV (pH 7) y 2445mV (pH 10). Con dichos valores hacemos la conversión en el algoritmo.

Debemos también inicializar todas las variables que creamos en nuestro algoritmo ya sean de tipo booleana, flotante, entera o larga, dependiendo de cada variable físico/química, y el tipo de salidas a utilizar.

Figura 33. *Calibración del sensor de pH*



```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
codigo_sensores_v3.5

Serial.begin(9600);
pinMode(alarma, OUTPUT);
pinMode(ledpin1, OUTPUT);
pinMode(ledpin2, OUTPUT);
pinMode(ledpin3, OUTPUT);
pinMode(ledpin4, OUTPUT);
OpenAquarium.init();
OpenAquarium.calibratepH(calibration_point_4,calibration_point_7,calibration_point_10);
//while (Serial.available() == 0);
delay(500);
}

void loop(){
```

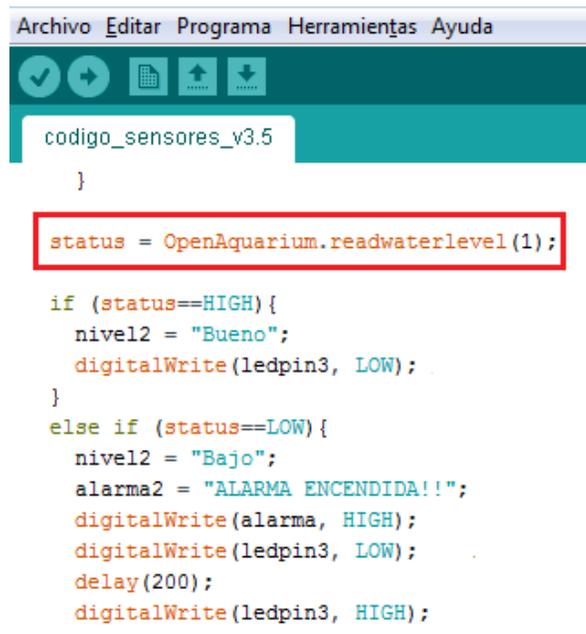
En la sintaxis de la mayor parte del código se utilizara esta librería por tanto es indispensable indexarla al Arduino, pues las 4 variables que entran a ser procesadas (pH, Temperatura, Nivel y Humedad) será leída por esta para una calibración correcta de cada sensor e incurrir a menor número de fallas por

Figura 34. *Calibración sensor de temperatura.*



```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
codigo_sensores_v3.5
digitalWrite(ledpin1, HIGH);
}
temperature=OpenAquarium.readtemperature();
if (temperature >= 25 && temperature <= 35){
digitalWrite(ledpin2, LOW);
}
else {
alarma2 = "ALARMA ENCENDIDA!!";
digitalWrite(alarma, HIGH);
digitalWrite(ledpin2, LOW);
delay(200);
digitalWrite(ledpin2, HIGH);
}
```

Figura 35. *Calibración sensores de nivel*



```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
codigo_sensores_v3.5
}
status = OpenAquarium.readwaterlevel(1);
if (status==HIGH){
nivel2 = "Bueno";
digitalWrite(ledpin3, LOW);
}
else if (status==LOW){
nivel2 = "Bajo";
alarma2 = "ALARMA ENCENDIDA!!";
digitalWrite(alarma, HIGH);
digitalWrite(ledpin3, LOW);
delay(200);
digitalWrite(ledpin3, HIGH);
}
```

El sensor de temperatura se calibra con rangos críticos para el circuito acuapónico, entre los 25°C hasta los 35°C, según indica el estudio Acuícola, por

otro lado los sensores de nivel, son de tipo ON/OFF, estos en la implementación, estarán ubicados en los lugares considerados como de nivel bajo-crítico y bueno, creando unos status en el algoritmo (IF) para estado “Alto” o (ELSE) “Bajo”.

Figura 36. *Calibración sensor de humedad*



```
Archivo  Editar  Programa  Herramientas  Ayuda
[Icons]
codigo_sensores_v3.5
humedad = analogRead(0);

if (humedad >= 0 && humedad <= 299){
  humedad2 = "Suelo Seco";
  alarma2 = "ALARMA ENCENDIDA!!";
  digitalWrite(alarma, HIGH);
  digitalWrite(ledpin4, LOW);
  delay(200);
  digitalWrite(ledpin4, HIGH);
}
if (humedad >= 300 && humedad <= 699){
  humedad2 = "Suelo Humedo";
  digitalWrite(ledpin4, LOW);
}
if (humedad >= 700){
  humedad2 = "En el Agua";
```

El sensor de humedad es netamente análogo, lo que se traduce en la sintaxis de nuestro algoritmo a utilizar ya sean unos “CASE” o “IF” para diferenciar el suelo (seco, húmedo, en el agua), para determinar el rango fiable de este suelo, acudimos nuevamente a nuestra medida patrón, que determina el suelo seco ( $\leq 299\text{mV}$ ), húmedo ( $\leq 699\text{mV}$ ) y en agua ( $\geq 700\text{mV}$ ).

Al final de nuestro código, empleamos unas líneas para simular y alertar el sistema, enviar una señal a nuestro circuito alarmado para que este pueda indicar tanto visual como sonora alguna falla en el circuito acuapónico. Y usando un `serial.println()` transmitimos la información por el medio (en nuestro caso por el módulo XBee).

### 7.2.2. Interfaz de usuario (visualización y almacenamiento)

El administrador del sistema de monitoreo, deberá estar vigilando constantemente las variables, para esto se debe desarrollar una interfaz amigable, rápida y eficiente, teniendo en cuenta los requerimientos de visibilidad de los datos y capacidad de almacenamiento para poder confrontar un estudio amplio en una base de datos bien definida.

Otro punto a tener en cuenta es la seguridad de la interfaz, pues esta debe ser administrada por uno/s usuarios definidos, por tanto se debe garantizar la seguridad de los datos y la no manipulación de estos por personas que no tengan privilegios de acceso completo.

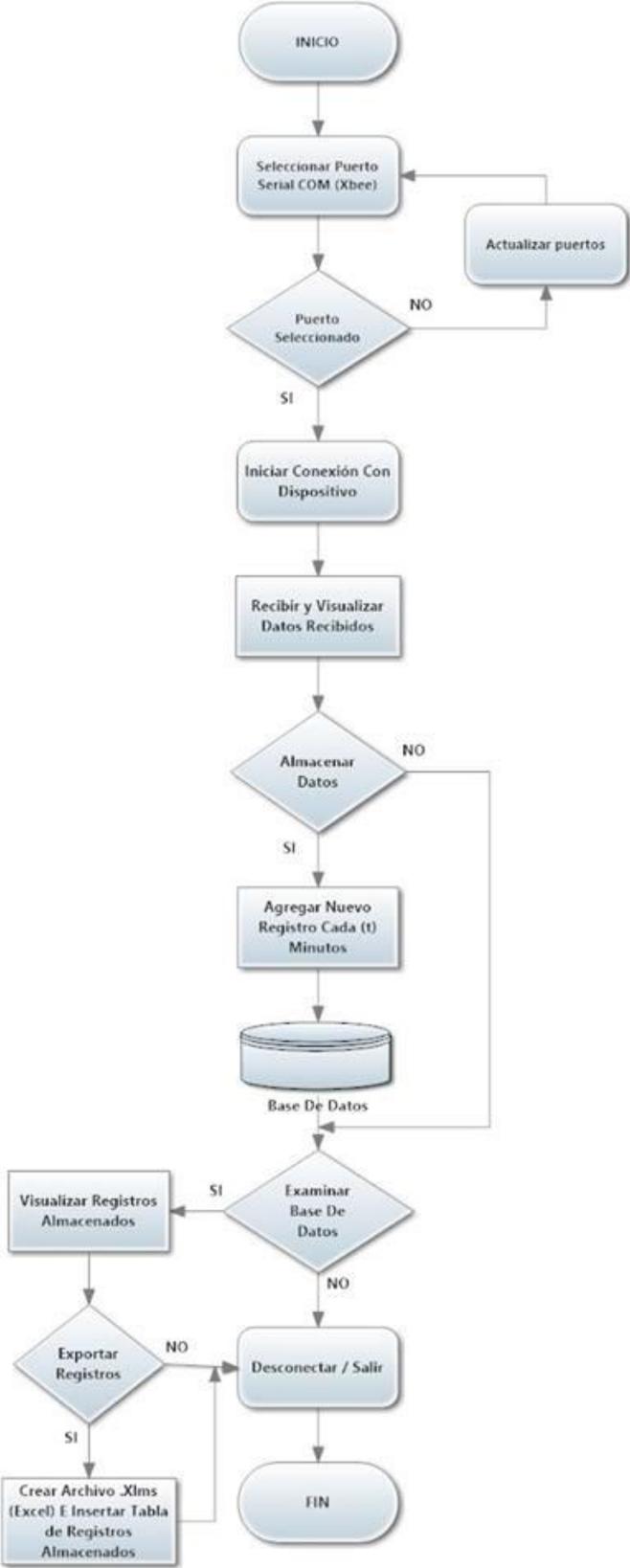
Usamos el entorno de desarrollo Microsoft Visual Studio Community 2013 y Express 2012 de la compañía Microsoft Corporation. La cual se puede descargar y utilizar de forma gratuita con fines no comerciales (académicos y/o investigación). Usamos este entorno porque este IDE (Entorno de desarrollo Integrado) soporta varios lenguajes tales como; Visual C++, Visual C# (Sharp), Visual J#, ASP.NET y Visual Basic. Además cuenta con gran versatilidad en el momento de crear un servidor (Microsoft SQL Server), y almacenamiento de datos.

Figura 37. Autorización de uso del producto para fines académicos.



Primero debemos organizar el algoritmo primario, para ello nos valemos de un diagrama de flujo que ordenara el cuerpo del software, seguimos los pasos, y decidimos la manera correcta de organización secuencial.

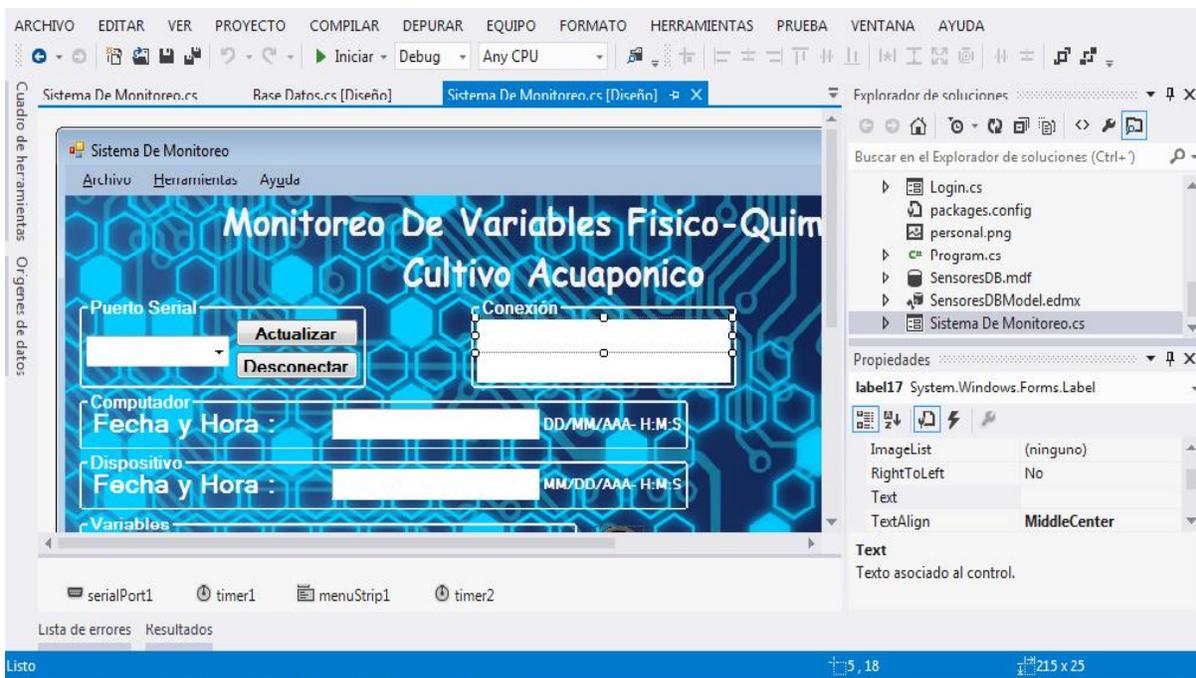
Figura 38. Diagrama de flujo del cuerpo principal del software.



Las instrucciones realizadas por orden del usuario (selección de puertos, actualizar, iniciar conexión de dispositivos, etc.) están diferenciadas de las que realiza el programa por defecto (Recibir y visualizar datos, agregar nuevo registro, etc.), pues estas últimas dependen de las operaciones que el administrador requiera, en orden jerárquico como se muestra en el diagrama de la figura anterior (38).

Diseñamos una interfaz sencilla, con visualización eficiente, y con la funcionalidad básica, en la figura 38 se muestra su diseño y el entorno de desarrollo (Visual studio Community 2013).

Figura 39. *Diseño de interfaz de administración (Visual Studio Community 2013).*



Dentro del entorno de desarrollo, tipo GUIDE ubicamos bocadillos de diálogos para la interacción más sencilla de cada usuario del sistema, ubicamos el puerto serial al que será conectado la XBee, ubicamos botones para actualizar o desconectar dicho puerto, así, cada vez que conectamos el módulo XBee coordinador a nuestro servidor (Ordenador) podremos elegir el puerto COM al cual esta comunicado.

También se puso un botón de visualización de conexión, este mostrara si se encuentra o no conectado el sistema, para obtener de una forma rápida la respuesta al inicializarse.

Enlazamos cada cuadro, botón e imagen al algoritmo de diseño del Visual Studio Community 2013 [Lenguaje visual C# (Sharp)], obteniendo una interfaz sencilla y rápida como se ve a continuación.

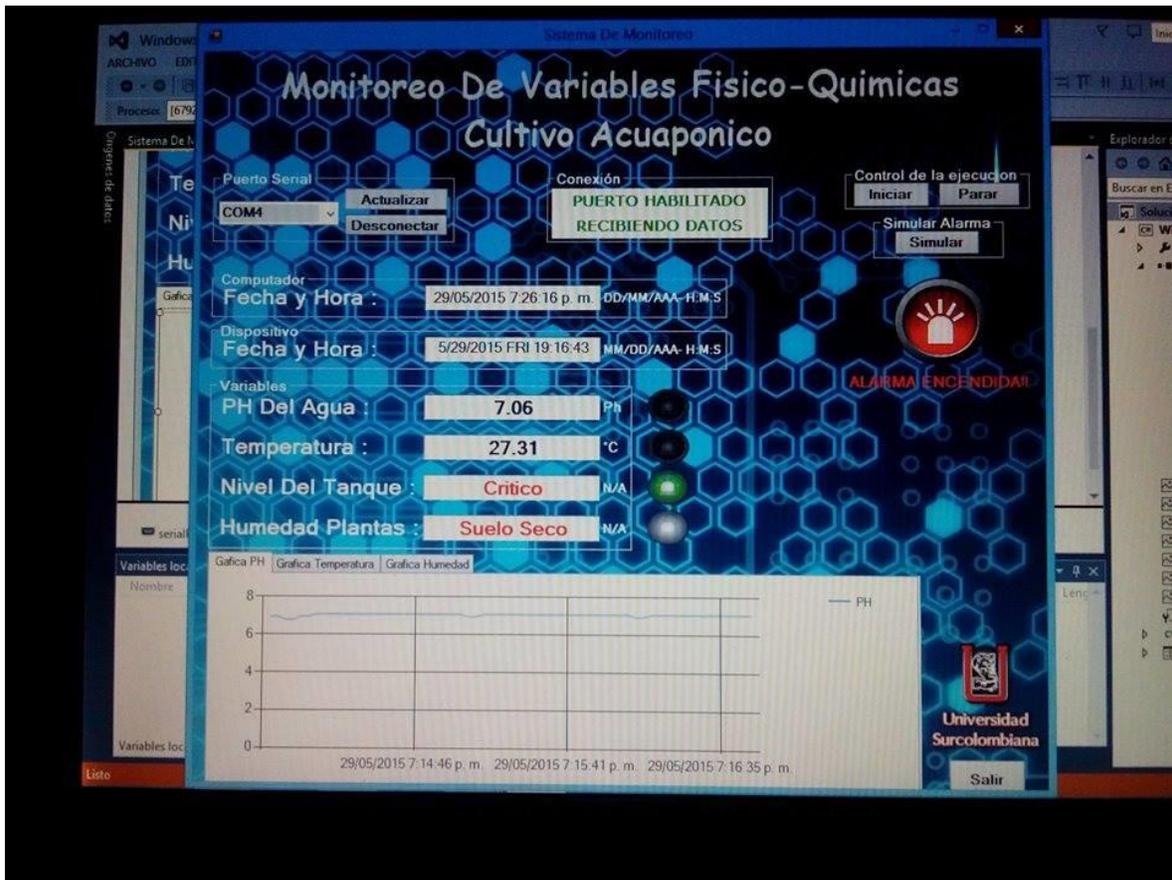
Figura 40. Interfaz principal final del sistema de monitoreo.



La interfaz principal, como se puede ver es simple, monitorea las 4 variables y a su derecha se insertaron unas imágenes indexadas en forma de leds para mostrar alguna anomalía dentro del mismo software, más una quinta imagen de igual forma pero en mayor tamaño para mostrar que la sirena está encendida, asegurando que el usuario pueda enterarse de cada falla del circuito y el lugar específico de dicha falla.

Además cuenta con un control de ejecución, para iniciar o detener la recepción de las lecturas, esto con la finalidad de no dañar la base de datos en un estudio específico, con datos anormales, por razones externas (Limpieza de los estanques, mantenimiento de los sensores, pruebas del cultivo acuapónico, etc.) y cuenta en la parte inferior, con una caja de imagen, que dibuja en forma gráfica cada variable monitoreada, para una interacción más amigable, teniendo en cuenta que no creamos pestaña grafica al nivel, pues este solo mostrara dos estados (Alto o Bajo), lo cual lo vuelve innecesario.

Figura 41. Interfaz de monitoreo en funcionamiento



En la figura 41 se muestra la simulación del software, en su página principal, comunicando el módulo XBee a través del puerto COM4, con conexión (Puerto habilitado, recibiendo datos) con dos variables críticas, en este caso el nivel y la humedad (En color rojo) y sus respectivas imágenes led encendidas al igual que la sirena (led rojo grande), y su graficacion constante en la parte inferior.

Ahora presentaremos el diseño de la interfaz de la base de datos, usando botones, cuadros de texto y cuadros de enlace, para poder abarcar las necesidades de la misma, también se implementaron dos botones (false/true) para graficar y/o actualizar nuestra base de datos, recordando que el almacenamiento se hará en el servidor local (Ordenador de administración), gracias a la prestación del Microsoft SQL Server de guardar datos de forma constante y ordenada. Implementamos un botón de tipo StripButton, para exportar la base de datos a Excel, y allí realizar de forma más cómoda el estudio correspondiente. Cabe resaltar que a esta interfaz a diferencia de la principal, no ingresaran sino las personas con acceso privilegiado de login (Usuario y contraseña).

Figura 42. Diseño interfaz de base de datos.

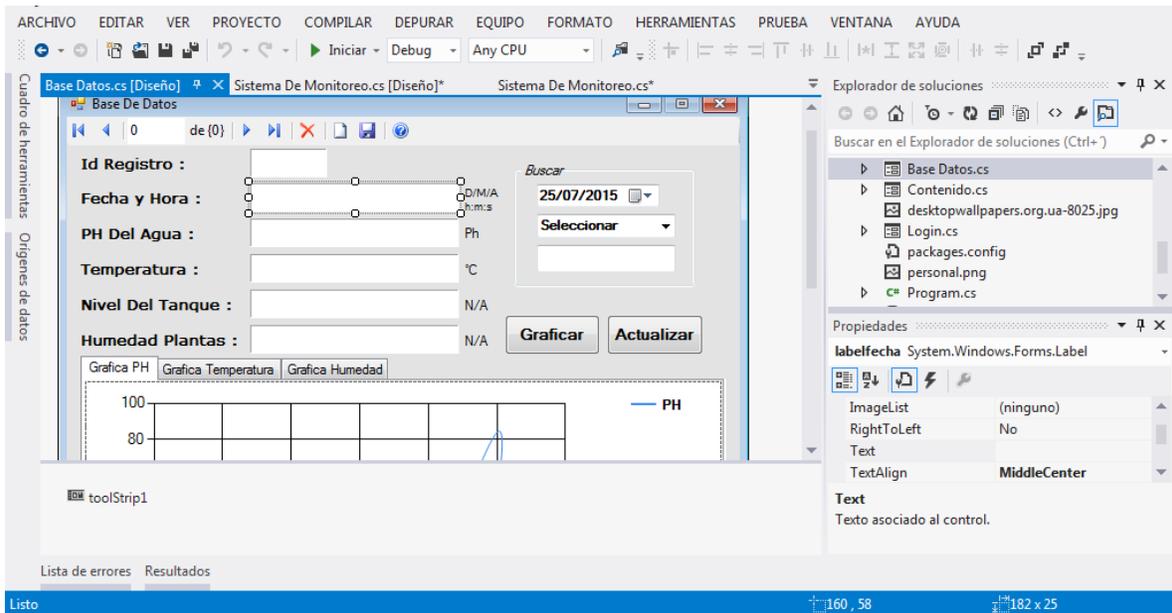
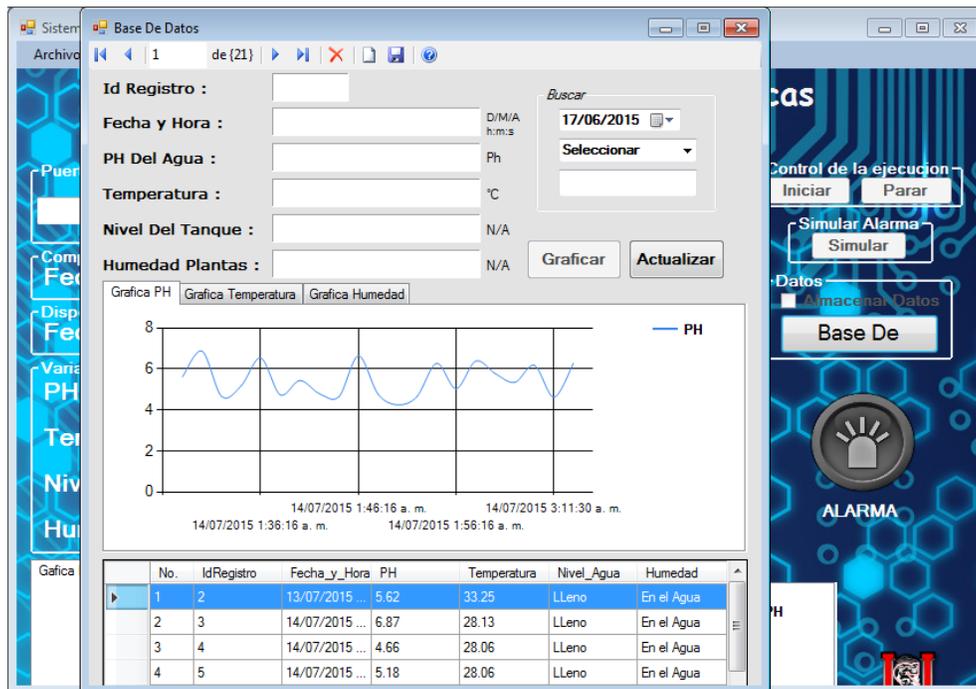


Figura 43. Interfaz final de la base de datos del sistema de monitoreo.



Esta interfaz final, tiene en su parte inferior los datos tomados de forma diaria y constante, y por supuesto su respectiva grafica de monitoreo.

Para la exportación de la base de datos, simplemente accedemos al botón “Guardar” en la barra superior y este automáticamente nos ordenara los datos en una tabla de Microsoft Excel.

Figura 44. Exportación de datos

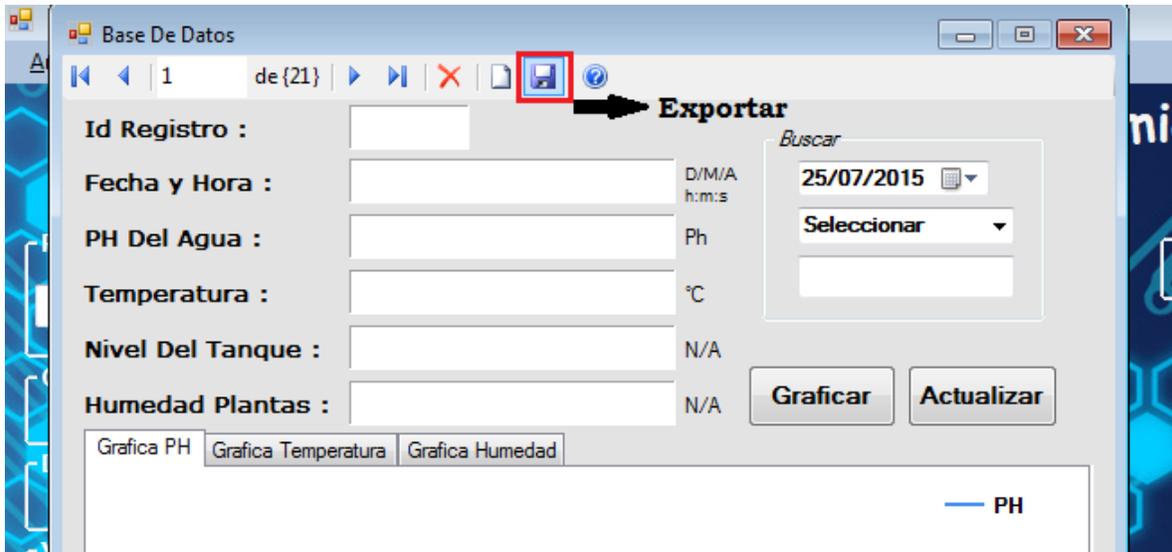


Figura 45. Datos ordenados para su análisis

	A	B	C	D	E	F	G
1	No	IdRegistro	Fecha_y_Hor	PH	Temperatura	Nivel_Agua	Humedad
2	1	2	13/07/2015	5,62	33,25	Lleno	En el Agua
3	2	3	14/07/2015	6,87	28,13	Lleno	En el Agua
4	3	4	14/07/2015	4,66	28,06	Lleno	En el Agua
5	4	5	14/07/2015	5,18	28,06	Lleno	En el Agua
6	5	6	14/07/2015	6,54	27,88	Lleno	En el Agua
7	6	7	14/07/2015	4,74	26,06	Lleno	En el Agua
8	7	8	14/07/2015	5,44	25,94	Lleno	En el Agua
9	8	9	14/07/2015	4,8	26,06	Lleno	En el Agua
10	9	10	14/07/2015	4,65	26,19	Lleno	En el Agua
11	10	11	14/07/2015	6,64	26,25	Lleno	En el Agua
12	11	12	14/07/2015	4,78	26,19	Lleno	En el Agua
13	12	13	14/07/2015	4,25	26,19	Lleno	Suelo Seco
14	13	14	14/07/2015	4,66	26	Lleno	Suelo Seco
15	14	15	14/07/2015	6,28	25,94	Lleno	En el Agua
16	15	16	14/07/2015	5,04	26	Lleno	En el Agua

A manera de ejemplo, borramos un registro para observar la no coincidencia del número de lectura y su respectivo Id Registro que también migra al formato que se ha exportado, haciendo ver más fácilmente la manipulación incorrecta de los datos.

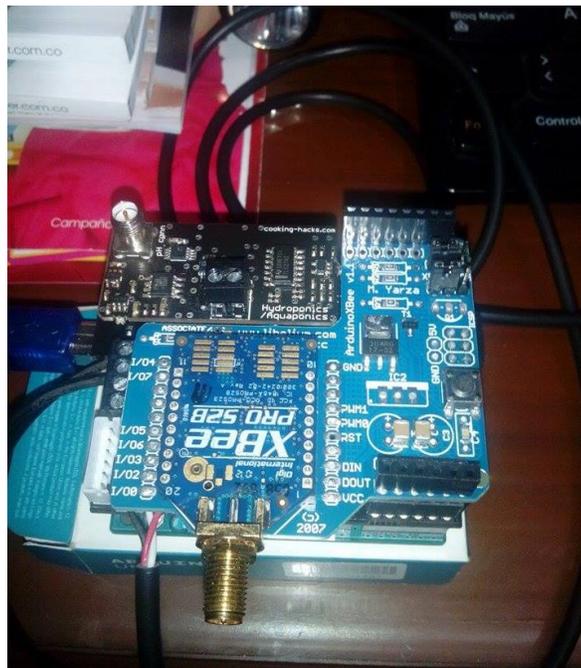
## 8. IMPLEMENTACION Y PRUEBAS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE VARIABLES FISICO-QUIMICAS

Aquí abordamos el montaje, instalación, configuración y pruebas en el circuito acuapónico de los distintos equipos que forman el sistema de monitoreo. Iniciamos con el montaje de las tarjetas electrónicas, que son el corazón del sistema, después abarcaremos la construcción de la tarjeta del sistema de alarma y su puesta en marcha, junto con la implementación de la tarjeta XBee coordinadora en la casa y por último la integración del software y el hardware del sistema, pruebas finales y advertencias respectivas

### 8.1. MONTAJE Y PRUEBAS DE LAS TARJETAS ELECTRONICAS

Debemos compilar y quemar el código final en el paquete de tarjetas que conforman nuestro sistema, realizar pruebas con los sensores y con el módulo XBee para descartar cualquier fallo de tipo software y/o hardware, antes de realizar el montaje en el circuito acuapónico.

Figura 46. *Montaje de las tarjetas electrónicas.*



Este montaje contiene 4 tarjetas; Arduino, donde se quema el código diseñado para el procesamiento de los datos sensados, Open Aquarium, en donde se

administra la rotulación de fecha y hora, junto con la eficiencia de IN/OUT, La tarjeta (Shield) del módulo XBee PRO serie 2B encargada de transmisión de datos y la tarjeta de acople modular del sensor de pH, pues es de tipo BNC, para asegurar inmunidad al ruido.

Este circuito está conectado a un adaptador de salida a 5V DC, el cual es el usual en alimentación de este tipo de tarjetas, el cual va estar alimentándolo de forma constante.

Realizamos pruebas conectando los sensores y emulando el modo critico en cada uno de ellos y observar si responden las tarjetas a estas excitaciones como se puede observar en la figura 46

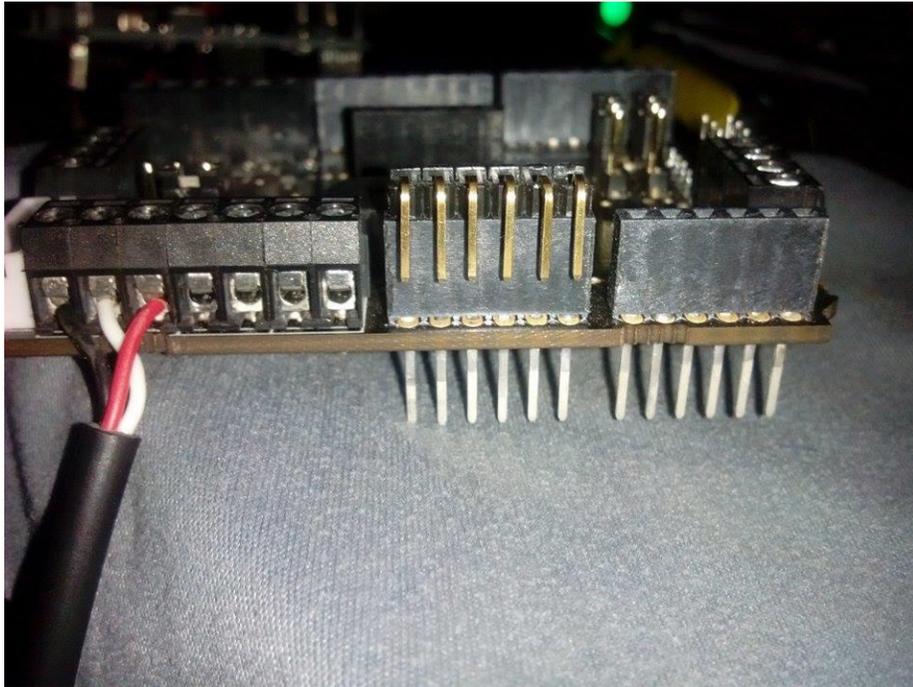
Figura 47. *Prueba de las tarjetas electrónicas.*



El sistema de tarjetas se alerta a la excitación de los 3 sensores (Nivel, Humedad y Temperatura), la prueba con el sensor de pH se hará con su respectivo modulo. Esto nos indica que la compilación en el procesador es correcta.

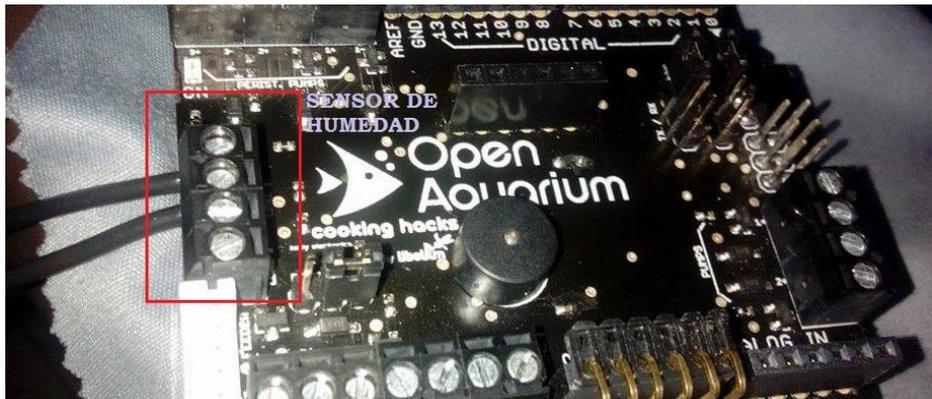
Luego de esto procedemos a probar las entradas individuales de cada sensor de la tarjeta Open Aquarium.

Figura 48. *Conexión del sensor de temperatura*



El sensor de temperatura se conecta a las terminales respectivas, recordando con su “datasheet” el pin de datos, voltaje de alimentación y GND.

Figura 49. *Conexión de los sensores de nivel*



Para los sensores de nivel no tenemos problema con su polarización pues los datos que recibirá la tarjeta serán de dos estados posibles. El sensor de humedad al ser un sensor análogo, debemos anexarlo a una entrada análoga de las muchas que nos proporciona el sistema de tarjetas. El sensor de pH es calibrado en el laboratorio de suelos que nos brinda la Universidad Surcolombiana, del programa de Ingeniería Agrícola.

Figura 50. Laboratorio de recursos GeoAgroAmbientales (suelos).



Se nos fue facilitado para calibrar y hacer las pruebas de la sonda de pH respectivamente, en este proceso es necesario tener tres reactivos de pH los cuales se usan como medidas patrones para la correcta medición de dicho sensor.

Estos tres reactivos conocidos como buffer pH, tienen 3 medidas de pH diferentes; 4, 7 y 10, de esta forma conocemos la relación de pH y mV y hacemos la conversión respectiva a nivel de código.

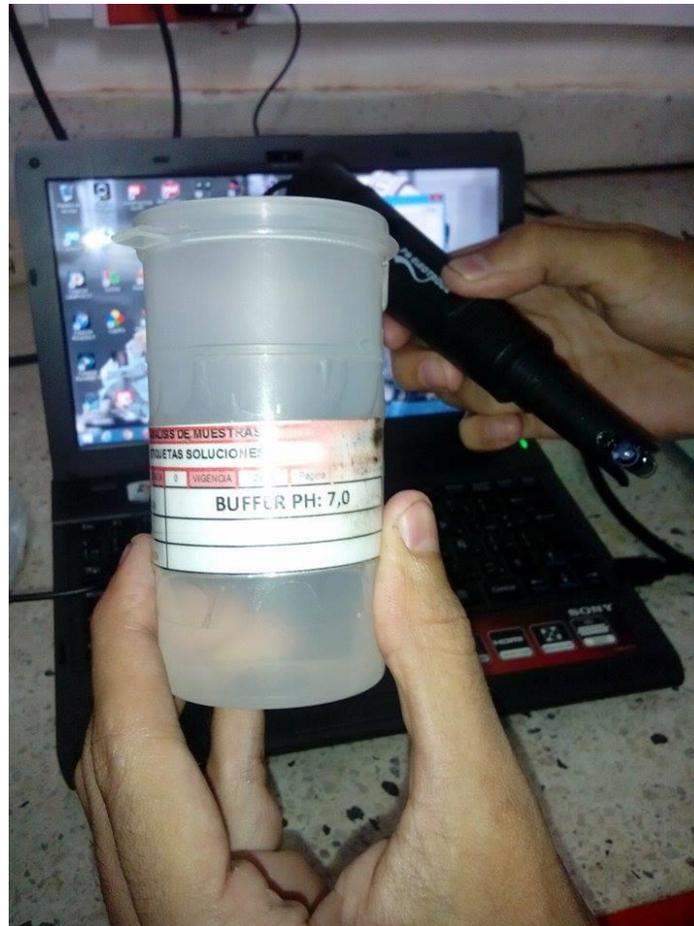
Figura 51. Reactivos de pH (Buffer).



Usamos cada buffer y por medio del “scope” del Arduino, observamos la relación de pH con mV en la sonda, luego añadimos el valor en mV al programa principal, y la relación de linealización en ambas medidas físicas.

Luego, hacemos las pruebas respectivas de pH variable, y vemos la respuesta de la sonda, concluyendo que ha sido correcta y confiable, pues confrontamos datos con los tomados del multiparamétrico y su sonda.

Figura 52. *Pruebas finales del sensor de pH*

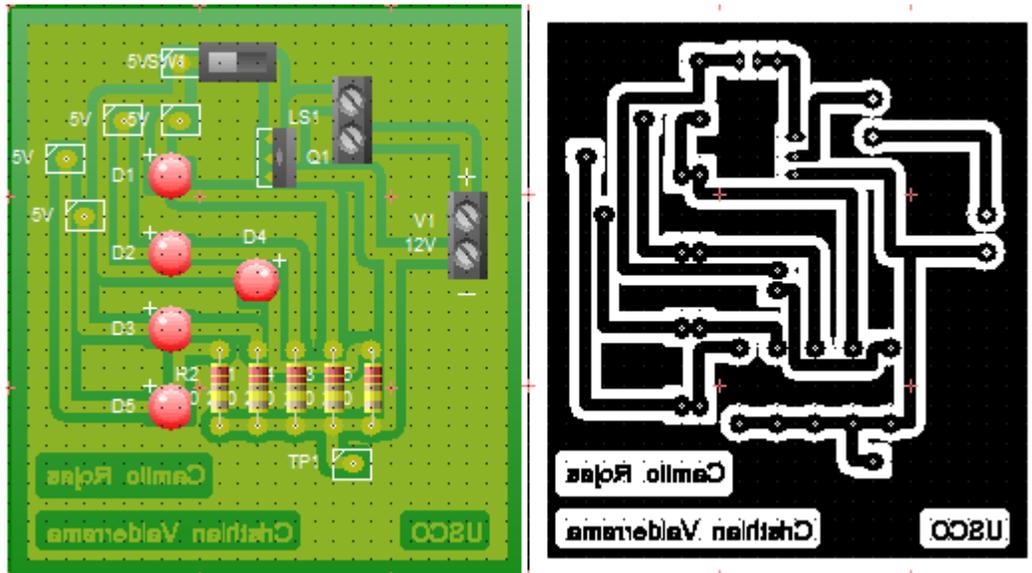


Luego de haber probado las tarjetas con sus respectivos sensores, nos damos la tarea de montar el sistema de alarma, para esto, usamos dos software de licencia libre; PCB Wizard y LiveWire, para diseñar y montar el circuito a quemar, estos software son elementales pero muy rentables para el propósito de este proyecto, pues proporcionan un desempeño bueno, con bajo nivel de complejidad.

El software LiveWire – Professional Edition, es el primero en usarse, este será nuestro tablero de diseño del circuito, este ya se mostró en la figura 26, es posible simularlo y ver su correcto funcionamiento.

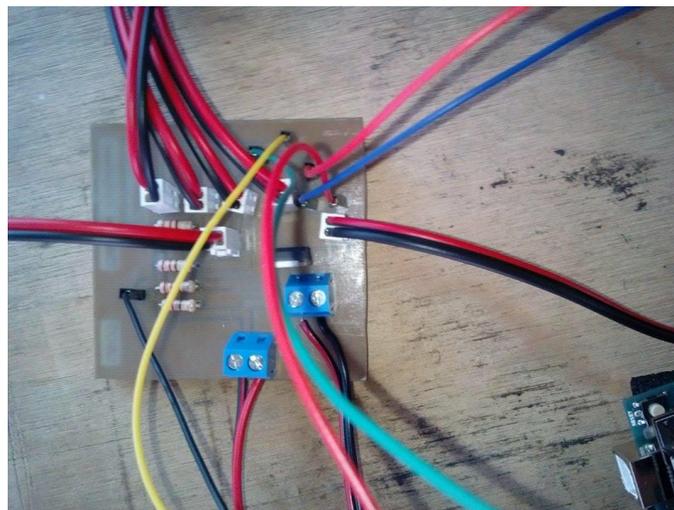
Luego de esto, debemos exportar el archivo creado a nuestro segundo software, PCB Wizard – Professional Edition, al exportarlo el circuito se muestra de una forma física, en cuanto a componentes y caminos a quemar, como se muestra a continuación.

Figura 53. *Diseño circuito impreso de la alarma del sistema*



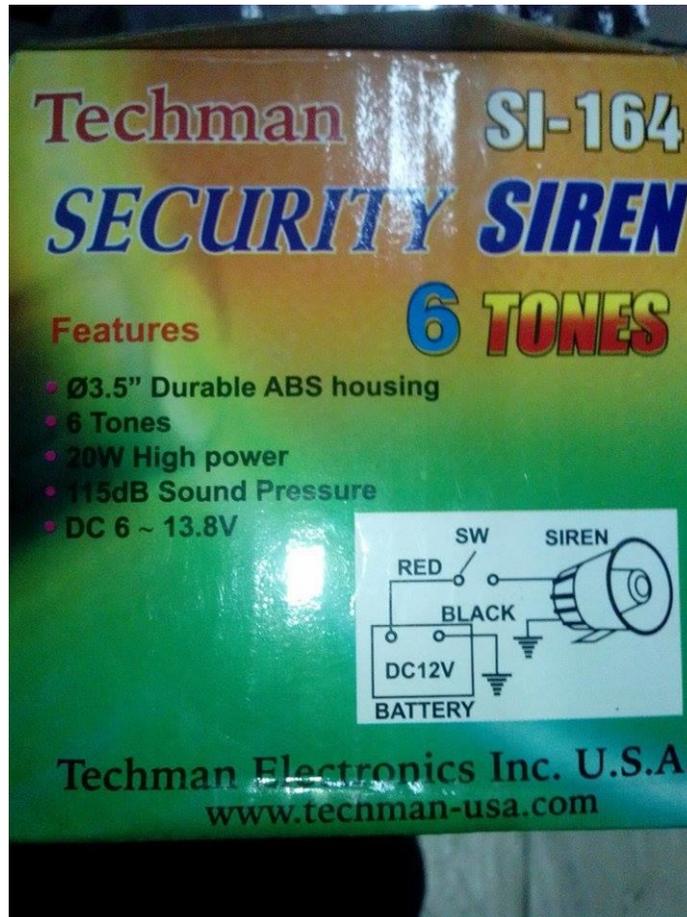
Después de esto, acudimos a imprimir y quemar el circuito en papel propalcote y a su vez en una PCB de fibra de vidrio, de esta forma, con ácido y agua, creamos las pistas de cobre del circuito de alarma. Abrimos los orificios respectivos de los componentes, se estañan en la fibra de vidrio con soldadura y se ordenan de forma que se pueda interconectar con la etapa de procesamiento.

Figura 54. *Circuito de alarma en fibra de vidrio.*



Compramos una sirena Techman referencia SI-164 de las que normalmente se usa en el sistema de alarma de vehículos, por sus prestaciones en cuanto a potencia sonora (dB) y sus bajos requerimientos de energía.

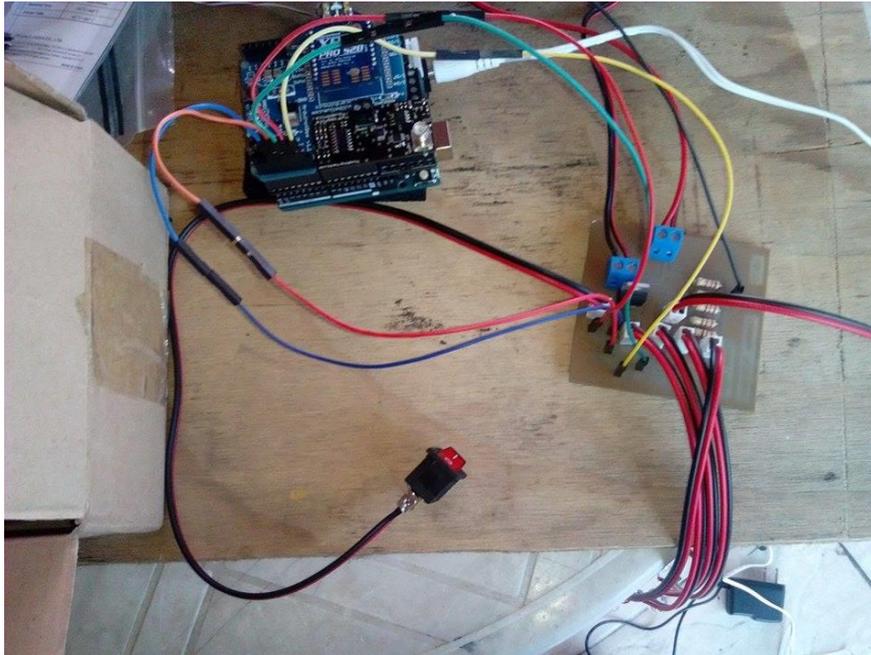
Figura 55. Referencia de sirena usada en el sistema.



Para el sistema de alarma usamos otro adaptador pero este, de 12V DC. Esto asegura el correcto funcionamiento de la alarma.

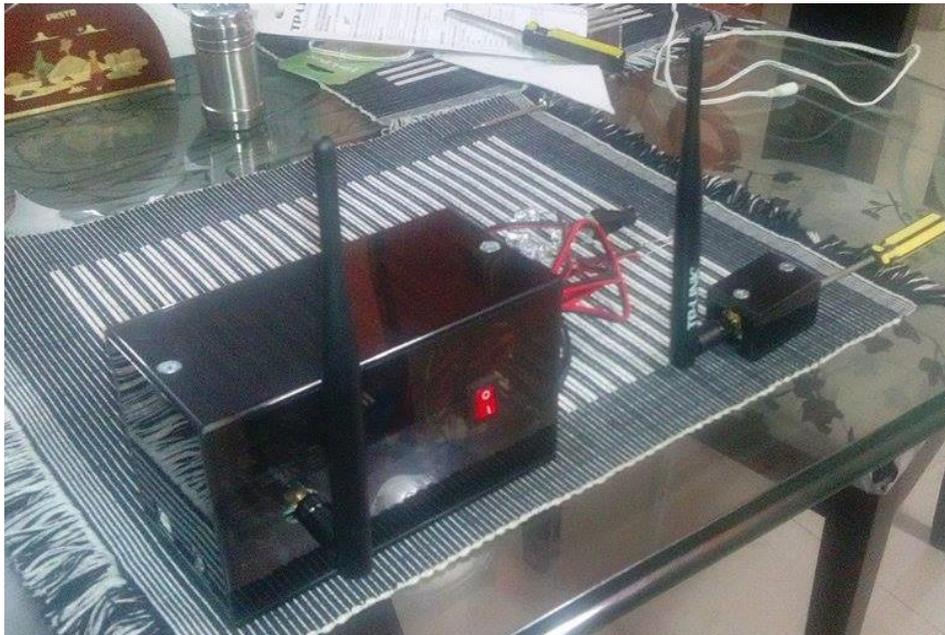
Después de esto, conectamos las etapas de procesamiento y alarma, probamos ambas interconectadas y los resultados son satisfactorios. Los adaptadores no entran en conflicto, y la vida útil de las tarjetas se garantiza. Solo resta establecer comunicación con el módulo XBee coordinador en la casa de la granja de la Universidad Surcolombiana. Pero antes de esto, se debe garantizar que el circuito que estará en condiciones críticas de ambiente, este protegido. Para esto lo cubrimos en una caja acrílica la cual mitigara estos efectos externos.

Figura 56. *Conexión entre etapas (Alarma-procesamiento).*



También se implementa una protección acrílica al módulo XBee Coordinador que permanecerá en la casa de la granja de la Universidad Surcolombiana, para asegurar allí también una vida útil más larga de dicho modulo.

Figura 57. *Circuito de monitoreo en su caja acrílica.*



El circuito interno de la caja acrílica se muestra a continuación en la figura 58.

Figura 58. Sistema de monitoreo con sus módulos XBee Pro S2B (Circuito interno)



Aquí se ve el circuito interno y las conexiones ya adecuadas.

Para terminar decidimos guardar esta caja acrílica en una casa metálica, la cual soportara todos los posibles problemas externos (clima, ambiente, caídas, etc.). Para esto usamos una casa con recubrimiento anti oxidable, y en su interior con una tapicería dieléctrica para asegurar el aislamiento del circuito de monitoreo con la casa.

Esta debe tener un orificio en su parte inferior para, por medio de un tubo de PVC sacar la sonda de humedad hasta el cultivo hidropónico, esta agujerada de la misma forma que la caja acrílica.

Figura 59. Casa metálica, vista interior



Ahora procedemos a colocar nuestra caja acrílica dentro de esta casa metálica, y acoplamos todas las entradas y salidas a esta.

Figura 60. *Vista interna del circuito en la casa metálica.*



Como resultado final tenemos lo que se muestra en la figura 61.

Figura 61. *Sistema de monitoreo de variables físico-químicas.*



Los indicadores LED, tienen color distintivo para cada variable; azul (pH), amarillo (Temperatura), verde (Nivel), blanco (Humedad).

## 8.2. INSTALACION DEL SISTEMA DE MONITOREO

El sistema de monitoreo debe ser instalado en el circuito acuapónico y el servidor junto con la interfaz de usuario, el modulo coordinador en la casa de la granja experimental, para este propósito adecuamos los lugares para el propósito.

En un costado del estanque C del circuito acuapónico encontramos el espacio necesario para poner el sistema de monitoreo, debemos asegurar que el sensor de humedad llegue a la línea hidropónica que se monitoreara, para ello, abrimos una pequeña cercha sobre la tierra para comunicar el sensor vía cable hasta el sistema central del monitoreo, como se muestra en la figura 62.

Figura 62. Cercha para el cableado del sensor de humedad.



Debemos asegurar que al sistema cableado quede protegido al agua, para ello usamos un codo que servirá de capucha disminuyendo la posibilidad de agua en el tubo de ½ pulgada.

Usamos un tubo metálico y cementamos su base, lo cual le fijara para que sostenga la carcasa del sistema de monitoreo, aseguramos bien dicho tubo junto al de PVC que llevara la sonda del sensor de humedad.

Figura 63. *Base del sistema de monitoreo*



Acudimos al centro de monitoreo en la casa de la granja, donde instalamos el coordinador sobre una placa metálica, que lo sostendrá en una ubicación, donde aseguremos no habrán perdidas de datos entre Coordinador/Router. Este mediante cableado, se conecta al Ordenador definido como servidor, y de monitoreo remoto. Se debe tener en cuenta que la ubicación de los módulos XBee (Coordinador y Router) deben tener línea de vista a distancias mayores, aunque generalmente el fabricante pone la fiabilidad sobre los 1500m (1.5Km).

Figura 64. *Módulo XBee PRO s2B coordinador instalado*



Realizamos las pruebas de conexión con el equipo servidor del sistema, y probamos la correcta instalación de esta parte del monitoreo.

Figura 65. *Prueba de funcionamiento (XBee PRO s2B-Coordinador)*



Ahora procedemos a la adecuación necesaria, para dar lugar al sistema de monitoreo, en su unidad central.

Adicionamos los detalles finales en el sistema que estará constantemente tomando datos de forma directa en el circuito acuapónico.

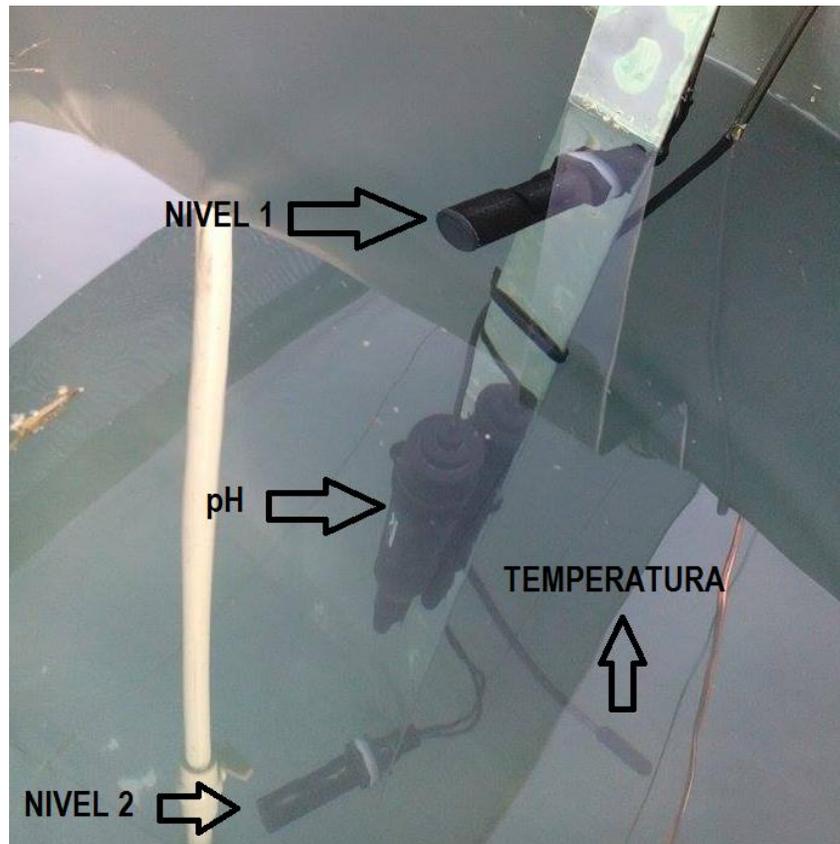
Figura 66. *Implementación de sonda de humedad en el sistema*



La sonda de humedad es la primera que ubicamos por ser la más lejana del sistema, debemos tener cuidado con su implementación pues esta va por un tubo plástico una distancia considerable.

Utilizamos una regleta metálica de un material inoxidable que estará sumergida en el sistema de sensado el cual será soporte de los sensores sumergibles, como lo son el pH, temperatura y nivel. Dicho soporte debe llevar el cableado necesario hasta el sistema central (casa metálica) y garantizar el correcto funcionamiento del mismo como se muestra en las figuras 67 y 68.

Figura 67. Sensores sumergidos en el estanque acuapónico.



De igual forma “clavamos” el sensor de humedad en la tierra de forma tal que garantice su correcto funcionamiento.

Figura 68. Sensor de humedad instalado



Procedemos a finalizar la instalación y poner la alarma respectiva, para ello utilizamos una base del circuito en guadua y ubicamos la sirena de alarma de forma tal que pueda alertar a la casa de la granja sin ningún problema.

Figura 69. *Sirena de alarma instalada*



Encendemos el sistema y probamos cada valor crítico sensado y comprobamos su buen funcionamiento, observamos el sistema visual de alarma de forma satisfactoria y la sirena tomando en cuenta su alcance para establecer su efectividad.

### 8.3. PRUEBAS DEL SISTEMA IMPLEMENTADO

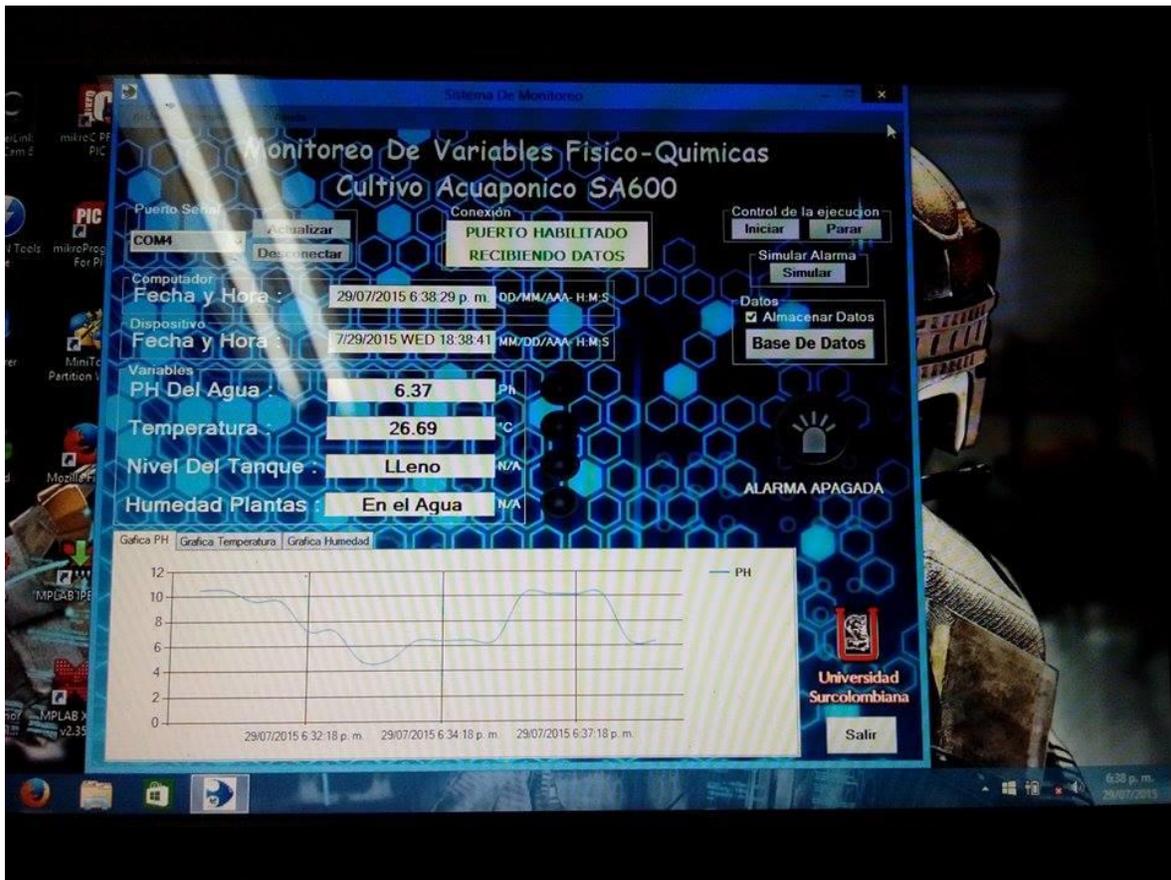
A continuación vemos las pruebas visuales y tomamos los datos finales en el sistema de monitoreo.



Después de esto nos dirigimos a la casa de la granja experimental de la Universidad Surcolombiana y tomamos los datos sensados en el circuito

acuapónico en la interfaz de usuario previamente diseñada, dejamos el sistema estabilizado y observamos su robustez.

Figura 70. Interfaz de usuario tomando datos del sistema acuapónico.



El sistema queda implementado de forma satisfactoria y empezamos a llenar nuestra base de datos desde el cultivo.

Probamos sensor por sensor, y lo llevamos a su estado crítico y observamos la respuesta a nivel de software y hardware del sistema, obteniendo resultados satisfactorios.

Como la actualización de los datos sensados se dan en un intervalo de 2 minutos, establecemos un tiempo dinámico o de establecimiento mientras las sondas estabilizan sus datos (alrededor de 5 minutos), luego, en el estado estacionario no habrá problema alguno en las lecturas tomadas y podemos empezar a guardar datos en nuestro servidor local.

## 9. CONCLUSIONES

Se obtuvo de manera satisfactoria los datos de variables físico-químicas tales como; humedad, nivel, temperatura y pH. De una forma continua, ordenada y con un protocolo de seguridad propicio para protección de datos, asegurando el estudio de dichas variables con un alto nivel de fidelidad.

El uso de software gratuito, nos proporciona muchas ventajas, desde el costo, hasta la infinidad de soluciones gracias a la comunidad del mismo, que suele ser bastante amplia, de esta forma aporta académicamente, para mejorar dichos algoritmos en problemas específicos.

Aseguramos un sistema constante de envío y recepción de información mientras el administrador lo requiera, y controlado por este, proporcionando una monitorización constante e ininterrumpida para engrosar las lecturas para su posterior interpretación.

Incentiva a trabajar en un campo desconocido en Colombia y altamente rentable como es la seguridad alimentaria intensiva, más en un departamento como el Huila, donde la principal fuente de alimentos piscícolas son los embalses que requieren grandes cantidades de espacio y mayor tiempo de crianza a los alevinos, de esta forma interconectar la Ingeniería Electrónica a los problemas acuícolas se convierte en una línea de acción bastante amplia y poco explorada, promoviendo emprendimiento y generación de empresa.

La facilidad con la que se puede implementar un sistema de monitoreo remoto al día de hoy gracias a las tecnologías emergentes, y un buen diseño y conceptualización del prototipo, resulta siendo una alternativa eficiente y que tiende a ser el tipo de sistemas del mañana.

La versatilidad del hardware de las tarjetas electrónicas nos produce buenas prestaciones en cuanto a reducción de coste económico y por su tamaño, una fácil manipulación y ubicación sin alterar el sistema a monitorear, ni que resulte engoroso para el administrador del circuito acuapónico y/o los usuarios quienes están frecuentemente activos en el sistema manipularlo.

## 10. RECOMENDACIONES

Se recomienda que el servidor del sistema, donde estará instalado el software de monitoreo junto con la base de datos, contenga buenas prestaciones, una capacidad de memoria dinámica RAM y procesador que mínimamente puedan suplir a dicho software, pues de lo contrario el sistema de monitoreo será ineficiente y no cumplirá el propósito al que fue creado; recibir datos en tiempo real y su correcto almacenamiento.

Se recomienda un mantenimiento periódico preventivo cada 3 o 4 meses, para asegurar la vida útil del sistema, teniendo como eje principal, los sensores, electrodos y sondas, quienes serán los que estarán más propensos a daños o errores de calibración por su exposición constante a ambientes críticos. De la misma forma se recomienda otro mantenimiento correctivo de las tarjetas, pues algunos elementos de estas, como la batería tipo moneda, deberán ser reemplazados y/o reiniciados.

Se recomienda no abrir ni operar la casa metálica donde se alberga el conjunto de tarjetas de procesamiento por personal no capacitado para dicha tarea, pues esta etapa es muy sensible, por tanto podría sufrir daños fácilmente, dejando inoperable el sistema.

El sistema de alarma es constante, este no dejara de estar activo hasta el momento que se le dé solución al problema que lo inicializo, pero dicho sistema contiene un interruptor de apagado de sirena, esto no apagara la alarma como tal; solamente a la sirena, por tanto es recomendable no usar dicho interruptor más que en casos de pruebas y/o mantenimiento.

Se recomienda mejorar el sistema de alimentación, con un protector de sobretensiones, pues la granja experimental sufre mucho de caídas y de picos altos de corriente, que se pueden fugar a través de las tarjetas, Reduciendo su vida útil de manera sustancial.

Se recomienda que el administrador del sistema, sea cuidadoso con su Id. Usuario y su contraseña, pues en caso contrario cualquier persona externa que tenga acceso al servidor local podría entrar, revisar, crear o eliminar datos, también se recomienda que el servidor (Ordenador), tenga un mantenimiento mensual, para evitar posibles filtraciones de virus, spyware entre otros elementos informáticos no deseados.

## 11. TRABAJOS FUTUROS

Para trabajos futuros, como una meta a corto plazo, sería imperativo implementar este sistema con mayor número de variables a monitorear, que nos proporcionen un estudio completo y profundo del circuito acuapónico, que en el nuestro no se pudo cumplir por cuestiones de presupuesto, pues sensores como el de oxígeno disuelto o amonio tienen un costo económico bastante alto haciéndolos inalcanzables a nuestro monto máximo de gastos.

Una gran mejora a tener en cuenta en el sistema de comunicación, es su protocolo de envío y recepción de datos, que no se reduzca solo a un servidor local, si no que los datos también puedan ser enviados a través de un punto de conexión inalámbrica Wi-Fi y enviados a la nube, almacenados en un servidor web y visualizados en una página web (Actualmente la granja experimental de la Universidad Surcolombiana no cuenta con este mecanismo de conexión Wi-Fi), para que el administrador del sistema pueda monitorear los datos desde infinidad de lugares simplemente requiriendo acceso a internet, haciendo este monitoreo completamente remoto.

El circuito acuapónico cuenta con un sistema de paneles solares que proveían de energía al sistema, pero actualmente se encuentra inutilizado por daños en su tarjeta procesadora, se podría reparar y reutilizar dicho sistema, para no depender de la red eléctrica convencional que es bastante irregular y tiene un coste, mientras esta solar, proporcionaría mejores prestaciones económicas al sistema de monitoreo e innovación en aplicaciones de energías alternativas y limpias.

Este sistema de monitoreo recoge variables de una línea de producción (C), se podría incluir a las dos líneas restantes que conforman el circuito acuapónico completo, teniendo un monitoreo total de dicho circuito, cosa que en este proyecto no se hizo por cuestiones económicas, pues la totalidad del costo del prototipo fue asumido por ambos estudiantes tesistas.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

CALÓ, Pablo. *Introducción a la acuaponía*. Buenos Aires, Dirección de acuicultura, Ministerio de Agricultura, Ganadería y pesca. Centro Nacional de Desarrollo Acuicola-CENDAC: 2011.

MCMURTY, M.R.; Sanders, D.C. *Efficiency of water use of an integrated fish/vegetable co-culture system*. J. World Aquaculture Soc: 1997. p 429.

DEL RIO, I.; *Revisión crítica de los índices físico-químicos de calidad de agua.*, Centro de Estudios Hidrográficos del Cedex, en revista Ingeniería Civil, 1986.

MALONEY, Timothy. *Electrónica Industrial Moderna*, Pearson Educación, 2006.

ARDUINO, *Plataforma de código abierto*. [En línea] <<http://www.arduino.cc/es/>>, 2014.

MOISTURE SENSOR, *Introduction (SKU: SEN0114)*, [En línea] [http://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Moisture\\_Sensor\\_\(SKU:SEN0114\)#Introduction](http://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Moisture_Sensor_(SKU:SEN0114)#Introduction), 2014.

XBee PRO 63mW Wire Antenna Series 2B, *ZigBee Mesh*, [En línea] <<http://xbee.cl/xbee-pro-63mw-wire-antenna/>>, 2015

ADAMS, Jon; HEILE, Bob, *Busy as a ZigBee*. IEEE spectrum, 2006.

SANTIAGO C.; Claudia P, *BlueTooth y ZigBee ¿competencia o complementarios?* [En línea]< [www.acis.org.co/memorias/JornadasTelematicas/IJNT](http://www.acis.org.co/memorias/JornadasTelematicas/IJNT)>, 2006.

SmartWater, *Technical Guide*. Libelium Comunicaciones Distribuidas. [En línea] <[http://www.libelium.com/downloads/documentation/smart\\_water\\_sensor\\_board.pdf](http://www.libelium.com/downloads/documentation/smart_water_sensor_board.pdf)>, 2015. p 28-31.

KLINGER-BOWEN, Ruth Ellen. *Testing your Aquaponic System Water: A Comparison of Commercial Water Chemistry Methods*. Center for Tropical and Subtropical Aquaculture. CTSA Hawái, USA. p 16.

DIVER, Steve. *Aquaponics Integration of Hydroponics with Aquaculture*. NCAT Agriculture specialist, 2006.

Waspote Plug & Sense, *Sensor Guide*. Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L. Version document v5.1. Junio 2015 [En línea] <[http://www.libelium.com/downloads/documentation/smart\\_water\\_sensor\\_board.pdf](http://www.libelium.com/downloads/documentation/smart_water_sensor_board.pdf)>, p 10-13, 80, 87, 90.

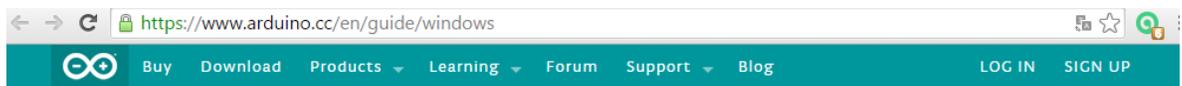
VANEGAS, Carlos Alberto. *Visual Basic y ASP.NET a su alcance Nivel Básico/Intermedio*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá. 2011.

*Arduino Lifetime*, Foro Electronics. [En línea] 2013 Disponible: <<http://electronics.stackexchange.com/questions/91025/arduino-lifetime>>

## 13. ANEXOS

**Anexo A. Documentación de los programas softwares utilizados:** usamos varios programas para nuestros requerimientos, estos son:

- **Arduino:** Usamos para el procesamiento de la información este programa, que tiene una plataforma de Hardware libre de la misma forma que su entorno de desarrollo, pues Arduino permite la descarga gratuita desde su página principal ([www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)).



*This document explains how to connect your Arduino board to the computer and upload your first sketch.*

- 1 | Get an Arduino board and USB cable
- 2 | Download the Arduino Software (IDE)
- 3 | Connect the board
- 4 | Install the drivers
- 5 | Launch the Arduino application
- 6 | Open the blink example
- 7 | Select your board
- 8 | Select your serial port
- 9 | Upload the program

El gestor de descarga del software Arduino nos permite instalarlo a través de su página principal, específicamente en: [www.arduino.cc/guide/windows](http://www.arduino.cc/guide/windows) dependiendo el sistema operativo que lleves instalado en el equipo.

Al final de la paginación de la página de Arduino, se explica los términos de licencia y de los ejemplos descargados junto con el programa de la siguiente forma:



You might also want to look at:

- the [examples](#) for using various sensors and actuators
- the [reference](#) for the Arduino language

The text of the Arduino getting started guide is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 License](#). Code samples in the guide are released into the public domain.

Share



- **Microsoft Visual Studio community:** este software aunque es de paga, se puede descargar y utilizar de forma gratuita para aplicaciones especificadas por Microsoft.



Estos derechos de uso del software están cobijados bajo unas normas específicas que se deben cumplir, si se hace a cabalidad, cualquier servicio o actualización del mismo se podrá hacer gratuitamente a excepción que tengan términos diferentes.

A continuación se muestra los requisitos pedidos por Microsoft para acceder al software.

Visual Studio Suscripciones a MSDN cristian camilo Cerrar sesión

Productos Características Descargas Noticias Soporte técnico Documentación Visual Studio gratuito

antes mencionado. Los términos también se aplican a cualquier servicio o actualización de Microsoft para el software, excepto en la medida que tengan términos diferentes.

**SI CUMPLE CON ESTOS TÉRMINOS DE LICENCIA, DISPONDRÁ DE LOS DERECHOS SIGUIENTES.**

**1. DERECHOS DE INSTALACIÓN Y DE USO.**

- a. **Licencia individual.** Si usted es una persona que trabaja en sus propias aplicaciones para fines de venta o con cualquier otro fin, puede utilizar el software para desarrollar y probar tales aplicaciones.
- b. **Licencias para organizaciones.** Si usted es una organización, sus usuarios pueden utilizar el software de la siguiente manera:
  - Cualquier número de usuarios puede utilizar el software para desarrollar y probar las aplicaciones de su propiedad lanzadas conforme a licencias de software de código abierto aprobadas concedidas por Open Source Initiative (OSI).
  - Cualquier número de usuarios puede utilizar el software para desarrollar y probar extensiones para Visual Studio.
  - Cualquier número de usuarios puede utilizar el software para desarrollar y probar las aplicaciones de su propiedad como parte de aprendizaje y educación del tipo en línea o presencial, o para fines de investigación académica.
  - Si ninguno de los usos antes mencionados es de aplicación, y usted tampoco es una empresa (se define más abajo), un máximo de cinco (5) usuarios individuales puede utilizar el software simultáneamente para desarrollar y probar las aplicaciones de su propiedad.

Visual Studio Suscripciones a MSDN cristian camilo Cerrar sesión

Productos Características Descargas Noticias Soporte técnico Documentación Visual Studio gratuito

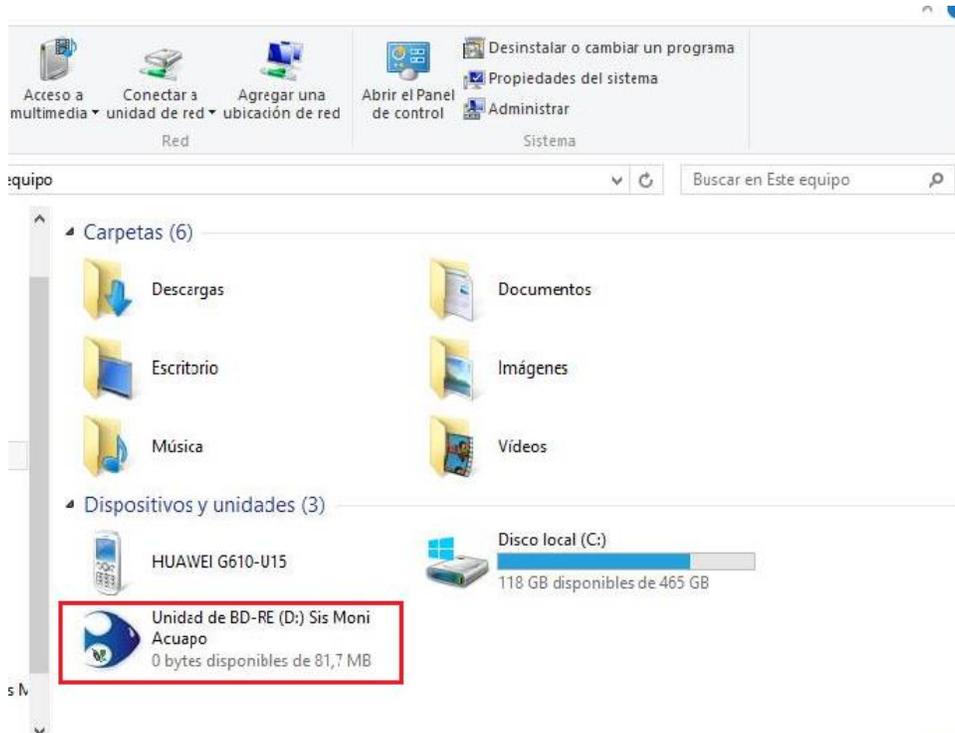
3. **CÓDIGO DISTRIBUIBLE.** El software contiene código que usted puede distribuir en las aplicaciones que desarrolle siempre que cumpla con los términos siguientes. (Para esta sección el término "distribución" quiere decir implementación de las aplicaciones a terceros que accedan a través de Internet).
  - a. **Derechos de Distribución.** El código y los archivos de texto que se indican a continuación son "Código Distribuible".
    - **Archivos REDIST.TXT.** Puede copiar y distribuir el formato del código objeto que figura en la lista REDIST ubicada en <http://go.microsoft.com/fwlink/?LinkID=523763&clcid=0x409>.
    - **Código de Ejemplo, Plantillas y Estilos.** Puede copiar, modificar y distribuir el formato del código fuente y el código objeto marcado como "ejemplo", "plantilla", "Estilos Simples" o "Estilos de Boceto".
    - **Biblioteca de Imágenes.** Puede copiar y distribuir imágenes y animaciones en la Biblioteca de Imágenes tal y como se describe en la documentación de software.
    - **Distribución por Parte de Terceros.** Podrá permitir que los distribuidores de sus aplicaciones copien y distribuyan el Código Distribuible como parte de dichas aplicaciones.

De igual forma se puede revisar en la página de Microsoft el soporte legal en: <https://www.visualstudio.com/support/legal/mt171547>.

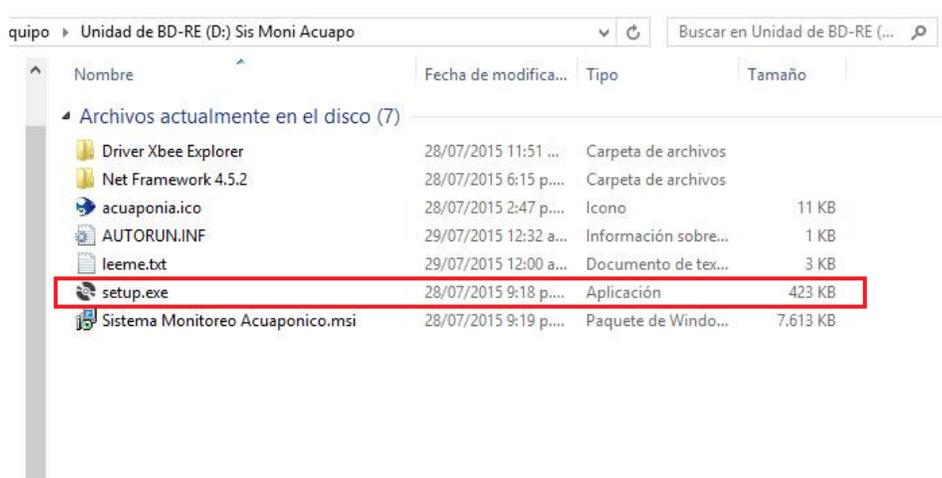
**Anexo B. Código de interfaz de usuario (Visual C#):** el programa compilable o ejecutable que se diseñó en Visual Studio Community, estará contenido en un CD aparte que será suministrado. De igual forma añadiremos el instalador offline de Net Framework 4.5.2.

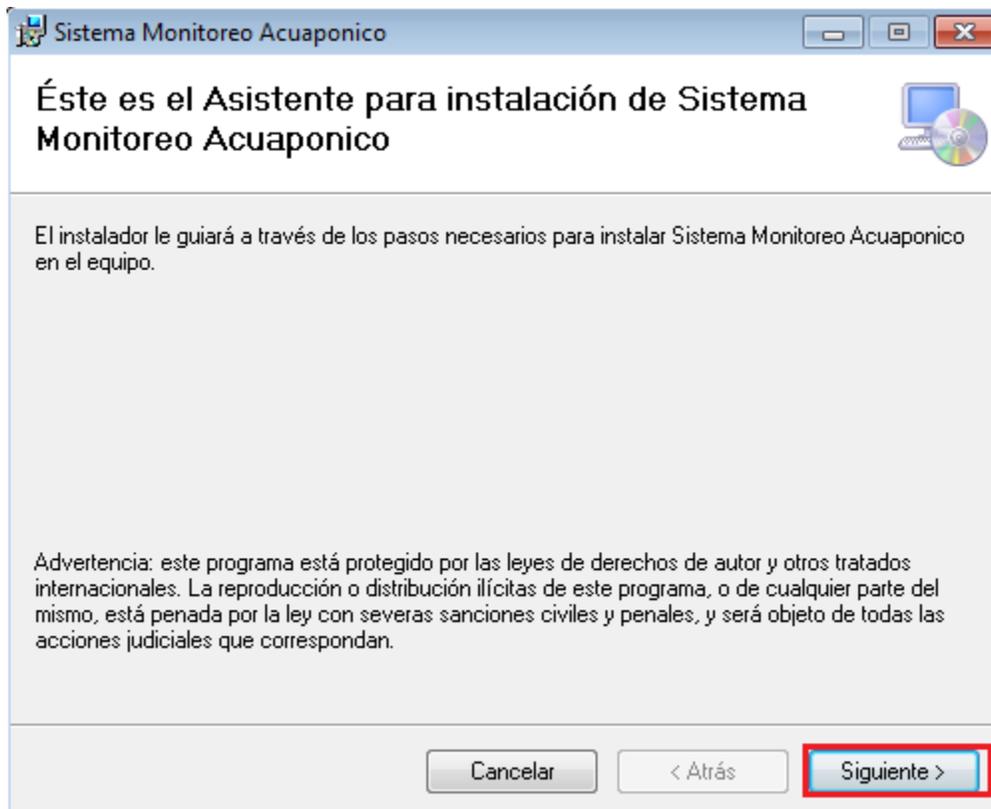
## Anexo C. Manual de instalación de la interfaz de usuario

Usamos el archivo ejecutable que vendrá indexado en el CD y seguimos la instalación. Este contendrá lo siguiente:

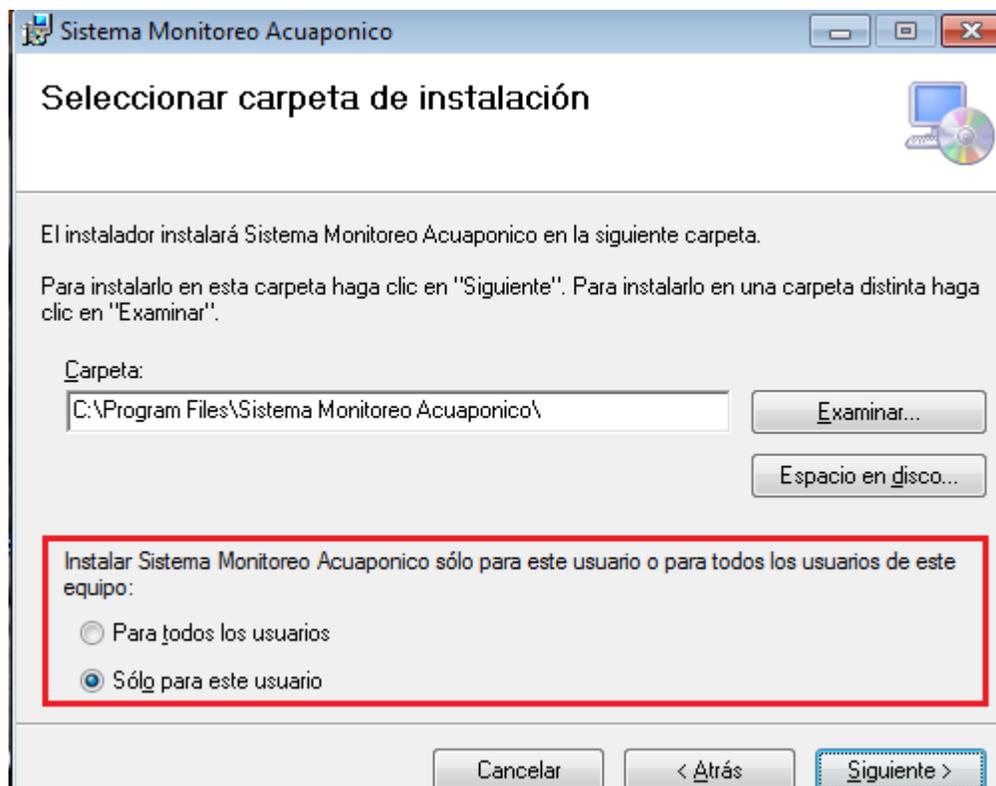


Aquí se observa el Programa, lo abrimos para iniciar su correcta instalación.





Seguimos las indicaciones necesarias, como se muestra enmarcado en color rojo.



Confirmamos la instalación y todos los archivos del programa inicializaran su correcta instalación.

Después podremos abrir sin dificultad la interfaz de usuario y se podrá monitorear el sistema, también cabe resaltar que para que el ordenador servidor pueda reconocer el módulo XBee PRO s2B y su protocolo ZigBee se debe instalar los drivers de dicho módulo, estos serán anexados en el CD para su instalación, cualquier inquietud en la instalación de algún elemento del sistema software, archivarémos un documento de nota llamado "Leeme.txt".

Para configurar de forma correcta cada módulo XBee, debemos recurrir a algún programa de comunicación para los puertos seriales de nuestro ordenador, elegimos el software X-CTU por sus mayores prestaciones y rapidez, inicializamos dicho programa con nuestros módulos conectados, debemos observar que el puerto "COM" este activado por el módulo XBee para su reconocimiento, seleccionamos el puerto al que está conectado nuestro modulo y seleccionamos el botón de Test/Query, este nos indicara que no existe falla en la conexión o en nuestra tarjeta XBee.

Como el módulo XBee "router" no tendrá otro trabajo que enviar datos, su acople al sistema de monitoreo es sencillo, a diferencia de su tarjeta homologa coordinadora, pues esta se debe configurar. A través de la pestaña "Modem Configuration" de nuestro programa (X-CTU) seleccionamos el botón "Read" y en el bocado de dialogo llamada "Function set" elegimos la opción "ZIGBEE COORDINATOR AT", se nos abrirá unas ubicaciones de archivos donde se encuentra dicho dispositivo, en una carpeta llamada "Networking", seleccionamos "ID-PAN ID" y establecemos un numero de valor permitido, recordemos que este número es el indicativo o identificación que deben tener todas las tarjetas XBee de la red. Vamos a la carpeta "Addressing" y en la opción "DH-Destination Address High" establecemos el valor SH del otro elemento de red (XBee). En la opción "DL-Destination Address low" establecemos el valor SL igualmente. Luego de esto vamos al botón "Write" y esperamos que el X-CTU termine la configuración por defecto.

La configuración del router es similar a lo anteriormente dicho a excepción que en "Function set" elegiremos la opción "ZIGBEE END DEVICE AT o ZIGBEE ROUTER AT" y cuando procedemos a poner el número de identificación usamos el de la tarjeta XBee coordinadora.

El dispositivo router quedara preparado y listo junto con su coordinador respectivo como se ve a continuación.

