



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO  
CHOTA DE LA COMUNIDAD DEL MISMO NOMBRE, UBICADA EN LA  
PARROQUIA DE AMBUQUÍ, EN EL CANTÓN IBARRA EN LA PROVINCIA DE  
IMBABURA.”**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA  
EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

**AUTORA: VICTORIA JACQUELINE CARABALÍ MÉNDEZ**

**DIRECTOR: MSC. JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN**

**Ibarra-Ecuador**

**2020**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	100353881-4		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Carabalí Méndez Victoria Jacqueline		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Ciudadela Municipal		
<b>EMAIL:</b>	vjcarabali@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	2653-005	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0968634407

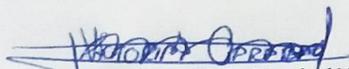
<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	“Diseño de un sistema de medición de la calidad del agua del Río Chota de la comunidad del mismo nombre, ubicada en la parroquia de Ambuquí, en el cantón Ibarra en la provincia de Imbabura”.
<b>AUTOR:</b>	Victoria Jacqueline Carabalí Méndez
<b>FECHA:</b>	08 de enero del 2020
<b>SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO</b>	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación
<b>DIRECTOR:</b>	Ing. Jaime Roberto Michilena Calderón, MSc.

## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los ocho días del mes de enero de 2020

### EL AUTOR:



Victoria Jacqueline Carabalí Méndez

C.I.: 1003538814



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CERTIFICACIÓN.**

MAGISTER JAIME MICHILENA, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA:

Que, el presente trabajo de Titulación “DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CHOTA DE LA COMUNIDAD DEL MISMO NOMBRE, UBICADA EN LA PARROQUIA DE AMBUQUÍ, EN EL CANTÓN IBARRA EN LA PROVINCIA DE IMBABURA” Ha sido desarrollado por la señorita Carabalí Méndez Victoria Jacqueline bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor de la verdad.

Ing. Jaime Michilena, MSc.

1002198438

DIRECTOR

### **Agradecimiento.**

*A Dios por darme la vida, salud, valentía, constancia y tenacidad necesarias para concluir con este proyecto de tesis, al igual que a mis padres por su cariño, confianza y apoyo incondicional brindado en todo momento.*

*Mil gracias a mi director de tesis Ing. Jaime Michilena MSc. por los conocimientos compartidos, paciencia y motivación para seguir adelante con la investigación, al igual que al Ing. Paúl Rosero MSc., y la Ing. Pamela Godoy MSc. por su guía y apoyo.*

*A todos los docentes de la carrera de ingeniería en electrónica y redes de comunicación por todo lo aprendido, experiencias y valores inculcados a lo largo de estos años que serán fundamentales para el desarrollo profesional futuro.*

*Agradezco infinitamente a la Comunidad del Chota y al presidente de esta por permitirme aportar información referente al río, patrimonio tangible y herencia de nuestros ancestros.*

*Por último, a mis amigos y compañeros de carrera por los momentos, ánimos y colaboración brindados en el transcurso de las materias tomadas.*

Victoria

**Dedicatoria.**

*A mis padres por sus enseñanzas, consejos, ejemplo de lucha y superación manifestados en todo momento, a mis hermanos por ser los cómplices en cada paso dado, a mis familiares por el apoyo, palabras de aliento y confianza manifestados, sin ustedes este proyecto jamás hubiera sido posible, finalmente dedico este proyecto a mi ángel guardián quien guía mi camino desde el cielo.*

## Índice.

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE .....	I
CERTIFICACIÓN.....	III
Agradecimiento.....	IV
Dedicatoria.....	V
Índice.....	VI
Índice de ilustraciones.....	IX
Índice de tablas .....	XIV
Resumen.....	XVI
Abstract.....	XVIII
Capítulo 1. Antecedentes .....	1
1.1. Tema.....	1
1.2. Problema.....	1
1.3. Objetivos .....	3
1.3.1. Objetivo general. ....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Alcance.....	4
1.5. Justificación.....	6
Capítulo 2. Marco teórico .....	7
2.1. Estado del arte .....	7
2.2. El Agua .....	11
2.2.1. Calidad del agua. ....	11
2.2.2. Consideraciones para realizar el análisis de la calidad del agua .....	12
2.2.3. Parámetros de la calidad del agua. ....	13
2.2.4. Propiedades fisicoquímicas del agua.....	13
2.2.5. Ríos o Cuencas hidrográficas. ....	19
2.3. Redes Inalámbricas .....	20
2.3.1. Ventajas del uso de redes inalámbricas. ....	21
2.3.2. Desventajas en las redes inalámbricas.....	21
2.3.3. Tipos de redes inalámbricas. ....	22
2.3.4. Tecnologías inalámbricas. ....	24
2.3.5. Comparativa de tecnologías inalámbricas. ....	27

2.4.	Microcontroladores.....	28
2.4.1.	Características de los microcontroladores.....	28
2.5.	Sensores.....	38
2.5.1.	Tipos de sensores.....	39
2.6.	Modelo en V.....	40
2.7.	Estándar ISO IEC IEEE 29148.....	42
Capítulo 3.	Diseño y construcción.....	43
3.1.	Análisis de requerimientos del sistema de medición de la calidad del agua del Río Chota.....	43
3.1.1.	Situación actual del Río Chota.....	43
3.1.2.	Encuesta.....	51
3.1.3.	Requerimientos.....	60
3.2.	Elección de hardware y software.....	64
3.2.1.	Elección de hardware.....	64
3.2.2.	Elección de software.....	76
3.3.	Diseño del sistema de medición de la calidad del agua del Río Chota.....	80
3.3.1.	Diagrama de bloques general del sistema.....	80
3.3.2.	Desarrollo de conexiones.....	82
3.3.3.	Desarrollo de calibración de los sensores.....	84
3.3.4.	Desarrollo de software del sistema (Programación).....	98
3.3.5.	Desarrollo de hardware.....	119
Capítulo 4.	Pruebas de funcionamiento y resultados.....	129
4.1.	Pruebas de hardware.....	129
4.1.1.	Prueba de acoplamiento de componentes.....	131
4.1.2.	Prueba de flote del sistema.....	132
4.1.3.	Prueba de duración de la batería.....	135
4.2.	Pruebas de aceptación.....	136
4.3.	Mediciones de parámetros de calidad del agua.....	140
4.3.1.	Medición de calidad del agua en condiciones normales.....	140
4.3.2.	Medición de calidad del agua en condiciones adversas.....	142
4.3.3.	Medición de calidad del agua luego de ser usada por comuneros.....	144
4.4.	Factibilidad del proyecto.....	146
4.4.1.	Costo del proyecto.....	147
4.4.2.	Beneficios del sistema.....	148
Capítulo 5.	Conclusiones y recomendaciones.....	150
5.1.	Conclusiones.....	150
5.2.	Recomendaciones.....	151
BIBLIOGRAFÍA.....		153
Glosario de Términos y Acrónimos.....		159
Anexos.....		164

Anexo A. Programación script IDE de Arduino para la conversión de datos análogos a valores de voltaje .....	164
Anexo B. Programación script IDE de Arduino para la recolección de datos de los sensores	165
Anexo C. Programación de script de Python para recibir los datos mediante serial desde Arduino.	178
Anexo D. Programación para la calibración del sensor de ORP en el IDE de Arduino	180
Anexo E. Base de datos recolectados en el desarrollo del proyecto .....	183
Anexo F. Encuesta dirigida a los comuneros para determinar las pruebas de aceptación:	194

## Índice de ilustraciones

fig. 1: Tipos de redes inalámbricas .....	23
fig. 2: Control de temperatura de un horno.....	28
fig. 3: Arduino Yun.....	30
fig. 4: Arduino Leonardo .....	32
fig. 5: Raspberry pi .....	33
fig. 6: Placa Waspmote .....	34
fig. 7: Placa mangOH.....	35
fig. 8:Placa TSmote.....	37
fig. 9: Placa TSgaTe.....	37
fig. 10: Modelo en V.....	41
fig. 11: Comunidad El Chota .....	44
fig. 12: Ubicación de la Comunidad El Chota .....	45
fig. 13: Río Chota.....	46
fig. 14: Moradores de la comunidad en el Río Chota .....	48
fig. 15: Rafting en el Río Chota .....	49
fig. 16: Crecida del río en mayo del 2011.....	49
fig. 17: Agentes que contaminan el Río chota a) Basura b) Aguas servidas .....	50
fig. 18: Resultados de la pregunta 1 de la encuesta .....	54
fig. 19: Resultado de la pregunta 2 de la encuesta .....	55
fig. 20: Resultado de la pregunta 3 de la encuesta.....	56
fig. 21: Resultado de la pregunta 4 de la encuesta.....	57
fig. 22: Resultado de la pregunta 5 de la encuesta.....	57

fig. 23: Resultado de la pregunta 6 de la encuesta.....	58
fig. 24: Resultado de la pregunta 7 de la encuesta.....	59
fig. 25: Resultado de la pregunta 8 de la encuesta.....	59
fig. 26: Elementos del Raspberry pi 3B +.....	66
fig. 27: Sensor de pH .....	68
fig. 28: Sensor de temperatura .....	70
fig. 29: Sensor de ORP.....	72
fig. 30: Sensor de turbidez .....	73
fig. 31: Módulo SIM900 GSM.....	75
fig. 32: Diagrama de bloques general del sistema .....	81
fig. 33: Diagrama circuital del sistema .....	83
fig. 34: Conexión entre sensor de pH y Arduino .....	85
fig. 35: Diagrama de flujo para transformar valores análogos de los sensores a voltaje.....	86
fig. 36: Conexión del módulo del sensor de pH en neutro.....	87
fig. 37: Captura del voltaje impreso en el monitor serie del IDE de Arduino al poner en neutro el módulo de pH.....	87
fig. 38: Soluciones de pH utilizadas en el proyecto.....	88
fig. 39: a) Captura del voltaje impreso en el monitor serie del IDE de Arduino b) Sonda sumergida en solución con pH= 4.01.....	89
fig. 40: a) Captura del voltaje impreso en el monitor serie del IDE de Arduino b) Sonda sumergida en solución de pH= 6.86.....	89
fig. 41:a) Captura del voltaje impreso en el monitor serie del IDE de Arduino b) Sonda sumergida en solución de pH=9.18.....	90

fig. 42: Conexión entre el Arduino y el Sensor de turbidez..... 92

fig. 43: Captura del voltaje entregado por el sensor de turbidez al estar fuera del agua ..... 93

fig. 44: Gráfica de la relación entre voltaje y turbiedad ..... 93

fig. 45: Conexión entre el sensor de temperatura y Arduino ..... 94

fig. 46: Conexión entre el Arduino y sensor de ORP ..... 96

fig. 47: Botón de calibración del sensor de ORP ..... 97

fig. 48: Captura del valor de ORP impreso al presionar el botón de calibración ..... 97

fig. 49: Diagrama de flujo para describir el funcionamiento del sistema ..... 100

fig. 50: Captura de la ecuación para transformar de valor análogo a pH en el IDE de Arduino 101

fig. 51: a) Captura de valores de pH impresos en el monitor serie de Arduino b) Sonda sumergida en agua con solución de pH= 6,86..... 102

fig. 52: a) Captura de pH impreso en el monitor serie de Arduino b) sonda de pH sumergida en agua con solución de pH= 9,18..... 102

fig. 53: Captura del pH medido en agua potable e impreso en el monitor serie del IDE de Arduino ..... 103

fig. 54: Captura de la ecuación para transformar de valores análogos a valores NTU en el IDE de Arduino ..... 103

fig. 55: Captura de la ecuación para transformar valor análogo a valores de temperatura (°C) en el IDE de Arduino..... 104

fig. 56: Captura de la ecuación para convertir de valor análogo a mV escrita en el IDE de Arduino ..... 104

fig. 57: Configuración de velocidad para el envío de datos del módulo SIM900 en el IDE de Arduino ..... 105

fig. 58: Programación en el IDE de Arduino para el envío de mensajes de texto de alerta al usuario.....	105
fig. 59: Librerías usadas para recibir datos desde el Arduino en Python.....	106
fig. 60: Configuración de velocidad de recepción de datos por serial en el software Python ....	106
fig. 61: Línea de código útil para solicitud de valores al Arduino por medio del software Python .....	106
fig. 62: Código para conectarse a la base de datos desde el software Python y subir la información .....	107
fig. 63: Valores medidos por sensores almacenados en la base de datos .....	108
fig. 64: Diagrama de conexión inalámbrica entre usuarios y el servidor del Raspberry .....	109
fig. 65: Captura de valores de variables impresos en el monitor serie de Arduino .....	112
fig. 66: Impresión de datos recibidos desde Arduino en la consola del Raspberry .....	113
fig. 67: Acceso a la base de datos por el usuario .....	115
fig. 68: Visualización de la base de datos por el usuario .....	116
fig. 69: Impresión de los valores de pH fuera del límite en el monitor serie de Arduino y envío de mensaje de texto.....	117
fig. 70: Mensaje de texto de alerta recibido por el presidente .....	118
fig. 71: Diagrama de bloques de los componentes del sistema.....	119
fig. 72: Banco de baterías.....	121
fig. 73: Diseño de placa para ubicar los módulos de los sensores .....	123
fig. 74: Vista superior de la placa con módulos de los sensores.....	124
fig. 75: Montaje del circuito contenedor de módulos de los sensores en el diseño .....	125
fig. 76: Acople de Arduino y módulo sim900 en diseño .....	126

fig. 77. Montaje del Raspberry en el modelo.....	127
fig. 78: Montaje de la batería en el modelo .....	127
fig. 79: Prototipo final.....	128
fig. 80: Sistema de medición de la calidad del agua.....	131
fig. 81: Ubicación del Río Chota .....	133
fig. 82: Lugar de medición donde se ubica el sistema .....	133
fig. 83: Prototipo ubicado en el lugar de medición.....	134
fig. 84: a) Usuarios visualizando la información almacenada en la Base de datos b) Base de datos que observan los comuneros .....	137
fig. 85: Usuarios interactuando con el sistema .....	137
fig. 86: Captura de la base de datos que observan los comuneros en su dispositivo celular .....	138
fig. 87: Medición de valores en agua previamente usada por los comuneros.....	144

## Índice de tablas

Tabla 1: Tipo de agua y conductividad.....	15
Tabla 2: Valores permitidos de parámetros físico- químicos para el agua potable .....	18
Tabla 3: Características de las tecnologías inalámbricas .....	27
Tabla 4: Características del Leonardo ETH.....	32
Tabla 5: Características de la placa de waspmote.....	34
Tabla 6: Tipos de sensores .....	39
Tabla 7: Nivel de confianza y su valor k .....	52
Tabla 8: Valores a reemplazar en la ecuación 1 para determinar la muestra.....	53
Tabla 9: Stakeholders del proyecto.....	60
Tabla 10: Nomenclatura de los requerimientos .....	61
Tabla 11: Requerimientos de los actores .....	61
Tabla 12: Requerimientos funcionales.....	62
Tabla 13: Requerimientos de arquitectura .....	63
Tabla 14: Elección de la placa de procesamiento .....	65
Tabla 15: Elección de sensor de pH.....	67
Tabla 16: Elección de sensor de temperatura .....	68
Tabla 17: Elección del sensor de ORP.....	70
Tabla 18: Elección del sensor de turbidez .....	72
Tabla 19: Elección del módulo de comunicaciones.....	74
Tabla 20: Elección del entorno de programación .....	76
Tabla 21: Elección del gestor de base de datos.....	78
Tabla 22: Valores de pH de cada solución con su respectivo voltaje.....	90

Tabla 23: Pruebas de software .....	110
Tabla 24: Pruebas de funcionamiento de los sensores.....	111
Tabla 25: Prueba de recepción de datos en Python.....	113
Tabla 26: Pruebas de la base de datos.....	114
Tabla 27: Pruebas de envío y recepción de mensajes .....	117
Tabla 28: Consumo de corriente de los elementos .....	120
Tabla 29: Cronograma de pruebas de funcionamiento del sistema .....	130
Tabla 30: Pruebas físicas del dispositivo .....	132
Tabla 31: Pruebas del sistema en el Río Chota.....	134
Tabla 32: Pruebas de la batería .....	135
Tabla 33: Pruebas de aceptación.....	139
Tabla 34: Rangos permitidos por la OMS para agua usada en labores cotidianas .....	140
Tabla 35: Medición de parámetros de calidad del agua.....	141
Tabla 36: Medición de calidad del agua en río corrientoso y con algunos sedimentos.....	143
Tabla 37: Mediciones de calidad del agua luego de las labores realizadas por los comuneros..	145
Tabla 38: Costo del sistema .....	147

## **Resumen.**

El agua es el líquido vital de los seres humanos ya que su cuerpo se encuentra formado por el 60% de este elemento y forma parte de algunas labores del día a día de estos, por lo que conocer la calidad que posee es fundamental para tomar decisiones sobre usarla o no. Se describe a continuación el diseño de un sistema que mide parámetros fisicoquímicos que revelan el buen o mal estado del agua del río Chota.

Para llevar a cabo el diseño del sistema se usan sensores análogos que sirven para medir temperatura, ORP, pH y turbidez del agua, con los cuales se logran tomar datos directamente en el Río Chota debido a que es posible sumergirlos ya que son impermeables. Una vez captados los datos se los transmite al microcontrolador Arduino donde son convertidos a la unidad correspondiente e inmediatamente enviados al microcontrolador Raspberry por medio de los seriales y recibidos en el software Python. Una vez que los datos se encuentran en el Raspberry son almacenados en la base de datos para ser analizados por los comuneros. En el caso de que las variables sobrepasen los rangos aceptables de medición, se emplea el módulo SIM900 para el envío de mensajes de texto de alerta para el presidente de la comunidad del Chota, el cual es el encargado de informar a los moradores sobre el riesgo de consumir el agua en dichos casos.

Las pruebas de funcionamiento del sistema se enfocaron en evaluar la correcta operación de los sensores para que midan las variables correspondientes, también se evaluó la solicitud y respuesta de los valores medidos entre el Raspberry y el Arduino, además del almacenamiento de la información en la base de datos; las pruebas físicas que se refieren al flote, impermeabilización y protección del dispositivo fueron realizadas en el río Chota juntamente con los moradores de la comunidad y el presidente de la misma, las cuales permitieron verificar la efectividad del proyecto,

además de cumplir con el objetivo de mantener informada a la comunidad acerca del agua que a diario usan.

El sistema de medición de la calidad del agua del río Chota reveló que el agua en condiciones climáticas favorables, es decir, ausencia de lluvias en comunidades altas, se encuentra en buen estado para las actividades domésticas que en él se realizan como lavar ropa y platos, así como también para actividades recreativas, pero para el caso de la ingesta se recomienda no usarla.

**Abstract.**

The water is essential for human beings as their bodies are composed by 60% of this fluid. Also, it is employed for different human activities, for that reason is important to know its quality in order to make good decisions before using it. In this research the design of a system that measures chemical and physical parameters to know if the water of the river is "good or bad" is described.

To design the system waterproof analog sensors. When the sensors are submerged into the water of "Chota" River is possible to measure the temperature, ORP, Ph, and water turbidity. These data go to an Arduino microcontroller where it is transformed to the corresponding unity and then it is sent through a serial to a Raspberry microcontroller where is received by Python Software.

Once the data is in Raspberry, it is stored in the database to be analyzed by the community people. When the variables are over the acceptable measurement range, the module SIM900 must be employed to send alert messages to the president cellphone. The president is appointed to inform on the inhabitants about the risk of consuming the water in those cases.

The assessment of the system was focused in the correct operation of sensors to measure the corresponding variables. The request and response by Arduino and Raspberry microcontrollers. Additional to the stored data, the physic test concerning to float, waterproof, and protection of the devise were made in the "Chota" River with the presence of the community people and their president. They allowed the verification of the efficiency of the project and accomplishing the objective of having the people of the community informed regarding the water they use on a daily basis.

The water quality's measurement system of the water in the "Chota" River has shown that the water is in perfect condition for domestic activities such as washing clothes or dishes and recreational activities, but it is strictly not recommended for human consumption!

Vicente Ochoa  
[Handwritten signature]



## **Capítulo 1. Antecedentes**

En el capítulo 1 se habla acerca de los fundamentos que demuestran la importancia del diseño de un sistema de medición de la calidad del agua del río Chota que se resumen en los siguientes ítems: tema, problema, objetivo general y objetivos específicos, alcance y justificación.

### **1.1.Tema**

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CHOTA DE LA COMUNIDAD DEL MISMO NOMBRE, UBICADA EN LA PARROQUIA DE AMBUQUÍ. EN EL CANTÓN IBARRA EN LA PROVINCIA DE IMBABURA”.

### **1.2.Problema**

La comunidad del Chota ubicada en la provincia de Imbabura en el cantón Ibarra cuenta con aproximadamente 800 habitantes, divididos en familias numerosas conformadas por personas de todas las edades y géneros, quienes poseen agua potable y alcantarillado de calidad proporcionado por la empresa EMAPA-I, pero que en caso de desastres naturales como inundaciones y deslaves, las tuberías de agua presentan averías desencadenando una serie de inconvenientes para los moradores del sector como es la escasez de agua por días prolongados, por lo cual los mismos deben recurrir al Río de la comunidad para realizar actividades relacionadas con este líquido vital, “como son el aseo personal, lavada de ropa y utensilios de cocina, hidratación, preparación de alimentos”(SUIA, 2016), sistemas de riego pues “el Río Chota, que riega la fértil hoya del mismo nombre, se constituye como la única fuente hídrica que abastece al Canal de Riego Ambuquí” (Llore Guerrero & Rodríguez Nogales, 2010); todo ello sin conocer a profundidad el buen estado del agua.

Según la Organización Mundial de la Salud, “casi 3 millones y medio de personas, en su mayoría niños y niñas, mueren cada año de enfermedades relacionadas con el agua, como la malaria, la diarrea, los parásitos, la hepatitis A, el cólera, entre otras” (Ministerio de Salud Pública, 2016).

Se puede identificar que existen dos tipos de necesidades relevantes, en lo que concierne a los problemas del Río Chota, como son: la contaminación producida por los sectores aledaños que “en las cuencas de los ríos Carchi y Alto Mira se han detectado ciertos manantiales de aguas termales que constituyen pequeños focos de contaminación natural, los que pueden tener importancia si dichos caudales se mezclan con los de los cauces naturales en períodos de estiaje”(OAS, 2006), además del desbordamiento de Ríos “con máximas precipitaciones en los meses de Junio a Septiembre” (Almeida, 2014).

Este proyecto propone elaborar el diseño de un sistema, que permita realizar las funciones de medición de la calidad del agua que incentive el uso adecuado del líquido vital y la concientización acerca de la contaminación de los ríos a los moradores de la comunidad y a extraños.

Las condiciones actuales enfocadas en la calidad del agua del Río Chota, no se encuentran en un estado urgente en el área de regadío debido a que “el agua va de blanda a moderadamente dura hacia el valle del Chota, siendo bicarbonatada- Cálcica con equilibrio ácido alcalino, lo cual determina que se encuentra en buen estado para esta área, no así para el consumo pues existe una tendencia de contaminación por la presencia de fosfato (PO<sub>4</sub>), lo cual indica procesos de contaminación”(INAMHI, 2010). Sin embargo, para llegar a la meta planteada según la OMS en lo referente a la calidad de vida de los individuos, se vuelve

necesaria la búsqueda de una alternativa que prevenga a la sociedad en general acerca de la calidad del agua que usan los comuneros para actividades del consumo diario.

### **1.3.Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general.**

Diseñar un sistema de medición de parámetros físicos y químicos que ayuden a determinar la calidad del agua del Río Chota mediante el uso de sensores y microcontroladores con la finalidad de alertar a los pobladores del sector sobre el agua que se utiliza.

#### **1.3.2. Objetivos específicos.**

Analizar las bases bibliográficas que permitan realizar un adecuado diseño del sistema de medición de la calidad del agua.

Determinar los sensores más apropiados para la toma de datos que establezcan el buen estado de las aguas.

Diseñar un sistema de medición de la calidad del agua en base a los elementos seleccionados que permitirá a la comunidad visualizar datos que determinen la calidad del agua del Río.

Realizar las pruebas de funcionamiento generales y específicas de cada una de las áreas del proyecto.

Establecer la factibilidad del proyecto de acuerdo con las conclusiones y recomendaciones obtenidas después de la realización de pruebas correspondientes.

#### **1.4.Alcance**

El proyecto brindará inicialmente información acerca de la calidad del agua de los Ríos y antecedentes en específico del Río Chota, además del estudio acerca de las propiedades físicas y químicas con las que se logra determinar el buen estado del agua.

Para el presente trabajo de investigación se pretende diseñar un sistema capaz de medir la calidad del agua del Río Chota de la comunidad del mismo nombre, el cual permitirá a la población del lugar mantenerse informada acerca del estado del agua que utilizan para diversas actividades y alertar a los moradores de la comunidad y a extraños para prevenir posibles problemas a futuro como enfermedades por utilizar agua no apta para el consumo humano; todo esto por medio del análisis acerca de los sistemas embebidos que existen en el mercado con software libre lo cual contribuye con la realización del presente proyecto.

Un punto importante que tomar en cuenta, debido a que el sistema funcionará estando en el agua, es la necesidad de proteger los componentes ante cualquier ingreso de líquido para evitar posibles daños en los componentes. En cuanto a la alimentación del sistema se realizarán las investigaciones necesarias para determinar la opción que mejor se adapte a los requerimientos del sistema, pues en este caso la duración de esta es un punto fundamental ya que de ella depende el buen funcionamiento del sistema en general.

Además, se realizará el análisis del hardware a usar mediante un análisis comparativo de los principales dispositivos y sus versiones más recomendables, la cantidad de procesamiento, costo, características generales.

Se realizará un análisis benchmarking acerca de los diferentes sensores existentes en el mercado que permitan la medición del pH, la temperatura y el nivel de oxígeno disuelto en el agua.

En cuanto al software libre, se evaluarán las distintas herramientas disponibles que permitan el desarrollo adecuado de la programación del sistema de medición; de acuerdo con las características de cada uno de los sistemas de software analizado se determinará el software óptimo a usar, es decir el que mejor se adapte a los requerimientos del sistema.

“Es importante destacar que, el uso de programas está limitado por su procesador y la cantidad de espacio de almacenamiento que brinda su memoria RAM” (Desarrollo Web, 2015). Es por ello por lo que se deben considerar detalladamente los requerimientos del sistema.

El lugar donde se ubicará el dispositivo será determinado mediante el análisis de campo respectivo, “tomando en cuenta consideraciones específicas como el curso general del río, orillas permanentes, entre otros”(IDEAM, 2011).

El sistema por realizar pretende apuntar a la disponibilidad de la información al permitir a la comunidad o interesados en general ver los datos y determinar las acciones pertinentes de acuerdo con los datos obtenidos.

Las pruebas se realizarán directamente en el área de estudio la cual es el Río Chota en un tiempo estimado de dos horas continuas, para determinar la calidad en la recepción, procesamiento y envío de los datos.

Finalmente se elaborarán conclusiones y recomendaciones acerca del desarrollo del proyecto y de los resultados obtenidos.

## 1.5. Justificación

El presente proyecto se realiza, con el fin de diseñar un sistema de medición de la calidad del agua del Río Chota que ayude a los moradores del sector a mantenerse informados y alertas ante cualquier dato recogido.

La necesidad de llevar a cabo este proyecto es debido a que, hasta el momento no se han desarrollado sistemas que permitan determinar la calidad del agua del Río Chota, lo cual puede ser de mucho riesgo para las personas que hacen uso de ella para diversas actividades.

“En los últimos años el Río ha presentado contaminación de nivel medio por los sectores aledaños”(INAMHI, 2010), por lo que es de gran importancia alertar a las personas acerca de los grados de contaminación que el mismo presenta con la finalidad de reducir el consumo o dar sugerencias para evitar la profanación de la limpieza del agua.

Existen sistemas de medición de este tipo que se han implementado en diferentes ríos y otros que debido a su costo no han sido mayormente utilizados, pero la opción que se plantea realizar en este proyecto de tesis no únicamente servirá como un sistema de medición, sino que también logrará concientizar a la población acerca del uso del agua y alertarla.

## Capítulo 2. Marco teórico

El presente capítulo muestra el sustento teórico que permite esclarecer los temas más importantes del proyecto, empezando por un análisis de los proyectos ya realizados relacionados con el área de estudio, seguido de una definición del agua y de la calidad de esta con sus propiedades, haciendo énfasis en parámetros físicos y químicos; también se habla acerca de los ríos con sus características, corrientes de la zona 1, y del Río Chota en específico. Este capítulo además presenta una definición de las redes inalámbricas, a la vez que describe los microcontroladores, sus clases existentes en el mercado, la definición de los sensores y sus tipos, mencionando aquellos que ayudan a la medición de la calidad del agua, además de una explicación rápida del modelo que se usará para el desarrollo de la investigación, el modelo en V y el estándar IEEE 29148.

### 2.1. Estado del arte

El sistema por diseñar para la medición de la calidad del agua del Río Chota se compone de cuatro áreas de desarrollo: toma de datos, control y procesamiento, comunicaciones y almacenamiento de la información, por medio del uso de diferentes dispositivos y tecnologías. En relación con ello, existen algunos proyectos con los que se ha logrado un avance en el área del conocimiento, a través del uso de diversos métodos para abordar cada situación.

Un claro ejemplo de ello es el análisis realizado en el Río Quero, que según María Ernestina Tirado Gavilanes, la autora de este proyecto realizado en 2015, tuvo como objetivo implementar un prototipo de la red inalámbrica de sensores para el monitoreo de la calidad del agua de la microcuenca del río, para lo cual empleó el microcontrolador ATXmega128A como dispositivo de tratamiento de la información, módulos XBee para las comunicaciones y

sensores de pH, potencial de óxido reducción (ORP) y de oxígeno disuelto (DO) para la toma de datos.

María, tras la implementación del prototipo, concluye que el agua del Río Quero no se encuentra en estado óptimo para el consumo humano, pues presenta niveles de ORP y DO fuera de los rangos establecidos de calidad de agua.

Otro proyecto de investigación que se ha realizado es el de Albarracín y Contero que se refiere al desarrollo de un prototipo de red inalámbrica sensorial implementada con la tecnología Zigbee para monitorización de la calidad del agua, que, según las autoras de esta tesis, realizada en el 2012, tuvo como objetivo el diseño de una red de sensores que permitan el monitoreo de la calidad del agua en la planta de tratamiento de aguas residuales del Instituto Tecnológico de estudios superiores de Monterrey. Las etapas de desarrollo del proyecto fueron la fase de instrumentación, creación de la red inalámbrica y el desarrollo de la interfaz de usuario. Los sensores usados para la medición de la calidad del agua en este caso fueron el de pH, oxígeno disuelto y temperatura, con un módulo Zigbee para las comunicaciones. Para el desarrollo de la interfaz las autoras mencionan que se hizo uso de Labview<sup>TM</sup> la cual permite la visualización de los datos, presentación de alarmas y gráficas; además de presentar un registro histórico de datos por fecha y hora permitiendo generar alertas en caso de que haya contaminación en el agua. Ana Belén y Daysi, después de terminar la investigación concluyen que su proyecto ha sido factible de implementar, además indican que el prototipo construido es más eficaz que los procesos que antes se realizaban, pues ahora, con su dispositivo, las mediciones de los parámetros de calidad del agua son mucho más confiables y seguras.

Es importante mencionar también que la empresa GMV, en el proyecto realizado en el año 2017, hace uso de los avances tecnológicos en cuanto al internet de las cosas para el

monitoreo de la calidad de las aguas del azud del Río Guadalete por medio de sensores que miden el pH, el oxígeno disuelto o la conductividad, permitiendo la obtención de información en cualquier momento y de manera remota. Este es un proyecto que apunta al ahorro energético ya que la activación de los sensores sucede en el momento en que se requieren los datos, permitiendo un consumo de energía y de comunicaciones mínimo. Esta empresa también evita que los usuarios tengan la necesidad de estar directamente en el lugar para la recalibración de los equipos ya que ello se realiza de manera remota. Además, para las comunicaciones, hace uso de redes SIGFOX que son de banda ultra ancha y facilita la conexión de objetos de manera más sencilla. El líder del proyecto, Ángel Cristóbal Lázaro, concluye que este es un proyecto de coste reducido y de eficacia similar a la de otros sistemas que permiten la monitorización remota de la calidad de las aguas.

Otro de los estudios realizados en el área es el diseño del sistema electrónico para la medición de los parámetros de calidad de agua sobre el Río Cauca en la red automática de monitoreo de la CVC que según el autor, Daniel Andrés Torres Trujillo en su investigación del 2009, se planteó como objetivo diseñar el modelo del sistema de recolección, procesamiento y transmisión de datos de las estaciones automáticas de calidad de agua de la CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca), además del establecimiento de las condiciones para la medición de los parámetros de calidad del agua como son el pH, el oxígeno disuelto, la turbidez, la temperatura y la conductividad. Daniel, para llevar a cabo estos objetivos hizo uso de la técnica de recolección de datos históricos sobre la calidad del agua para el posterior análisis y determinación del software y hardware adecuado para el caso. Daniel menciona que para el diseño del prototipo se han realizado cuatro bloques: el de alimentación, el de adquisición de información, el de transmisión de datos vía satélite hacia el área de control de la CVC y la red de sensores.

Al final de la investigación, Daniel concluye que, “con el desarrollo del proyecto logró diseñar el sistema electrónico para la medición de calidad de agua para las estaciones automáticas de la CVC, sobre una arquitectura de red maestro/esclavo a partir de una red de subsistemas (Sistema de Adquisición de Datos, Sistema de Transmisión de Datos y Red de Sensores), de procesamiento, transmisión y adquisición interconectados entre sí sobre un bus de campo para la determinación de los parámetros de calidad de agua, arrojando como resultados un diseño modular redundante de información” (Torres Trujillo, 2009).

La empresa PANATEC, SL es una empresa que brinda sistemas o dispositivos de medición en continuo en aplicaciones hidrológicas, que permiten el control de diversos parámetros fisicoquímicos como el pH, la conductividad, la turbidez, oxígeno disuelto, entre otros, para la determinación de la calidad del agua. Las mediciones pueden ser realizadas en ríos, aguas superficiales, o subterráneas, embalses, redes de distribución, etc. PANATEC hace uso de tecnologías como GSM/GPRS, vía Internet o enlaces de radio o por satélite para transmitir información hacia la estación central de manera automática. En caso de que los valores receptados alcancen puntos límite, se realiza el envío de mensajes SMS o de correo electrónico con la finalidad de alertar a los usuarios de algún inconveniente y prevenirlos.

Otro ejemplo es la investigación realizada en el 2008, por los autores: Cristian Correa y Rubén Ruíz que tuvo como objetivo “desarrollar e implementar una red de sensores inalámbrica para la estimación in situ de caudales mediante estaciones de aforo en una red de distribución de agua de riego” (Correa & Ruíz, 2008), pero en este caso hacen la medición únicamente del caudal de las aguas (pueden incluirse más sensores) y posteriormente transmiten los datos mediante protocolo Zigbee o FHSS (de largo alcance) para después ser almacenada en una base de datos y posteriormente visualizada por los usuarios. Los autores del proyecto de investigación concluyen que los sensores usados muestran robustez, y las

comunicaciones también, además indican que este sistema presenta usabilidad, rapidez y accesibilidad.

Una vez analizados los desarrollos ya existentes relacionados con el área de estudio a continuación, se habla de la definición del agua y de la importancia de esta para los seres humanos en relación con el uso que le brindan, además del estudio de calidad de esta según la OMS y también de los parámetros que se usan para determinar la calidad del agua.

## **2.2. El Agua**

Es el líquido vital de los seres vivos y de la tierra que se encuentra conformada por las tres cuartas partes de ella, también de este fluido dependen un sin número de actividades que a diario realizan los seres humanos en muchas industrias y en el hogar. Además “el cuerpo humano tiene un 75% de agua al nacer y cerca del 60% en la edad adulta” (Iglesias Rosado et al., 2011), es por ello que se debe garantizar su calidad mediante diversos procesos de purificación y saneamiento.

### **2.2.1. Calidad del agua.**

“El agua es esencial para la vida. La cantidad de agua dulce existente en la tierra es limitada, y su calidad está sometida a una presión constante. La conservación de la calidad del agua dulce es importante para el suministro de agua de bebida, la producción de alimentos y el uso recreativo. La calidad del agua puede verse comprometida por la presencia de agentes infecciosos, productos químicos tóxicos o radiaciones” (Organización Mundial de la, 2018). Calidad del agua hace referencia a las características fisicoquímicas, biológicas y radiológicas que posee el agua, lo cual dependiendo del uso que se le dé puede estar apta o no apta para ser usada como por ejemplo para la crianza de peces un tipo de agua puede encontrarse en óptimas

condiciones, pero no así para las tareas del hogar y menos aún para el consumo humano; en cambio un agua totalmente apta para consumirse por las personas puede no ser idónea para la vida de los peces. A continuación, se detallan las consideraciones a tomar en cuenta para realizar el análisis de la calidad del agua.

### **2.2.2. Consideraciones para realizar el análisis de la calidad del agua**

Para realizar el análisis de calidad del agua se deben tomar en cuenta diferentes aspectos ya que con un único valor el criterio de calidad del agua no sería apropiado, para ello, según la OMS se deben efectuar los siguientes análisis:

- Análisis Microbiológicos que incluyen además de la presencia de microorganismos la detección de Coliformes fecales y *Escherichia coli*.
- Análisis Físicos y Químicos que incluyen parámetros como Nitratos, Nitritos, Hierro, pH, turbidez, absorbancia, Arsénico y otros elementos que pueden afectar la salud pública o ambiental.
- Análisis Estéticos que incluyen parámetros que provoquen que los consumidores rechacen el agua (sólidos totales disueltos, temperatura, sabor, color, olor y salinidad del agua).

A continuación, se analizan las propiedades fisicoquímicas que sirven para determinar la calidad del agua:

### **2.2.3. Parámetros de la calidad del agua.**

Existen diversos parámetros fisicoquímicos que ayudan a determinar la calidad del agua e indican si el líquido es apto para ser ingerido o no. Entre ellos se puede mencionar la turbidez, la temperatura, el pH, oxígeno disuelto, conductividad, entre otros.

### **2.2.4. Propiedades fisicoquímicas del agua.**

Son aquellas características físicas o químicas que posee el agua y en conjunto permiten construir o emitir un criterio acerca de la calidad del agua.

#### ***2.2.4.1. Propiedades Físicas.***

Son aquellas que permiten determinar el estado actual de un elemento, se obtienen como resultado de las propiedades químicas y de la estructura de este, son medibles y no alteran la composición.

##### ***2.2.4.1.1. Temperatura.***

“La temperatura de un agua se establece por la absorción de radiación en las capas superiores del líquido, estando ligada a la energía cinética media de sus moléculas. Las variaciones de temperatura afectan a la solubilidad de sales y gases en agua y, en general, a todas sus propiedades, tanto químicas como a su comportamiento microbiológico” (Marín Galvín, 2014).

#### 2.2.4.1.2. *Viscosidad del agua.*

Su unidad es el Poise ( $1\text{g}\cdot(\text{s}\cdot\text{cm})^{-1}$ ) y se refiere de manera no técnica a que tan espeso es un fluido pues si se realiza una comparación entre el agua y la miel, claramente se determina que la miel es mucho más viscosa que el agua, pues esta presenta niveles de viscosidad muy bajos (centiPoise).

#### 2.2.4.1.3. *Dureza.*

Este término hace referencia a la cantidad de compuestos minerales que el líquido exhibe en una cantidad explícita, representa un aspecto muy significativo para la determinación de la calidad del agua.

#### 2.2.4.1.4. *Turbiedad.*

“La turbiedad es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida, etcétera). La turbiedad es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que, por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado” (Ecuatoriana, 2013). La unidad utilizada es NTU que se refiere a las Unidades Nefelométricas de turbidez.

#### 2.2.4.1.5. *Clorofila.*

Este parámetro muestra la presencia de vegetales, algas y bacterias en el agua, debido a que es un pigmento verde que los representa como facilitador del proceso de la fotosíntesis.

#### 2.2.4.1.6. *Caudal.*

Se llama caudal al volumen de agua que fluye a través de un área específica en un tiempo determinado, siendo la unidad de medida para esta variable la  $m^3/s$  o en  $L/s$ . Depende del caudal para dar un juicio acertado acerca de las propiedades físico- químicas que determinan la calidad del agua.

#### *2.2.4.1.7. Sólidos suspendidos.*

Son los elementos a los cuales se les atribuye la presencia de impurezas captables por la vista humana y pueden ser el limo, la arena y virus. Los sólidos suspendidos son aquellos que no pueden ser eliminados por simple separación.

#### *2.2.4.2. Propiedades químicas.*

Las propiedades químicas se refieren a la composición que posee un elemento, de manera que, al cambiar los componentes, cambia la estructura interna del mismo. A continuación, se listan dichas propiedades.

##### *2.2.4.2.1. Conductividad eléctrica.*

Esta característica hace posible evidenciar la cantidad de sales presentes en el agua, se puede decir además que es un valor opuesto a la resistencia del agua que obstruye el paso de la corriente eléctrica por el agua. La unidad de medida es micro siemens/cm ( $\mu S/cm$ ). En la tabla 1 se muestran los valores de conductividad para diferentes tipos de agua, siendo el valor de mayor interés el del agua de río que presenta una conductividad de entre 250 y 800  $\mu S/cm$ :

*Tabla 1: Tipo de agua y conductividad*

<b>MUESTRA</b>	<b>CONDUCTIVIDAD (<math>\mu S/cm</math>)</b>
Agua pura	0.055
Agua destilada	0.5

Agua desionizada	0.1 -10
Agua de lluvia	20 -100
Agua para beber	50 -200
Agua de la llave	100 – 1500
Agua de río	250 – 800
Agua de pantano	1000 – 8000
KCl 0.01 M	1410
MgSO <sub>4</sub>	5810
KCl 0.1 M	12900
Agua de océano	53000
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	82600
KCl 1.0 M	112000

*Fuente: Adaptado de (Ellermeijer, 2015)*

#### 2.2.4.2.2. *Potencial de oxidación- reducción (redox) (ORP).*

Es la medida de que tan oxidado o reductor es un elemento, es decir oxidado que al perder electrones aumenta su número de oxidación y reductor que gana electrones y por lo tanto reduce su número de oxidación. Este potencial muestra la energía química de reducción y de oxidación por medio del uso de electrodos para la medición. La unidad utilizada en este caso es mV (milivoltios).

#### 2.2.4.2.3. *Cloruros.*

Estas sustancias pueden evidenciarse en las aguas debido a diversos factores entre ellos la contaminación que se origina de los desechos de las industrias, aguas excesivas de canales de riego agrícolas y de minas de sales con alto contenido de potasio, que suelen llamarse como minerales de sal gema. También los contaminantes producidos en los hogares como las aguas servidas ayudan a que los niveles de cloruro de las aguas sean mayores.

#### 2.2.4.2.4. *pH.*

“El pH es una medida adimensional que determina el grado de acidez o alcalinidad de un líquido, haciendo una relación de la cantidad de iones de hidrógeno H<sup>+</sup> presentes en el

mismo. La escala de pH va generalmente de 0 a 14 (existen valores con sustancias de pH fuera de este rango, sin embargo, son muy escasos), siendo 0 muy ácido y 14 muy alcalino o básico. Teóricamente, el agua pura debe tener un pH de 7, que es el valor neutro donde la presencia de iones  $H^+$  es prácticamente nula. Sin embargo, la presencia de agentes externos en el agua hace que el pH de la solución varíe y altere su calidad”(Salazar Gil, 2007). El pH no presenta unidades.

#### 2.2.4.2.5. *Oxígeno disuelto.*

“El Oxígeno Disuelto (DO) se refiere a la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua. Es un indicador de cómo está contaminada el agua o de lo bien que puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir" (Rivera Herrera & Yopez Aroca, 2015).

#### 2.2.4.2.6. *Nitrato.*

El crecimiento de algas en las aguas se le atribuye a este elemento, además la demanda de oxígeno se incrementa ya que las bacterias logran oxidarlo y posteriormente reducir los niveles de este material. Determinar los niveles de nitrógeno es de suma importancia pues de ello depende la nutrición de diversos organismos.

#### 2.2.4.2.7. *Fosfato*

“El fósforo en un cuerpo de agua permite la formación de biomasa, la cual requiere un aumento de la demanda biológica de oxígeno para su oxidación aerobia, además de los procesos de eutrofización y consecuentemente crecimiento de fitoplancton. El fósforo en forma de

ortofosfato es nutriente de organismos fotosintetizadores y por tanto un componente limitante para el desarrollo de las comunidades, su determinación es necesaria para estudios de polución de 776 ríos, así como en procesos químicos de y biológicos de purificación y tratamiento de aguas” (Roldán, 2003).

De acuerdo con las variables mencionadas existen rangos con los cuales se puede considerar que el agua es de buena o mala calidad dependiendo el uso que se le brinde, pues los valores varían si esta es para labores domésticas, para actividades de riego o para consumo humano. Según la OMS el agua destinada para la ingesta de los seres humanos debe poseer un pH de entre 6.5 y 8.5, asimismo una turbiedad menor a 5 NTU y también una temperatura no mayor a los 45°C, dichos valores se detallan a continuación en la tabla 2:

*Tabla 2: Valores permitidos de parámetros físico- químicos para el agua potable*

<b>Propiedad física o química</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rango</b>
Conductividad eléctrica	uS/cm	50-200
Oxígeno disuelto	mg/l	≥5
pH	-	6,5-8,5
Turbiedad	NTU	<5
F-	mg/l	<1,5
Na	mg/l	200
Temperatura	°C	15-45
ORP	mV	≥650
Dureza	mg/l	500
Cloruro	mg/l	250
Nitrato	mg/l	25

*Fuente: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/es/)*

Una vez analizadas las características que posee el agua, es necesario comprender todo lo referente a los ríos o cuencas hidrográficas, sus características, así como también los tipos de cuencas.

### **2.2.5. Ríos o Cuencas hidrográficas.**

“Una cuenca hidrográfica, además de ser una red de drenaje jerarquizado (conjunto de cuencas, subcuencas, microcuencas) cuya función es evacuar las aguas, es también un sistema topográfico (conjunto de valles y de vertientes)” (León Velasco, 2014).

Un ejemplo de cuenca hidrográfica es la del Río Mira, la cual se forma por las subcuencas Apaquí, Ambi, el Ángel, Blanco, Itambi, Lita y Chota en el cual se hará más énfasis en los siguientes capítulos del presente proyecto.

#### ***2.2.5.1. Tipos de cuencas hidrográficas.***

Las cuencas hidrográficas pueden clasificarse en dos grupos, ya sea por el sistema de drenaje que manejan y su conducción final o dependiendo del grado de concentración de drenaje:

Por el sistema de drenaje que manejen y su conducción final, pueden ser:

- **Arréicas:** Al no poder drenar hacia un río, mar o lago, es decir se pierden en el camino ya sea por infiltración o por evaporación sin lograr formar deslizamiento subterráneo.
- **Criptorréicas:** Se dice que son de este tipo aquellas aguas que no poseen un organizado sistema de drenaje y corren como ríos subterráneos.

- Exorréicas: Cuando las aguas de las vertientes viajan en dirección a sistemas de drenaje mayores como mares o grandes ríos.

Dependiendo del grado de concentración de drenaje

- “Subcuenca: Es toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de la cuenca. El conjunto de subcuencas puede formar una cuenca.
- Microcuenca: Es toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de una subcuenca. Varias microcuencas pueden conformar una subcuenca” (Faustino Manco & Jiménez Otárola, 2000).

#### ***2.2.5.2. Cuencas de las provincias de la zona 1.***

“En la Zona de Planificación 1 se encuentran nueve sistemas hidrográficos de los ríos Muisne, Esmeraldas, Verde, Cayapas, Mataje, Mira, Putumayo, Napo y Carchi” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013). De los cuales se destaca el Río Mira el cual es utilizado como dispensador de agua, para fines especialmente de riego debido a que en la zona existe un alto porcentaje de familias dedicadas a la agricultura.

Una vez conocidos los detalles sobre las cuencas hidrográficas se habla acerca de las redes inalámbricas, los tipos y las tecnologías.

### **2.3. Redes Inalámbricas**

Son aquellas redes que permiten la transmisión de información por medios no guiados a través de ondas electromagnéticas, en las que los usuarios tienen disponible el servicio sin necesidad de estar atados a cables. A continuación, se listan las ventajas y los inconvenientes que se han logrado evidenciar en este tipo de redes:

### **2.3.1. Ventajas del uso de redes inalámbricas.**

Las ventajas que más se destacan en este tipo de redes hace que se vean atractivas para el uso en diferentes aplicaciones que no necesitan estar atadas a cables para su desarrollo, cada una de ellas se detallan a continuación:

- Instalación rápida
- Capacidad de moverse
- Mantenimiento económico
- Asequible
- Mayor rendimiento
- Presenta solución a los lugares donde el cableado no ha logrado llegar

### **2.3.2. Desventajas en las redes inalámbricas.**

Las principales desventajas que poseen este tipo de redes están descritas a continuación y sirven para determinar si este tipo de redes es la óptima en el desarrollo de diferentes aplicaciones, en contraste con las ventajas ya descritas:

- Interferencias causadas por agentes externos
- Limitada Seguridad
- Susceptible a los cambios de clima
- Costes iniciales elevados
- Limitada velocidad al intentar superar diversos obstáculos y problemas de señal.

Una vez conocidas las ventajas y desventajas de las redes inalámbricas es importante saber los tipos de redes que existen con sus respectivas características.

### **2.3.3. Tipos de redes inalámbricas.**

Para referirse a los tipos de redes inalámbricas, en este caso, se hace referencia a la distancia que logran alcanzar. A continuación, se detallan los tipos más importantes:

#### ***2.3.3.1.PAN o WPAN (Wireless Personal Area Network).***

Son las redes en las cuales la distancia máxima que se alcanza es de 1m, como se muestra en la figura 1, permitiendo que dispositivos sencillos se encuentren conectados sin necesidad de cables. Un ejemplo claro de este tipo de redes es bluetooth, que se basa en la arquitectura maestro esclavo para el intercambio de información de un dispositivo a otro. La conexión de un PC con sus periféricos como el teclado, la impresora, el ratón, entre otros, es un ejemplo de las redes inalámbricas de área personal que se comunican por medio de la tecnología bluetooth.

#### ***2.3.3.2.WLAN (Wireless Local Area Network).***

Son las redes con las que se logra cubrir áreas como un edificio, una casa, una cafetería o una oficina, ya que permite conectar diversos ordenadores y electrodomésticos, con el único propósito de compartir recursos por medio de un punto de acceso. Para conectarse a un punto de acceso un dispositivo debe poseer las conocidas tarjetas de red inalámbricas y lograr así estar en red con más dispositivos e intercambiar información. El estándar conocido para este tipo de redes es el IEEE 802.11 de WIFI que permite de 11Mbps hasta algunos cientos de megas de velocidad de transmisión.

### 2.3.3.3. WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network*).

Las redes de área metropolitana, como su nombre lo indica, permiten conectar áreas extensas, como una ciudad, con un amplio ancho de banda (de hasta 66GHz). Un ejemplo claro de ello es la tecnología WiMAX, que se basa en el estándar IEEE 802.16 y permite conectar diversos puntos de acceso públicos entre sí, sin la necesidad de cables, y por ende varios ordenadores personales. Como se muestra en la figura 1, con estas redes se logran distancias de hasta 10km en una ciudad.

### 2.3.3.4. WWAN (*Wireless Wide Area Network*).

Las redes de área amplia abarcan espacios lo suficientemente extensos, como un país o un continente, tal como se muestra en la figura 1, se logran distancias de hasta 1000 km, sin necesidad del uso de cables. Las redes 2G, 3G y 4G son ejemplos claros de este tipo de red inalámbrica, porque permiten conexiones dentro de áreas lo bastante extensas con velocidades de cientos de megabits por segundo.

Distancia entre procesadores	Procesadores ubicados en el (la) mismo(a)	Ejemplo
1 m	Metro cuadrado	Red de área personal
10 m	Cuarto	Red de área local
100 m	Edificio	
1 km	Campus	
10 km	Ciudad	Red de área metropolitana
100 km	País	Red de área amplia
1000 km	Continente	
10000 km	Planeta	Internet

fig. 1: Tipos de redes inalámbricas  
Fuente: (Tanenbaum, 2003).

Luego de hablar de las redes inalámbricas y sus tipos, a continuación, se detallan las tecnologías inalámbricas.

#### **2.3.4. Tecnologías inalámbricas.**

Las tecnologías inalámbricas que se detallan a continuación son: BLUETOOTH, ZIGBEE, WIFI, GSM Y GPRS, las cuales se encuentran estrechamente relacionadas con las necesidades del proyecto.

##### ***2.3.4.1. Bluetooth.***

Es una tecnología muy utilizada hoy en día debido a que es posible transferir una gran variedad de archivos de persona a persona sin la necesidad del licenciamiento ya que trabaja en la banda libre de 2.4 Ghz del espectro radioeléctrico, con una capacidad de 3Mbps. Su alcance es de hasta 10 metros dependiendo de la intensidad de la potencia de la señal a la que transmite el dispositivo bluetooth. Este dispositivo posee un costo económico. Su principal desventaja es que no es posible realizar las comunicaciones punto a multipunto debido a su sistema de establecimiento de conexiones limitada a enlaces punto a punto.

##### ***2.3.4.2. Zigbee.***

Es una tecnología inalámbrica que se encuentra basada en el estándar IEEE 802.15.4 y dirige su accionar a la comunicación eficiente entre diversos dispositivos por medio de un transmisor y un receptor que hacen uso de una potencia mínima para su funcionamiento. El objetivo principal de ZIGBEE es brindar tasas de transferencia bajas y seguridad para aplicaciones médicas, industriales, domóticas con redes de sensores.

Las características que destacan en este tipo de tecnologías es que trabajan en diversas frecuencias que son la de 2.4 GHz, 915 MHz y 868 MHz a velocidades de 250kbps, 40kbps y 20kbps, respectivamente. El método de acceso al canal es el conocido CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance); además tienen un alcance de hasta 50 metros o 500 metros en el caso de no existir interferencias u obstáculos durante la transmisión de información.

#### **2.3.4.3. Wi-fi.**

Es una tecnología que ha revolucionado las comunicaciones ya que ha logrado cubrir mayores distancias (de hasta 100m), flexibilidad, movilidad a un sin número de usuarios sin necesidad de permanecer atados a cables adicionales para lograr mantenerse comunicados. Esta tecnología se encuentra hoy en día en diversos espacios y además esta ha permitido el desarrollo de diversas aplicaciones de mucha utilidad, un ejemplo de ello es la industria y el comercio.

Las bandas de frecuencias usadas por esta tecnología es la de 2.4 GHz hasta 2.4835 GHz, las cuales forman parte de las bandas conocidas como ISM (Médicas, científicas e industriales) que tienen como característica principal y quizá la más importante que no requieren licenciamiento para ser usadas.

#### **2.3.4.4. GSM (Sistema global para comunicaciones móviles).**

GSM es una tecnología inalámbrica que se encuentra basada en celdas que permite trabajar en frecuencias que se reutilizan y además brindan movilidad a los usuarios de esta. Trabaja en las frecuencias de 900, 1800 y 1900 MHz, teniendo mayor espectro que en AMPS con un número de usuarios mayor.

Las características de este tipo de tecnología se detallan a continuación.

- Alcanza velocidades de hasta 9,6 kbps
- El tiempo estimado para el establecimiento de conexión oscila entre los 15 y 20 segundos, siendo necesario reinicializar las aplicaciones en cada inicio de sesión.
- Los pagos se realizan dependiendo del tiempo de conexión.
- GSM presenta inconvenientes para aplicaciones que tienen que ver con el Roaming o itinerancia.

#### ***2.3.4.5.GPRS (Servicio General de Paquetes.***

El rango de frecuencias usado es compartido con el de GSM, considerando que en este caso la transmisión de datos es por medio de conmutación de paquetes, lo que en GSM fue por conmutación de circuitos. Provee a GSM los mecanismos para lograr conectarse a Internet y a otras aplicaciones de datos.

Las características más destacadas en la tecnología GPRS se listan a continuación:

- En GPRS los canales son asignados a usuarios variados.
- Con esta tecnología se logra alcanzar mayor velocidad de transmisión de hasta 144 kbps y una mejorada eficiencia de la red.
- Las conexiones son constantes con un tiempo de establecimiento de muy pocos segundos.
- Para realizar el pago se considera la cantidad de información que se ha transmitido.
- El usuario con GPRS al no recibir ni enviar paquetes no paga costo alguno.

- El modo de transmisión es este caso es asimétrico.

### 2.3.5. Comparativa de tecnologías inalámbricas.

En la tabla 3 se exhibe una comparación entre las tecnologías WIFI, Bluetooth y ZigBee, que en forma resumida se puede decir que la mayor diferencia radica en el alcance que cada una tiene, siendo la tecnología Wifi la que mayor distancia puede lograr. Una similitud que se observa en la tabla 3, referente a estas tecnologías, es la frecuencia de trabajo, ya que las tres se encuentran en la banda de 2.4 GHz. Otra diferencia es el ancho de banda que cada una posee siendo la de mayor ancho de banda la tecnología Wifi y la de menor la de bluetooth.

*Tabla 3: Características de las tecnologías inalámbricas*

	<b>Wi-Fi</b>	<b>Bluetooth</b>	<b>Zigbee</b>
<b>Frecuencia</b>	2.4 GHz-5 GHz	2.4 GHz	868 MHz-2.4 GHz
<b>Alcance</b>	100 m	10 m	10-100 m
<b>Especificación IEEE</b>	802.11 a/b/g	802.15.1	802.15.4
<b>Ancho de banda por canal</b>	22 MHz	1 MHz	0.3-2 MHz
<b>Número máximo de nodos</b>	2007	8	65000
<b>Cifrado</b>	Si	Si	Si
<b>Tipo de cifrado</b>	WEP	E0	AES
<b>Autenticación</b>	WPA2 (802.11)	Contraseña compartida	CBC-MAC

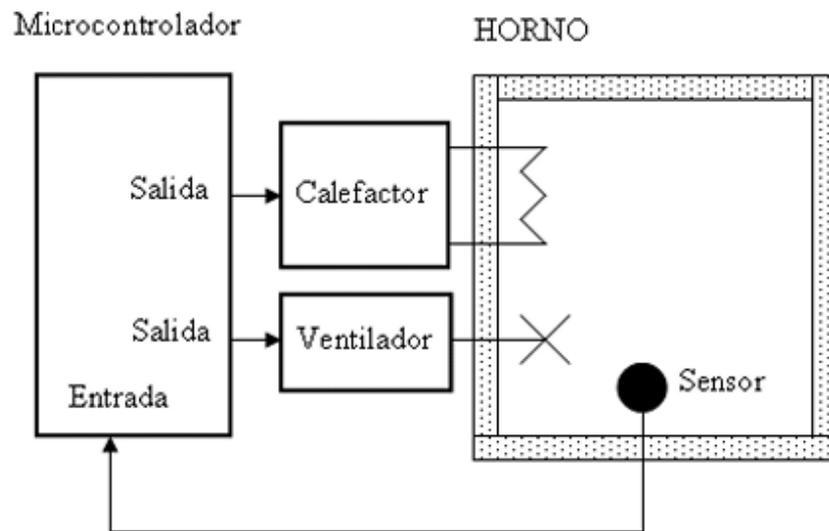
*Fuente: <http://bit.ly/2ZulA2E>*

Una vez explicadas las redes inalámbricas con sus características, tipos y tecnologías, es importante hablar acerca de los microcontroladores, las características de estos y también de los modelos que más se aproximan a la solución para el desarrollo de la investigación.

## 2.4. Microcontroladores.

Son dispositivos electrónicos programables capaces de captar, procesar, controlar y monitorear datos tal y como si fuesen un computador diminuto, permitiendo realizar diversas acciones debido a los puertos de entrada/salida, temporizadores, interruptores, contadores, memoria de programa y de datos que poseen.

En la figura 2 se muestra un ejemplo de la captura de datos por medio de un sensor de temperatura conectado a un microcontrolador, el cual es el encargado de procesar, controlar los valores y proporcionar una salida dependiente del valor de entrada recogido que puede ser de encender el calefactor o el ventilador.



*fig. 2: Control de temperatura de un horno  
Fuente: Recuperado de (Dogan, 2007)*

### 2.4.1. Características de los microcontroladores.

Las características principales de los microcontroladores definen las ventajas de un tipo u otro de placa, por lo cual es de gran importancia considerar cada uno de estos puntos, que por

lo general se encuentran en las especificaciones de cada dispositivo, dentro de las cuales destacan los siguientes:

- Tensión de alimentación
- Entrada analógica/ digital
- Salida analógica/digital
- Conversor Análogo/ digital
- Reloj
- Módulo de comunicación serie/ paralelo
- Interrupciones
- Temporizadores
- PWM
- Controladores LCD
- Memoria de datos

Luego de mencionar las características de los microcontroladores desarrollados, es importante hacer énfasis en los procesadores que para el propósito son más conocidos y con atributos variados que permitan el desarrollo eficiente del proyecto. En los siguientes ítems se mencionan aquellos que presentan potencialidades en cuanto al área de Smart cities, del internet de las cosas y relacionados con el presente estudio de la calidad del agua, como son el Arduino Yun, Arduino Leonardo, Raspberry pi, Wasmote, placa MangOH Green, TSmote, TSgaTe.

### 2.4.2.1.Arduino yun rev 2

“El Yún rev. 2 con el poder de un sistema basado en Linux que permite conexiones y aplicaciones de red avanzadas. La conexión a su red WiFi o cableada es simple gracias al Panel Web de Yún y al boceto dedicado de " YunFirstConfig ". El panel Web le permite administrar sus preferencias de escudo y cargar su boceto. El Yún rev. 2 utiliza la biblioteca Bridge y, por lo tanto, amplía las capacidades de la placa mediante el uso del procesador Linux” (arduino, 2015) . En la figura 3 se observa la apariencia física de este microcontrolador:

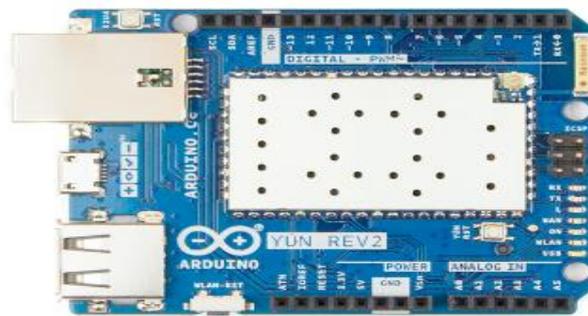


fig. 3: Arduino Yun  
Fuente: (arduino, 2015)

Las características del Arduino Yun se detallan a continuación:

- Microcontrolador AVR Arduino
- Microcontrolador ATmega32U4
- Voltaje de operación 5V
- Voltaje de entrada 5V
- Pines digitales I/O 20
- Salidas PWM 7
- Pines analógicos I/O 12

- Corriente DC por pin I/O 40 mA en pines de I/O; 50 mA en pines de 3,3V
- Memoria Flash de 32 KB (de los cuales 4 KB utilizados por el gestor de arranque)
- Memoria SRAM de 2.5 KB
- Memoria EEPROM de 1 KB
- Velocidad de reloj de 16 MHz

#### Microprocesador Linux

- Procesador Atheros AR9331
- Arquitectura MIPS
- Voltaje de operación 3.3V
- Ethernet 802.3 10/100Mbit/s
- WiFi 802.11b/g/n 2.4 GHz
- Puertos USB tipo 2.0
- Tarjeta de lectura Micro-SD
- Memoria RAM 64 MB DDR2
- Memoria Flash 16 MB
- Velocidad de reloj de 400 MHz

#### ***2.4.2.2.Arduino Leonardo ETH***

“El Leonardo ETH es una placa de microcontrolador basada en el ATmega32U4 (hoja de datos) y el nuevo Controlador de Ethernet integrado W5500 TCP / IP. Tiene 20 pines de entrada / salida digital (de los cuales 7 se pueden usar como salidas PWM y 12 como entradas analógicas), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión RJ45,

un conector micro USB, un conector de alimentación y un Botón de reinicio” (arduino, 2015). La figura 4 muestra el microcontrolador antes descrito.



*fig. 4: Arduino Leonardo*  
*Fuente: (arduino, 2015)*

Las características del Arduino Leonardo ETH se detallan en la tabla 4 en donde se observa que posee una memoria flash de 32kB, además de 12 pines analógicos de entrada y salida con corriente DC de 40mA.

*Tabla 4: Características del Leonardo ETH*

<b>Microcontrolador</b>	ATmega32u4
<b>Arquitectura</b>	AVR
<b>Tensión de funcionamiento</b>	5V
<b>Memoria flash</b>	32 KB de los cuales 4 KB utilizados por el gestor de arranque
<b>SRAM</b>	2.5Kb
<b>Velocidad de reloj</b>	16 MHz
<b>Pernos analógicos de E / S</b>	12
<b>EEPROM</b>	1 KB
<b>Corriente DC por los pernos de E / S</b>	40 mA en pernos de E / S; 1A en 3.3 V Pin solo cuando se alimenta a través de una fuente de alimentación externa

*Fuente: (arduino, 2015)*

### 2.4.2.3. *Raspberry pi* +

“Procesador de cuatro núcleos a 1,4 GHz de 64 bits, LAN inalámbrica de doble banda, Bluetooth 4.2 / BLE, Ethernet más rápida y compatibilidad con alimentación a través de Ethernet (con PoE HAT independiente)” (raspberrypi, 2015). En la figura 5 se logra apreciar algunas de los elementos que conforman este microprocesador:



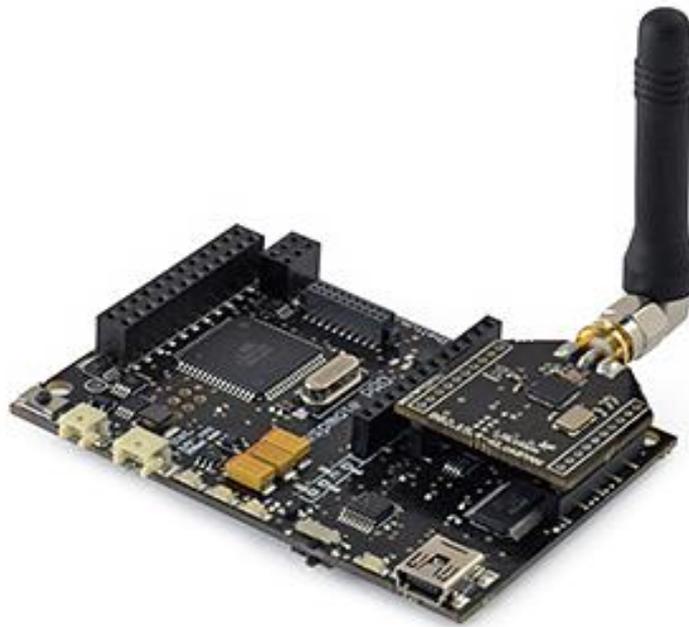
*fig. 5: Raspberry pi*  
*Fuente: (raspberrypi, 2015)*

Las particularidades principales del Raspberry pi se listan a continuación:

- Procesador ARM Cortex-A53 de 64-bit de 4 núcleos a 1.2GHz.
- Memoria RAM de 1GB
- LAN inalámbrica 802.11n y bluetooth integrados.
- Puertos USB, Ethernet y GPIO
- Capacidad de funcionar con sistemas operativos basados en Linux con distribuciones como Raspbian.

### 2.4.2.4. *Waspote*

“Wasmote es una plataforma de sensores inalámbricos de código abierto especialmente enfocada en la implementación de modos de bajo consumo para permitir que los nodos de los sensores (*"motes"*) sean completamente autónomos y funcionen con baterías, ofreciendo una vida útil variable entre 1 y 5 años dependiendo del ciclo de trabajo y la radio utilizada. Wasmote es un producto clave para Libelium, porque es el nodo de IoT; permite características avanzadas, modularidad total y máxima flexibilidad, al mismo tiempo que mantiene la confiabilidad alta y la complejidad baja” (cooking-hacks, 2016) . A continuación, en la figura 6 se muestra la apariencia física del microcontrolador waspmote con un módulo de comunicaciones Zigbee conectado en sus pines:



*fig. 6: Placa Wasmote*  
Fuente: (cooking-hacks, 2016)

Las características de este microcontrolador se detallan a continuación en la tabla 5:

*Tabla 5: Características de la placa de waspmote*

<b>Microcontrolador:</b>	ATmega1281
<b>Frecuencia:</b>	14.74 MHz
<b>SRAM:</b>	8 kB
<b>EEPROM:</b>	4 kB
<b>FLASH:</b>	128 kB
<b>Tarjeta SD:</b>	16 GB

<b>Peso:</b>	20 g
<b>Dimensiones:</b>	73.5 x 51 x 13 mm
<b>Rango de temperatura:</b>	[-30 °C, +70 °C] *
<b>Reloj:</b>	RTC (32 kHz)

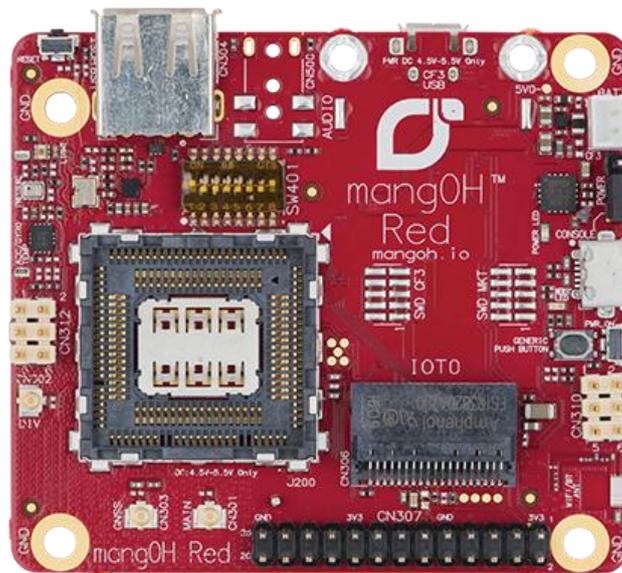
*Fuente: (cooking-hacks, 2016)*

#### 2.4.2.5. Placa mangOH

“El mangOH más nuevo y pequeño permite una duración de batería de 10 años para aplicaciones de IoT de baja potencia. El diseño de referencia de uso industrial y eficiente en el consumo de energía se ha creado con todas las capacidades que necesita para enviar sus datos de sensores de IoT a la nube” (mangOH, 2018). Las características de esta placa son:

- “Wi-Fi / Bluetooth incorporado
- Conector de tarjeta de expansión IoT
- Conector HAT compatible con Raspberry Pi de 26 pines” (mangOH, 2018).

En la figura 7 se observa la placa mangOH:



*fig. 7: Placa mangOH*  
*Fuente: (mangOH, 2018)*

#### 2.4.2.6. *TSmart*

“Es una plataforma modular de comunicaciones inalámbricas que permite la rápida implementación de aplicaciones M2M, de monitorización y control remoto. TSmart se compone de dos tipos de dispositivos base (TSmoTe & TSgaTe) complementados con módulos de expansión con las diversas tecnologías de comunicaciones soportadas (ZigBee, Wi-Fi, GPRS, NFC/RFID, GPS).

Estos productos están dirigidos a fabricantes de equipo, ingenierías e integradores de sistemas que buscan una manera sencilla de integrar tecnologías inalámbricas en sus productos” (tst-sistemas, 2014). Las características de la placa TSmoTe son las siguientes:

- 3 UART, 1 SPI, 2 I2C
- Módulos de expansión: Wi-Fi, ZigBee, GPRS
- Procesador 32-bit ARM Cortex-M3
- Memoria: 1 MB Flash, 96 KB RAM
- 2 GB microSD
- GPS, NFC/RFID
- 70 x 52 mm (tst-sistemas, 2014)

En la figura 8 se puede identificar la apariencia física de la placa TSmote:



*fig. 8:Placa TSmote*  
Fuente: (tst-sistemas, 2014)

Las características de la placa TSgaTe son las que a continuación se detallan:

- Ethernet, Wi-Fi, 3 UART, 1 SPI, 2 I2C
- Módulos de expansión: ZigBee, GPRS
- Procesador 32-bit ARM Cortex-M3
- Memoria: 1 MB Flash, 96 KB RAM
- 2 GB microSD
- 70 x 52 mm (tst-sistemas, 2014)

En la figura 9 se presenta la placa TSgaTe desarrollada por sistemas TST:



*fig. 9: Placa TSgaTe*  
Fuente: (tst-sistemas, 2014)

Una vez estudiados los tipos de microcontroladores existentes en el mercado que se alinean más significativamente al presente proyecto, a continuación, se realiza el estudio de los sensores, y tipos, además de una breve descripción de los sensores usados para las mediciones de parámetros que determinan la calidad del agua.

## **2.5. Sensores.**

Se llama sensor a aquel dispositivo capaz de captar información referente a un área específica, tal y como si fuese uno de los sentidos del ser humano, ya sea el oído, la vista o el tacto, pues son sensibles al sonido, la luz o el contacto. Estos dispositivos reaccionan a los valores captados del entorno permitiendo procesarlos y controlarlos de acuerdo con los requerimientos de quien les maneje.

“Características de los sensores. - A la hora de elegir un sensor para una aplicación concreta, es necesario tener en cuenta determinados aspectos para obtener el mejor rendimiento dentro de dicha aplicación:

- Rapidez en la respuesta
- Situación donde van a ser instalados
- Radio de acción
- Fiabilidad en el funcionamiento
- Tensiones de alimentación
- Consumo de corriente
- Márgenes de temperatura de funcionamiento” (Serna, 2010).

### 2.5.1. Tipos de sensores.

En la tabla 6, se pueden observar los diversos tipos de sensores, con los cuales se pueden realizar un sin número de aplicaciones apuntadas a diversas áreas de la industria, con fines específicos. Entre los más utilizados se pueden mencionar los sensores analógicos y digitales, además de los que miden variables físicas del entorno, permitiendo que el uso de estos tipos de sensores sea amplio.

Tabla 6: Tipos de sensores

<b>SENSORES</b>	
<b>PARÁMETRO</b>	<b>TIPOS DE SENSORES</b>
Según el principio de funcionamiento	Activos Pasivos
Según el tipo de señal eléctrica que generan	Digitales Analógicos
Según el rango de valores que proporcionan	Temporales On-Off De medida
Según el nivel de integración	Discretos Integrados Inteligentes
Según el tipo de variable física medida	Mecánicos Eléctricos Magnéticos Térmicos Acústicos Ultrasónicos Químicos Ópticos Radiación Láser

*Fuente: Adaptado de (Germán Corona Ramírez, Abarca Jiménez, & Mares Carreño, 2014)*

Para el caso de estudio según la tabla 7 los sensores para medir la calidad del agua se encuentran alineados con el tipo de variable física que miden. En apartados anteriores se mencionaron un sin número de propiedades físicas y químicas que permiten establecer la

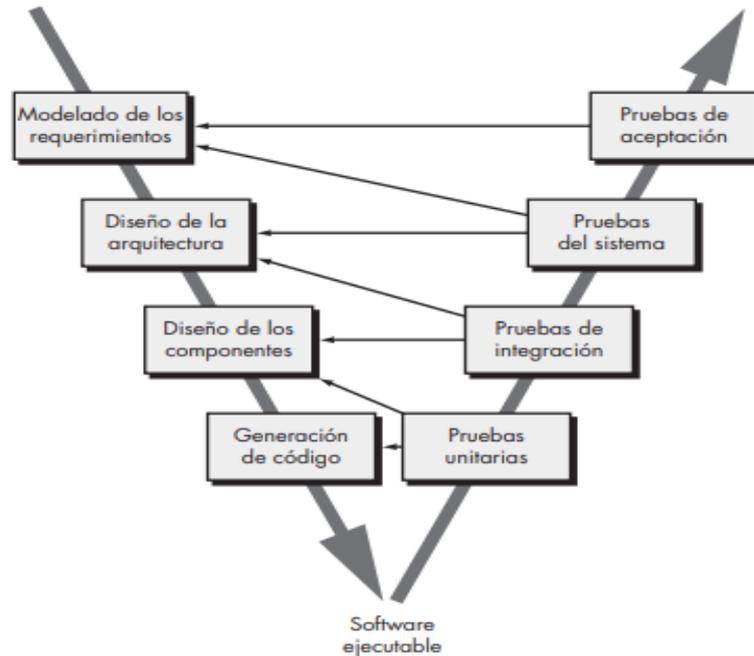
calidad del agua, para ello existen varios sensores que ayudan a la medición de aquellas características haciendo uso de metodologías diversas. Cada sensor trabaja de manera distinta apuntando al área de medición a la que se enfoca. Algunos de estos sensores se mencionan a continuación:

- Sensor de pH
- Sensor de Oxígeno Disuelto
- Sensor de Temperatura
- Sensor de Conductividad eléctrica
- Sensor de Clorofila
- Sensor de turbidez
- Sensor de ORP, entre otros.

Luego de señalar los sensores que se usan para la medición de diversos parámetros de calidad del agua, las redes de sensores, entre otras, ahora se mencionan las características de la metodología utilizada para el desarrollo del presente proyecto, el modelo en V, así como también la norma para el desarrollo de sistemas de hardware y software especificado en el estándar ISO IEC IEEE 29148.

## **2.6. Modelo en V**

“El modelo en V ilustra la forma en la que se asocian las acciones de verificación y validación con las primeras acciones de ingeniería; en la figura 10, se aprecia la relación entre las acciones para el aseguramiento de la calidad y aquellas asociadas con la comunicación, modelado y construcción temprana.” (Pressman & Troya, 2015).



*fig. 10: Modelo en V*  
*Fuente: (Pressman & Troya, 2015)*

El modelo en V, según muestra la figura 10, posee 4 niveles lógicos (lado izquierdo), cada uno de los cuales se encuentran relacionados de forma correspondiente con su igual en el lado derecho, que tiene que ver con la ejecución de pruebas de funcionamiento, debido a que cada una de estas fases debe entregar un dato que pueda ser verificado, para evitar inconvenientes futuros y asegurar así la calidad del producto desarrollado.

Los niveles del modelo en V se explican a continuación:

- Nivel 1.- Se enfoca en los requisitos del usuario y constituye el inicio y fin del proyecto. Orientado al análisis de especificaciones y necesidades.
- Nivel 2.- En este nivel se hace énfasis a las características funcionales del sistema, que en sí son los requerimientos. Las funciones establecidas por el usuario en este caso pueden ser directas o indirectas.
- Nivel 3.- En este caso se realiza el diseño de los componentes de hardware y software del sistema y se define el diseño de este.

- Nivel 4.- Es el nivel inferior del modelo en V y se enfoca en la generación e implementación de código.

## **2.7. Estándar ISO IEC IEEE 29148**

Es una norma internacional que provee las herramientas, reglas y pasos necesarios a seguir para el desarrollo de proyectos de ingeniería teniendo en cuenta el ciclo de vida de los sistemas y el software. Las características que posee son las siguientes:

- Identificación de beneficiarios y de sus requisitos mediante el análisis de entrevistas, encuestas, situaciones del entorno, entre otros.
- Desarrollo y análisis de requerimientos del sistema, las funciones de este, además de las fronteras y limitaciones que posee.
- Acciones de ingeniería de requisitos en diversos procesos técnicos mediante una planificación establecida para llevar a cabo los objetivos iniciales.

Las siglas de los elementos de información usados en el desarrollo del sistema se detallan a continuación:

- Detalle de requerimientos de los stakeholders (StSR)
- Especificación de requerimientos del sistema (SySR)
- Especificación de requisitos de arquitectura (SRSH)

### **Capítulo 3. Diseño y construcción.**

Inicialmente, en este capítulo, se hace referencia al análisis de requerimientos del sistema de medición de la calidad del agua para lo cual se realiza un estudio de la situación actual del Río Chota, para evidenciar los usos que los moradores del sector dan a este líquido vital y la importancia que para ellos tiene, además se muestra la ejecución de una encuesta con su respectiva tabulación la cual tiene como objetivo determinar si es necesario o no para los comuneros un sistema con dichas características; luego de ello se procede a determinar los requerimientos del sistema y de cada una de las áreas de mayor relevancia para el proyecto como son los requerimientos de usuario, de arquitectura, de diseño, físicos, de software, de hardware y eléctrico, para luego elegir los dispositivos en cada caso de acuerdo con los niveles explicados en el modelo en V.

#### **3.1. Análisis de requerimientos del sistema de medición de la calidad del agua del Río Chota**

Mediante este proceso se consigue determinar los requerimientos del sistema, los sensores que se deben usar, además del hardware y software necesario para llevar a cabo el proyecto. Inicialmente se realiza un análisis de situación actual del Río Chota.

##### **3.1.1. Situación actual del Río Chota**

En el presente análisis de situación actual se habla de la ubicación de la Comunidad del Chota y de sus características físicas, del Río del mismo nombre y de los afluentes que este recibe, también de los estudios históricos de parámetros físicos y químicos que demuestran la calidad de las aguas, además de los usos que los comuneros le dan al agua en diversas situaciones y como complemento se exponen las épocas en

las cuales el río presenta crecidas debido a las precipitaciones en temporadas específicas.

### ***3.1.1.1.Ubicación de la Comunidad y el Río Chota***

La Comunidad del Chota, ubicada en la panamericana Norte (E35) a 28km noreste de la ciudad de Ibarra a alrededor de 1560 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar), posee un clima cálido seco y es una de las 9 comunidades que forman el Valle del Chota que se encuentra atravesado por el río del mismo nombre. En la figura 11 se muestra la comunidad antes mencionada en la cual habitan aproximadamente 800 personas que en su totalidad son afrodescendientes.



*fig. 11: Comunidad El Chota*  
*Fuente: Propia*

Según menciona el INAMHI (Instituto Nacional de meteorología e hidrología) en su artículo “Indicadores fisicoquímicos de los ríos de la cuenca del Río Mira” el Río Chota se encuentra ubicado en la provincia de Imbabura al noreste de la ciudad de Ibarra, en la figura

12 se observa la comunidad El Chota la cual se encuentra atravesada por el río del mismo nombre:

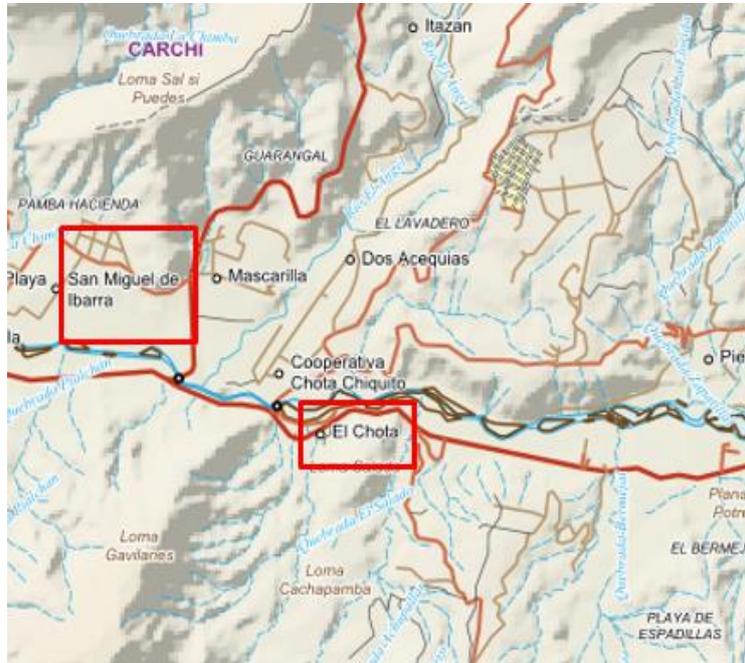


fig. 12: Ubicación de la Comunidad El Chota  
Fuente: Google Maps

### 3.1.1.2. Conformación del Río Chota

“El Río Chota nace de la confluencia de los ríos: Apaquí y Caldera, corre en dirección Sureste-Noreste y recibe como afluentes a los ríos: El Ángel, Ambi, Apaquí y Caldera” (INAMHI, 2010).

En la figura 13 se muestra una vista satelital del Río Chota, en la cual se puede observar su forma, dirección, además de los puntos cercanos a él, como son la Hospedería Doña Evita y la panamericana Norte:



*fig. 13: Río Chota  
Fuente: Google Maps*

A continuación, se habla acerca de los estudios realizados por el INAMHI al Río Chota con respecto a las variables físicas y químicas que determinan la calidad de sus aguas.

### ***3.1.1.3. Propiedades fisicoquímicas del Río Chota según el INAMHI***

Las investigaciones que ha llevado a cabo el INAMHI desde los años 80 han logrado determinar que el Río Chota presenta temperaturas de 20°C con un pH de 7.3, datos con los cuales concluye que se mantiene el equilibrio ácido-básico. Otro parámetro importante que ha medido este organismo es la conductividad eléctrica logrando encontrar valores de 223 uS/cm que según ellos corresponden a 149 mg/l de Sólidos Totales Disueltos, determinando que esta es agua de baja salinidad, además los iones principales tales como los aniones: bicarbonato, sulfato, cloruro, se encuentran en rangos relativamente bajos, igualmente los cationes: calcio, magnesio, sodio, potasio, explica. En cuanto a los iones menores, esto es: hierro, manganeso,

cobre, cromo hexavalente, mencionan que se encuentran igualmente en concentraciones relativamente bajas.

En el caso de los iones indicadores de contaminación orgánica como son: el nitrato, nitrito y amonio, concluye que están en concentraciones bajas, además que el ion fosfato indicador de contaminación inorgánica especialmente tiene una concentración promedio de 0.74 mg/l, que indica una ligera contaminación, también explica que el agua es moderadamente dura con una concentración de 68 mg/l de dureza y que el tipo hidro-químico predominante es Bicarbonatada-Cálcica, lo que indica que el agua es buena para todo riego.

#### ***3.1.1.4.Importancia y usos del Río Chota***

El Río Chota constituye uno de los patrimonios naturales más importantes para los habitantes de la comunidad, que cuentan grandes historias de sobrevivencia en torno a este, ya que les ha permitido sobrellevar la falta de agua potable en tiempos en los que esta no se encuentra disponible para actividades cotidianas como lavar ropa y platos, cocinar y aseo personal, además de actividades recreativas, tal como se observa en la figura 14:



*fig. 14: Moradores de la comunidad en el Río Chota*  
*Fuente: <http://bit.ly/2ZCwSSv>*

Además de lo antes mencionado, el Río Chota en contraste con otras características del lugar atrae a turistas nacionales y extranjeros, lo que permite dinamizar la economía de los comuneros, tal es el caso de la visita de miles de turistas en épocas de carnaval que acuden al lugar a disfrutar de las conocidas fiestas del Coangue, que tiene como atractivo principal el río, las diversas manifestaciones culturales, el clima, la gastronomía, entre otros.

Deportes como la natación, la pesca, el rafting y el tubing, por nombrar algunos, son los que se realizan en este río y llaman la atención de propios y extraños como se ve en la figura 15.



*fig. 15: Rafting en el Río Chota*  
 Fuente: <http://www.equatorface.com/rafting-rio-chota/>

### ***3.1.1.5. Precipitaciones del Río Chota***

Las temporadas en las que el Río Chota presenta mayores precipitaciones es en los meses de marzo-mayo y octubre- diciembre. Un claro ejemplo de ello es que el 29 de mayo del 2011, presentó una crecida bastante considerable que logró atemorizar a los comuneros, pues en ese entonces no existía un muro que protegiera a las casas que se encontraban a las orillas de este y las olas amenazaban con llevarse todo a su paso, la evidencia de ello se muestra en la figura 16.



*fig. 16: Crecida del río en mayo del 2011*  
 Fuente: <http://bit.ly/2Zz9XYk>

### **3.1.1.6. Contaminación del Río Chota**

Es importante mencionar que el Río Chota recibe agentes contaminantes, como se muestra en la figura 17, como aguas servidas de la comunidad (materia orgánica producto de las descargas residuales poblacionales) sin previo tratamiento, después de pasar por el puente que conecta a comunidades del Carchi con Imbabura, justo unos metros antes de confluir con el río Ángel para formar el Mira; también recibe contaminación de las aguas residuales de hosterías cercanas (río arriba), que logran con ello contaminar las aguas del río que luego en la comunidad se le da diversos usos sin antes hacer un tratamiento de estas, además el agua sobrante del sistema de riego de Pimampiro, que se usa en los cultivos de los comuneros, contiene pesticidas y fertilizantes y es desechada al río, también como se puede ver en la figura 17, la basura que es arrojada al Río es otro agente contaminante.



*fig. 17: Agentes que contaminan el Río chota a) Basura b) Aguas servidas  
Fuente: Propia*

Una vez analizada la situación actual del Río Chota en el siguiente punto se desarrollan los diversos pasos a seguir para la aplicación de encuestas dirigidas a los moradores de la

Comunidad del Chota como otro requisito importante de la metodología para determinar los requerimientos del sistema.

### 3.1.2. Encuesta

La encuesta realizada se enfoca en los habitantes de la Comunidad del Chota y posee preguntas cerradas y de selección múltiple. Conforme con el número de personas por familias que acuden de manera periódica al río y hacen uso de sus aguas para diversas actividades se evalúa la muestra. Es importante mencionar que las personas que acuden con más frecuencia al río hasta la actualidad son en su mayoría mayores de los 20 y menores de los 50 años de edad.

#### 3.1.2.1. Determinación de la muestra

Para determinar el número de personas a encuestar se hace uso de la fórmula de muestreo detallada en la ecuación 1, la cual utiliza parámetros como la cantidad de personas totales del lugar donde se va a realizar la encuesta, también considera el nivel de confianza que se desea asignar, además de parámetros que determinan el nivel de error que puede ocurrir en los encuestados juntamente con el porcentaje de los investigados que tienen el rasgo relacionado con el caso de estudio y el porcentaje de los que no. La ecuación se muestra a continuación:

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{(e^2 * (N - 1)) + k^2 * p * q}$$

*Ecuación 1: Ecuación para determinar la muestra*

*Fuente: (Zabalza Beraza, 2011)*

*Donde:*

- “**N**”: es el tamaño de la población o universo (número total de posibles encuestados).
- **k**: es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos. El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados de nuestra investigación sean ciertos: un 95,5 % de confianza es lo mismo que decir que nos podemos equivocar con una probabilidad del 4,5%.

La extensión del uso de Internet y la comodidad que proporciona, tanto para el encuestador como para el encuestado, hacen que este método sea muy atractivo. En la tabla 7 se muestran los valores más usados para el caso de la variable k:

*Tabla 7: Nivel de confianza y su valor k*

<b>K</b>		1,15	1,28	1,44	1,65	1,96	2	2,58
<b>Nivel de confianza</b>	<b>de</b>	75%	80%	85%	90%	95%	95,5%	99%

*Fuente: (Zabalza Beraza, 2011)*

- **e**: es el error muestral deseado. El error muestral es la diferencia que puede haber entre el resultado que obtenemos preguntando a una muestra de la población y el que obtendríamos si preguntáramos al total de ella.
- **p**: es la proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio. Este dato es generalmente desconocido y se suele suponer que  $p=q=0.5$  que es la opción más segura.
- **q**: es la proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir, es  $1-p$ .
- **n**: es el tamaño de la muestra (número de encuestas que vamos a hacer)” (Zabalza Beraza, 2011).

Para el caso de estudio presente se consideran los siguientes valores que permiten determinar el tamaño de la muestra, es decir la cantidad de personas de la comunidad a encuestar, cuyos valores se muestran a continuación en la tabla 8:

*Tabla 8: Valores a reemplazar en la ecuación 1 para determinar la muestra*

<b>Variable</b>	<b>Cantidad</b>
<b>n</b>	800
<b>k</b>	1,96 (95% de confianza)
<b>e</b>	0.09
<b>p</b>	0.3
<b>q</b>	0,7

*Fuente: Propia*

De acuerdo con la ecuación 1 usada para calcular el tamaño de la muestra antes mencionada se obtiene que:

$$n = 88 \text{ encuestados}$$

### ***3.1.2.2. Análisis y conclusiones de las encuestas realizadas***

Pregunta 1: Con qué frecuencia acude usted al Río Chota

Las personas respondieron de manera variada en este caso, pues un 39% de la muestra respondió que acude al río cada semana, un 28% dijo que lo hace cada mes, otro 23% mencionó que lo hace cada dos meses, un 4% dijo que lo hace cada seis meses y un 6% cada día. La figura 18 muestra a mayor detalle la explicación realizada:



*fig. 18: Resultados de la pregunta 1 de la encuesta*  
*Fuente: Propia*

Pregunta 2: El agua del río la utiliza para.

Los usos que las personas de la comunidad le dan al agua del río son variados pues el 39% de la población encuestada menciona que usa el agua para bañarse, el 30% dice que usa el líquido para lavar la ropa, además el 20% la usa para lavar platos y solo el 11% menciona que ingiere este líquido. En la figura 19 se observan los detalles de la pregunta de la encuesta:



fig. 19: Resultado de la pregunta 2 de la encuesta  
Fuente: Propia

Pregunta 3: Cree usted que el río presenta contaminación

Los habitantes de la Comunidad del Chota indican en su gran mayoría (74%) que el agua se encuentra contaminada, contra un 26% que cree que el agua se encuentra en perfectas condiciones. En la figura 20 se observan los detalles de la pregunta:



*fig. 20: Resultado de la pregunta 3 de la encuesta  
Fuente: Propia*

Pregunta 4: Si la respuesta anterior fue positiva por qué cree usted que se encuentra contaminada el agua.

Un 25% de los encuestados y las encuestadas relata que la contaminación del río se debe a aguas servidas de pueblos aledaños, el 28% de la población le adjudica este mal a los químicos, el 26% dice que la contaminación se debe a las aguas de riego usada en las huertas de los comuneros, un 21% menciona que la causa principal es debido a la contaminación humana. La figura 21 muestra los detalles de la encuesta:

4. Si la respuesta anterior fue positiva, ¿por qué cree que se encuentra contaminada el agua?

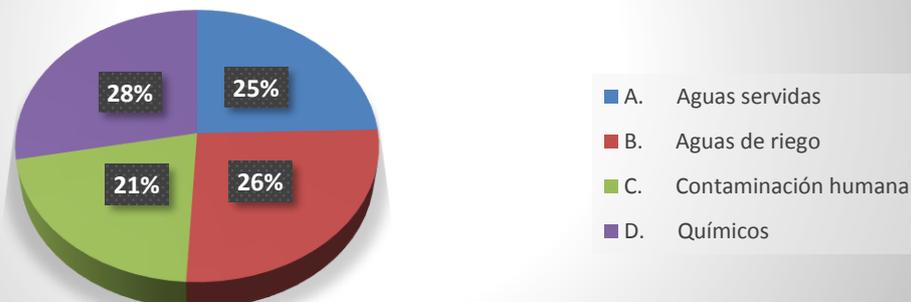


fig. 21: Resultado de la pregunta 4 de la encuesta  
Fuente: Propia

Pregunta 5: Le gustaría mantenerse informado acerca de la calidad del agua del río

Los entrevistados en su gran mayoría (98%) dijeron que es de suma importancia estar informados acerca de la calidad del agua, ya sea que se use para ingerir o para otros casos como bañarse y lavar platos, dicha información puede servir y ayudar a evitar enfermedades en un futuro. En la figura 22 se puede apreciar los detalles de esta pregunta de la encuesta:

5. ¿Le gustaría mantenerse informado acerca de la calidad del agua del río?



fig. 22: Resultado de la pregunta 5 de la encuesta  
Fuente: Propia

Pregunta 6: Cree usted que es necesario implementar un sistema que permita a la comunidad saber la calidad del agua del Río Chota

De acuerdo con la pregunta 6 el 94% de los moradores de la comunidad señalan que un sistema que mantenga a los comuneros informados sería la solución a dificultades que han tenido en cuanto al acceso a la información y poder así estar alertas ante diversas situaciones.

La figura 23 muestra lo antes explicado:

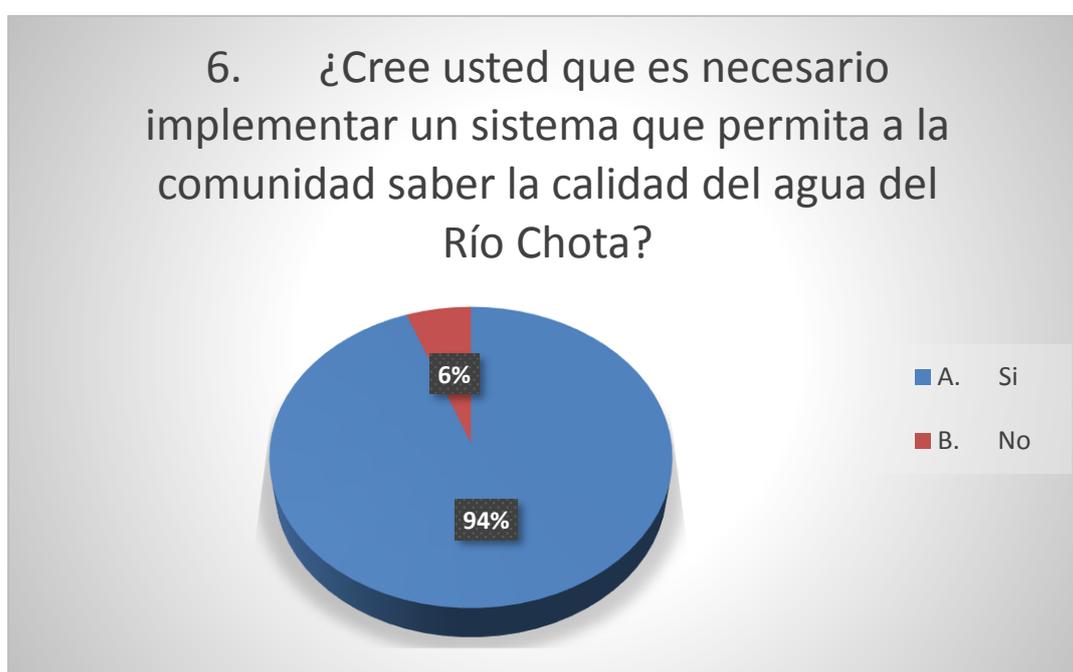


fig. 23: Resultado de la pregunta 6 de la encuesta  
Fuente: Propia

Pregunta 7: Con qué frecuencia le gustaría que los datos se muestren

Los pobladores en un 16% dicen que los datos deben presentarse de manera permanente, un 51% alude que sería de gran utilidad mostrar estos datos en caso de alertas, un 18% concluye que el sistema debe presentar información cada hora, además un 15% dice que debería ser cada dos horas. En la figura 24 se observan los resultados:

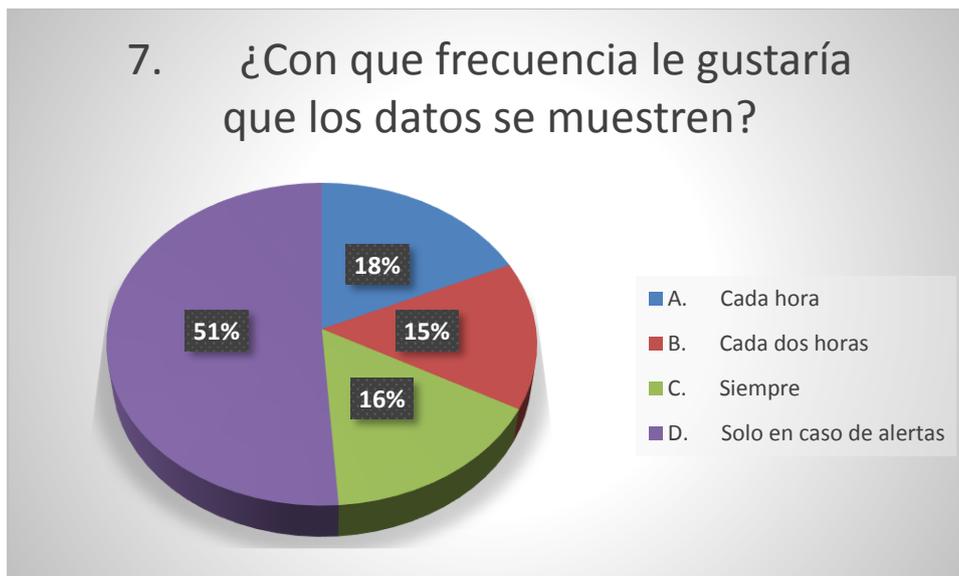


fig. 24: Resultado de la pregunta 7 de la encuesta  
Fuente: Propia

Pregunta 8: Cuenta usted con un celular inteligente

Un 60% de la población cuenta con un smartphone en su lista de dispositivos, entre ellos el presidente de la comunidad, no así para la población restante (40%), que no cuenta con uno de estos. En la figura 25 se detallan los resultados obtenidos para esta pregunta:

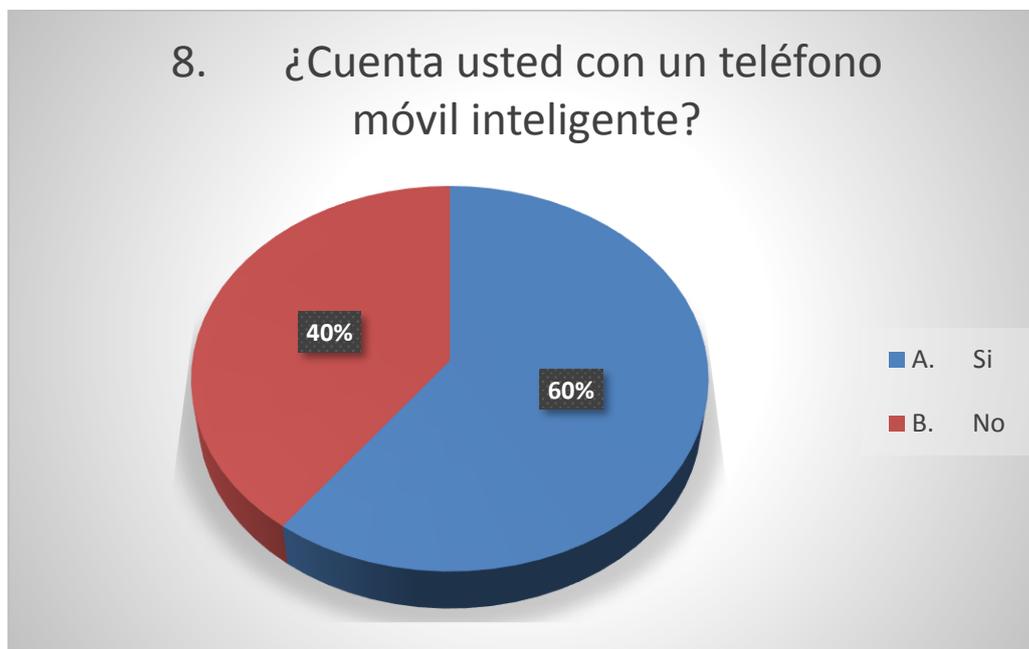


fig. 25: Resultado de la pregunta 8 de la encuesta  
Fuente: Propia

### 3.1.3. Requerimientos

Se presenta principalmente los stakeholders involucrados en el proyecto siguiendo la norma IEEE 29148 descrita en el capítulo anterior, luego se señalan las necesidades de los mismos, también se mencionan los requerimientos del sistema y finalmente los de arquitectura.

#### 3.1.3.1. Stakeholders

Los involucrados en este proyecto, como se muestra en la tabla 9, son el presidente del cabildo del Chota, los moradores de la comunidad en general, quienes son los que determinan, en su mayoría, las características que el sistema debe poseer, la universidad, además del director, asesores y la autora de la presente tesis.

Tabla 9: Stakeholders del proyecto

Nº	Lista de stakeholders
1	Comunidad el Chota
2	Presidente del cabildo del Chota
3	UTN
4	Ing. Jaime Michilena Director del proyecto de tesis
5	Ing. Paul Rosero Asesor del proyecto de tesis
6	Ing. Pamela Godoy Asesora del proyecto de tesis
7	Srta. Victoria Carabalí

*Fuente: Propia*

#### 3.1.3.2. Nomenclatura de los requerimientos a analizar

La nomenclatura utilizada para describir cada uno de los requerimientos del proyecto se menciona en la tabla 10:

Tabla 10: Nomenclatura de los requerimientos

<b>Requerimiento</b>	<b>Siglas</b>
Stakeholders	StSR
Sistemas	SYSR
Arquitectura	SRSH

Fuente: Propia

### 3.1.3.3. Requerimientos de usuario

De acuerdo con las encuestas realizadas a los moradores de la comunidad del Chota se pueden mencionar las necesidades de estos según la tabla 11, además de los requerimientos operacionales que debe cumplir el sistema:

Tabla 11: Requerimientos de los actores

<b>SR1</b>					
<b>REQUERIMIENTOS DE LOS ACTORES</b>					
#	REQUERIMIENTO	PRIORIDAD			RELACIÓN
		ALTA	MEDIA	BAJA	
<b>REQUERIMIENTOS OPERACIONALES</b>					
<b>StSR 1</b>	Conexión inalámbrica del usuario final	x			
<b>StSR 2</b>	Tiempo de establecimiento de conexión inalámbrica no mayor de 1 minuto	x			
<b>StSR 3</b>	Tamaño reducido del sistema			x	
<b>StSR 4</b>	Alimentación portable	x			SRSH 18
<b>StSR 5</b>	Tiempo de duración de batería mínimo de 2 horas continuas	x			SRSH 18
<b>REQUERIMIENTOS DE LOS USUARIOS</b>					
<b>StSR 7</b>	Recolección de datos en tiempo real	x			
<b>StSR 8</b>	Información ordenada, clara y actualizada	x			
<b>StSR 11</b>	Recepción de avisos cuando se midan valores diferentes de los que determinan la calidad del agua	x			

Fuente: Propia

### 3.1.3.4. Requerimientos del sistema

En la tabla 12 se muestran los requerimientos relacionados con las funciones del sistema como son los requisitos de uso, rendimiento, estados, además de los requisitos físicos del proyecto.

Tabla 12: Requerimientos funcionales

<b>SR2</b>					
<b>REQUERIMIENTOS DE FUNCIONES</b>					
#	REQUERIMIENTO	PRIORIDAD			RELACIÓN
		ALTA	MEDIA	BAJA	
<b>REQUERIMIENTOS DE USO</b>					
<b>SySR 1</b>	Tiempo de lectura de los datos máximo de 1 minuto	x			
<b>SySR 2</b>	Paneles solares para recargar la batería deben tener capacidad de 1000mA		x		
<b>SySR 3</b>	Bajo consumo de energía para transmisión de datos.	x			
<b>REQUERIMIENTOS DE RENDIMIENTO</b>					
<b>SySR 4</b>	Sensores calibrados de fábrica		x		
<b>SySR 5</b>	Tiempo de respuesta menor o igual a 1min del sensor	x			
<b>SySR 6</b>	Censar los valores de pH del agua constantemente	x			
<b>SySR 7</b>	Medición continua de temperatura y turbiedad del agua				
<b>SySR 8</b>	Sensado del potencial de óxido reducción	x			
<b>SySR 9</b>	Tecnología inalámbrica para transmisión de datos a una distancia mínima de 30m	x			
<b>SySR 10</b>	Memoria FLASH de la placa debe ser mínimo de 128kB		x		
<b>SySR 11</b>	Memoria SRAM mínima de 48kB	x			
<b>SySR 12</b>	Batería con capacidad mínima de 1055mAh	x			SRSH18
<b>SySR 13</b>	Los dispositivos de los usuarios deben tener cobertura de al menos 50 metros		x		
<b>REQUERIMIENTO DE ESTADOS</b>					
<b>SySR 14</b>	En tiempos de inactividad el modo ahorro de energía se activa			x	
<b>SySR 15</b>	El funcionamiento del sistema es independiente de la recarga de la batería	x			
<b>REQUERIMIENTOS FÍSICOS</b>					
<b>SySR 16</b>	Sistema con protección impermeable para evitar contacto de elementos con el agua	x			
<b>SySR 17</b>	Sensores sumergibles en agua	x			SRSH 4

Fuente: Propia

### 3.1.3.5. Requerimientos de arquitectura

En este caso los requerimientos de arquitectura hacen referencia al diseño, hardware y software del sistema, además de la alimentación de este. En la tabla 13 se observan estos requerimientos:

Tabla 13: Requerimientos de arquitectura

<b>ASR</b>					
<b>REQUERIMIENTOS DE ARQUITECTURA</b>					
<b>#</b>	<b>REQUERIMIENTO</b>	<b>PRIORIDAD</b>			<b>RELACIÓN</b>
		<b>ALTA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>BAJA</b>	
<b>REQUERIMIENTOS DE DISEÑO</b>					
<b>SRSH 1</b>	Se deben realizar las conexiones evitando cruces	x			
<b>SRSH 2</b>	Prototipo para colocar los diversos elementos del sistema	x			
<b>SRSH 3</b>	Sensores deben estar ubicados a una distancia de 3-4 cm de otros objetos asegurándose de que el bulbo de los sensores de pH y ORP no tengan contacto	x			
<b>SRSH 4</b>	Los sensores deben estar completamente sumergidos todo el tiempo para evitar que flujos de aire perturben las mediciones	x			
<b>SRSH 5</b>	Se debe asegurar un lugar donde haya nivel mínimo de agua estable para evitar mediciones erróneas	x			
<b>REQUERIMIENTO DE HARDWARE</b>					
<b>SRSH 6</b>	Sistema embebido compatible con sensores	x			
<b>SRSH 7</b>	Sistema embebido debe poseer mínimo 4 puertos de lectura analógica para ubicar los sensores	x			
<b>SRSH 8</b>	Los datos deben ser procesados con rapidez en el sistema embebido	x			
<b>SRSH 9</b>	Sistema embebido con memoria RAM de 1GB	x			
<b>SRSH 10</b>	Consumo de energía máximo de la placa de 2 <sup>a</sup>	x			
<b>SRSH 11</b>	Sensores con módulo para conectar a la placa	x			
<b>SRSH 12</b>	Sensores compatibles con los respectivos módulos	x			SySR 6
<b>REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE</b>					
<b>SRSH 13</b>	Lenguaje de programación flexible y de uso libre	x			

<b>SRSH 14</b>	Librerías para los sensores con módulos disponibles y compatibles	x	SRSH 11
<b>SRSH 15</b>	Base de datos rápida y segura		
<b>SRSH 16</b>	Base de datos para almacenamiento debe soportar diversos tipos de datos	x	
<b>SRSH 17</b>	Base de datos debe permitir crear diversos usuarios con distintos privilegios		
<b>REQUERIMIENTO ELÉCTRICO</b>			
<b>SRSH 18</b>	Sistema de alimentación por medio de baterías recargables LiPo de al menos 5 V a 1055mAh	x	SySR12

*Fuente: Propia*

### 3.2. Elección de hardware y software

La importancia de este paso es el detalle de cada una de las posibles soluciones para a continuación determinar cuál es la mejor para el desarrollo del sistema, siendo la elección de la placa la parte principal pues en las tablas de los requerimientos se mencionó que esta debe presentar diversas características como es la existencia de librerías compatibles con los sensores a usar, la capacidad de memoria, el consumo de batería, entre otros.

#### 3.2.1. Elección de hardware

El hardware por analizar es el relacionado con el sensado de las variables y el de procesamiento de estas por lo que a continuación se estudian los atributos de las soluciones más convenientes para el caso y de ahí se determinará el que mejores características posea.

##### *3.2.1.1. Elección del microcontrolador*

Para la elección de la mejor placa para el proyecto se consideran las siguientes: Raspberry, Waspnote y Arduino Yun que son las que más se acercan a los requerimientos del sistema en general. Ver en la tabla 14 la elección:

Tabla 14: Elección de la placa de procesamiento

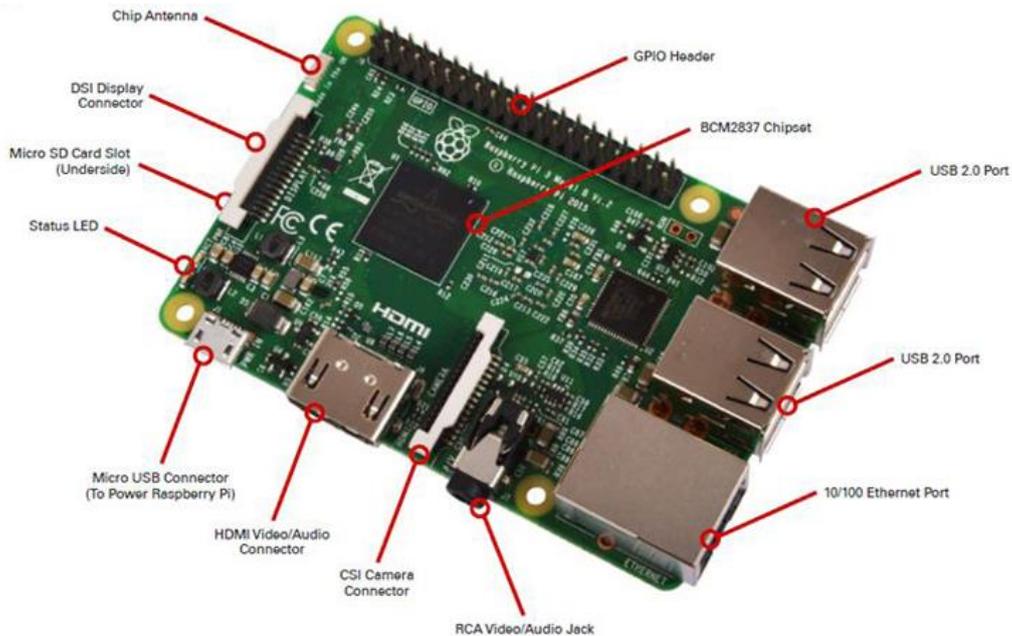
Elección de la placa de procesamiento										
#	Tipo	Requerimientos							Wi-fi integrado	Valoración
		StSR 7	SySR 10	SySR 11	SRSH 6	SRSH 7	SRSH 9	SRSH 10		
M1	Arduino Yun	1	0	0	1	1	0	1	1	5
M2	Raspberry Pi 3 B+	1	1	1	1	0	1	1	1	8
M3	Waspote	1	1	0	0	1	0	1	0	3
<b>Cumple</b>		"1"								
<b>No cumple</b>		"0"								
<b>Elección</b>		El microcontrolador elegido para este caso es el Raspberry pi								

*Fuente: Propia*

**Raspberry pi.** - Es una placa de procesamiento que posee las funcionalidades de una computadora real, es capaz de procesar la información recolectada de diversos sensores y presentarlos en una base de datos de fácil comprensión para el usuario, además esta placa posee los siguientes atributos eléctricos:

- Procesador ARM Cortex-A53 de 64-bit de 4 núcleos a 1.2GHz.
- Memoria RAM de 1GB
- LAN inalámbrica 802.11n y bluetooth integrados.
- Puertos USB, Ethernet y GPIO
- Capacidad de funcionar con sistemas operativos basados en Linux con distribuciones como Raspbian.

En la figura 26 se muestran las características de este elemento:



*fig. 26: Elementos del Raspberry pi 3B +  
Fuente: (Arrebola Pérez, Bandera Rubio, & Cano García, 2008)*

- La placa consta de 1 puerto Ethernet 10/100, 4 puertos USB, Microcontrolador BCM2837, Pines GPIO, Antena chip, Conector display DSI, Ranura para tarjeta microSD, Leds de estado, Conector para fuente de alimentación, conector HDMI Video/audio, Conector para cámara CSI, salida de audio.

### ***3.2.1.2. Elección de sensores***

A continuación, se detalla la elección de los sensores que forman parte del sistema, en las tablas 15, 16, 17 y 18 se mencionan las elecciones de los sensores de pH, temperatura, ORP y turbidez, respectivamente, de acuerdo con los requerimientos antes mencionados en las tablas 11 a 13.

#### ***3.2.1.2.1. Elección del sensor de pH***

En el mercado existen un sin número de sensores que son capaces de medir este parámetro, a continuación, en la tabla 15 se exponen los más importantes:

Tabla 15: Elección de sensor de pH

Elección de sensor de pH							
#	Fabricante o modelo	Requerimientos					Valoración
		SySR 4	SySR 5	SySR 17	SRSH 11	SRSH 14	
pH1	Atlas scientific	1	1	1	1	0	4
pH2	Sen-0161	1	1	1	1	1	5
pH3	Libelium	1	1	1	1	0	4
<b>Cumple</b>		"1"					
<b>No cumple</b>		"0"					
<b>Elección</b>		El sensor para usar, en este caso, es el de la serie Sen-0161					

*Fuente: Propia*

**Sensor de pH Sen-0161.** – Es un sensor que permite medir el pH del agua, además cumple con las características de compatibilidad para la placa de procesamiento, a diferencia de las otras dos opciones, este sensor presenta una alta precisión y una toma de datos en un tiempo estimado máximo de un minuto. Estas y más características se presentan a continuación:

- Tensión de calentamiento:  $5 \pm 0.2V$  (AC · DC)
- Corriente de trabajo: 5-10mA
- Rango de concentración detectable: PH0-14
- Rango de temperatura de detección: 0-80 °C
- Tiempo de respuesta:  $\leq 5s$
- Tiempo de establecimiento:  $\leq 60S$
- Energía del componente:  $\leq 0.5W$
- Temperatura de trabajo: -10 ~ 50 °C (temperatura nominal 20 °C)

- Humedad: 95% RH (humedad nominal 65% RH)
- Tamaño del módulo: 42mm × 32mm × 20mm
- Salida: salida de señal de voltaje analógica

En la figura 27 se observa la apariencia física de este dispositivo:



fig. 27: Sensor de pH  
Fuente: (BricoGeek, 2015)

Su costo en mercado libre es de aproximadamente 50 dólares.

#### 3.2.1.2.2. Elección del sensor de temperatura

En la tabla 16 se muestran los atributos de los sensores más conocidos en el mercado y que más se apegan a las necesidades del sistema:

Tabla 16: Elección de sensor de temperatura

Elección de sensor de temperatura							
#	Fabricante o Modelo	Requerimientos					Valoración
		SySR 4	SySR 5	SySR 17	SRSH 11	SRSH 14	
T1	Atlas scientific	1	1	1	1	0	4
T2	Lm35	1	1	1	1	1	5

T3	Libelium	1	1	1	1	0	4
	<b>Cumple</b>	"1"					
	<b>No cumple</b>	"0"					
	<b>Elección</b>	El sensor para usar es el lm35					

*Fuente: Propia*

**Sensor de temperatura lm35.** - Al igual que el sensor de pH la temperatura ayuda a formular un criterio de calidad del agua para lo cual a continuación se mencionan las características principales del sensor:

- Rango de temperatura: -55 a 125°C
- Resolución: de 9 a 12 bits (configurable)
- Interfaz 1-Wire (Puede funcionar con un solo pin)
- Identificador interno único de 64 bits
- Múltiples sensores pueden compartir el mismo pin
- Precisión:  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  (de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $+85^{\circ}\text{C}$ )
- Tiempo de captura inferior a 750ms
- Alimentación: 3.0V a 5.5V (BricoGeek, 2015)

En la figura 28 se puede ver el empaquetado del sensor lm35 a mayor detalle:



fig. 28: Sensor de temperatura  
Fuente: (BricoGeek, 2015)

El costo de este sensor es de aproximadamente 5 dólares.

### 3.2.1.2.3. Elección del sensor de ORP

En la tabla 17 se realiza un análisis de los sensores de ORP existentes en el mercado con la finalidad de elegir el más idóneo para los fines que persigue el presente proyecto, de acuerdo con los requerimientos antes estudiados en este capítulo:

Tabla 17: Elección del sensor de ORP

Elección de sensor de potencial óxido-reducción							
#	Fabricante	Requerimientos					Valoración
		SySR 4	SySR 5	SySR 17	SRSH 11	SRSH 14	
ORP1	Atlas scientific	1	1	1	1	0	4
ORP2	Dfrobot (Sen0165)	1	1	1	1	1	5
ORP3	Libelium	1	1	1	1	0	4
<b>Cumple</b>		<b>“1”</b>					

---

<b>No cumple</b> “0”
<b>Elección</b>
El sensor elegido es el de DFROBOT modelo sen 0165

---

*Fuente: Propia*

**Sensor de ORP modelo Sen 0165.** – Este tipo de variables que se miden con dichos sensores son de gran importancia para el proyecto según la investigación realizada en el capítulo de marco teórico, ya que brindan valores más cercanos relacionados con la calidad del agua, siendo este el motivo por el cual se decide sustituir esta variable junto con la de turbidez por el sensado del oxígeno disuelto que además posee un costo elevado con el cual atenta la viabilidad del proyecto. A continuación, se observan las características de este sensor:

- Interfaz: analógico
- Tensión de alimentación: 5VCC
- Número de canales: 1
- Peso bruto: 0.17 kg (TEM, 2016)

La figura 29 muestra el sensor de ORP con su módulo para conectar al microcontrolador:



fig. 29: Sensor de ORP  
Fuente: (TEM, 2016)

#### 3.2.1.2.4. Elección del sensor de turbidez

En la tabla 18 se muestran los diversos sensores disponibles en el mercado capaces de medir variables de este tipo con el detalle de cumplimiento de los requerimientos antes descritos:

Tabla 18: Elección del sensor de turbidez

Elección de sensor de turbidez							
#	Fabricante o Modelo	Requerimientos					Valoración
		SySR 4	SySR 5	SySR 7	SRSH 11	SRSH 14	
T1	Atlas scientific	1	1	1	1	0	4
T2	Sen 0189	1	1	1	1	1	5
T3	Libelium	1	1	1	1	0	4
<b>Cumple</b>		"1"					
<b>No cumple</b>		"0"					
<b>Elección</b>		El sensor para usar es el Sen 0189					

Fuente: Propia

**Sensor de Turbidez modelo sen0189.** -“El sensor de turbidez emite en su extremo una luz infrarroja, imperceptible para la visión humana, capaz de detectar partículas que están suspendidas en el agua, midiendo la transmitancia de la luz y la tasa de dispersión, que cambia según la cantidad de SST (sólidos suspendidos totales), aumentando la turbidez del líquido cada vez que aumentan los niveles” (ROBU.IN, 2018). En la figura 30 se observa la sonda del sensor y el módulo de conexión que se usa para que este se comunique con el microcontrolador:



*fig. 30: Sensor de turbidez*

*Fuente: <https://avelectronics.cc/producto/sensor-de-turbidez/>*

Las principales características del sensor de turbiedad se detallan a continuación:

- “Salida digital: señal alta/baja se puede ajustar el valor de umbral con el potenciómetro.
- Temperatura de operación: 5 °C ~ 90 °C.
- Temperatura de almacenamiento: -10 °C ~ 90 °C.
- Salida análoga de 0V - 4.5V.
- Salida de tipo análoga.
- Resistencia de aislamiento: 100M mínimo.

- Tiempo de respuesta: < 500ms.
- Corriente de operación: 40mA máximo.
- Voltaje de alimentación 5v” (HeTpro, 2017).

### 3.2.1.3. Elección del módulo de comunicaciones para el caso de picos altos o alertas

Se realiza la búsqueda de una tecnología que tenga cobertura en el lugar de desarrollo del proyecto, que además posea un largo alcance y permita a los usuarios obtener información en el momento oportuno. Para este caso se hace el análisis, en la tabla 19, de diversos módulos de comunicaciones existentes en el mercado que permiten esta característica en contraste con los requerimientos analizados en las tablas anteriores de este capítulo de diseño:

Tabla 19: Elección del módulo de comunicaciones

<b>Elección de módulo de comunicaciones</b>				
#	Módulo	Requerimientos		Valoración
		StSR 2	SySR 9	
M1	GSM/GPRS SIM 900	1	1	2
M2	Zigbee Xbee	1	0	1
M3	Bluetooth	1	0	1
<b>Cumple “1”</b>				
<b>No cumple “0”</b>				
<b>Elección</b> La elección en este caso es GSM/GPRS				

*Fuente: Propia*

**Módulo GSM/GPRS SIM900.** – Este módulo presenta las cualidades que se mencionan en los requerimientos de los usuarios lo cual es de gran utilidad ya que de los

atributos diversos que presenta esta tecnología depende en gran mayoría el que la gente de la comunidad se encuentre informada y alerta a las situaciones de riesgo que puede significar el no tener acceso a los datos en el momento preciso. Las características de este módulo se muestran a continuación:

- cuádruple banda 850/900/1800/1900 MHz
- GPRS multi-slot clase 10/8
- GPRS Clase estación móvil B
- Compatible con GSM fase 2/2 +
- Clase 4 (2W 850 / 900 MHz)
- Clase 1 (1 W 1800 / 1900MHz)
- control a través de los comandos AT (GSM 07.07, 07.05 y SIMCOM mejorada comandos AT)
- bajo consumo de energía: 1,5 mA (modo de reposo)
- temperatura de funcionamiento: -40 ° C a +85 ° C (HobbyElectronica, 2016).

En la figura 31 se observa el módulo SIM900:



*fig. 31: Módulo SIM900 GSM*  
*Fuente: (HobbyElectronica, 2016)*

### 3.2.2. Elección de software

La elección del software idóneo se realiza en base a las tablas de requerimientos 11, 12 y 13 mencionadas anteriormente para lo cual primero se hace un análisis del lenguaje de programación para dichos requerimientos y luego de la base de datos en donde serán almacenados los valores recolectados.

#### 3.2.2.1. Elección del lenguaje de programación

En la tabla 20 se hace referencia al entorno en el que se va a desarrollar la programación más idónea para la placa:

Tabla 20: Elección del entorno de programación

<b>Elección de entorno de programación</b>				
#	Entorno	Requerimientos		Valoración
		SRSH 13	SRSH 14	
L1	IDE de Arduino	1	1	2
L2	AVR (Atmega)	1	1	2
L3	Raspberry pi phyton	1	1	2
L4	PIC C Compiler	1	1	2
<b>Cumple</b>		<b>“1”</b>		
<b>No cumple</b>		<b>“0”</b>		

---

### Elección

El software idóneo según los requerimientos del software especificado en la tabla de requerimientos de arquitectura es Python ya que este permite la ejecución del código en tiempo real, además de que se puede correr en el microprocesador Raspberry pi sin ningún problema, lo que permite que no existan retrasos considerables al momento de tomar una decisión.

---

*Fuente: Propia*

**Python.** – “Python es un claro y poderoso lenguaje de programación orientado a objetos, comparable a Perl, Ruby, Scheme o Java.

Algunas de las características notables de Python:

- Es un lenguaje fácil de usar que simplifica el funcionamiento de su programa, esto hace que Python sea ideal para el desarrollo de prototipos y otras tareas de programación ad-hoc, sin comprometer la capacidad de mantenimiento.
- Viene con una gran biblioteca estándar que admite muchas tareas de programación comunes, como conectarse a servidores web, buscar texto con expresiones regulares, leer y modificar archivos.
- Funciona en cualquier lugar, incluyendo Mac OS X, Windows, Linux y Unix, con versiones no oficiales también disponibles para Android y iOS.

- Hay una variedad de tipos de datos básicos disponibles: números (enteros de punto flotante, enteros complejos y de longitud ilimitada), cadenas (tanto ASCII como Unicode), listas y diccionarios.
- Python admite la programación orientada a objetos con clases y herencia múltiple.
- El código se puede agrupar en módulos y paquetes.
- El lenguaje es compatible con generar y capturar excepciones, lo que resulta en un manejo de errores más limpio.
- Los tipos de datos son fuerte y dinámicamente tipados. La mezcla de tipos incompatibles (por ejemplo, intentar agregar una cadena y un número) hace que se genere una excepción, por lo que los errores se detectan antes.
- Python contiene funciones de programación avanzadas, como generadores y listas de comprensión” (Smith, 2017)

### 3.2.2.2. Elección del gestor de base de datos

En la tabla 21 se realiza el análisis de los gestores de bases de datos más conocidos y usados en proyectos de monitoreo de variables del entorno:

Tabla 21: Elección del gestor de base de datos

Elección del gestor de base de datos					
#	BBDD	Requerimientos			Valoración
		SRSH 15	SRSH 16	SRSH 17	
B1	MySQL	1	1	1	3
B2	MariaDB	1	1	1	3

B3	SQLite	1	0	1	2
B4	PostgreSQL	1	1	1	3
<b>Cumple</b>			"1"		
<b>No cumple</b>			"0"		

### **Elección**

El gestor que se usa en este caso es el de MySQL debido a que cumple con las características requeridas para el presente proyecto.

*Fuente: Propia*

**MySQL.** -Es un SGBD que ha ganado popularidad por una serie de atractivas características:

- “Está desarrollado en C/C++.
- Está optimizado para equipos de múltiples procesadores.
- Es muy destacable su velocidad de respuesta.
- Se puede utilizar como cliente-servidor o incrustado en aplicaciones.
- Cuenta con un rico conjunto de tipos de datos.
- Soporta múltiples métodos de almacenamiento de las tablas, con prestaciones y rendimiento diferentes para poder optimizar el SGBD a cada caso concreto.
- Su administración se basa en usuarios y privilegios.
- Se tiene constancia de casos en los que maneja cincuenta millones de registros, sesenta mil tablas y cinco millones de columnas.
- Es altamente confiable en cuanto a estabilidad se refiere” (Campos Paré, 2007, Software Libre: Base de Datos).

Una vez realizada la elección de hardware y software se procede a detallar el diseño del sistema, teniendo en cuenta las recomendaciones de la metodología del modelo en V que se sigue para la creación del proyecto.

### **3.3.Diseño del sistema de medición de la calidad del agua del Río Chota**

En este apartado lo que se pretende es expresar de manera general el funcionamiento del sistema mediante un diagrama de bloques que destaca cada una de las áreas funcionales del proyecto, luego se explican las conexiones entre los dispositivos por medio del diagrama circuital, el desarrollo de software con las pruebas correspondientes y finalmente el análisis del hardware a usar.

#### **3.3.1. Diagrama de bloques general del sistema**

El funcionamiento general del sistema se presenta en el diagrama de la figura 32 con la finalidad de explicar las acciones que realiza cada área siendo las más importantes las que se detallan a continuación:

- En la primera etapa del diagrama de bloques de la figura 32 se observa que el sistema de medición de la calidad del agua se encuentra alimentado por medio de baterías recargables que permiten a los dispositivos funcionar de manera autónoma.
- La siguiente etapa es la de sensado en la que se miden las variables de pH, Temperatura, turbidez y ORP en sitio.
- El sistema de procesamiento es la siguiente etapa y hace referencia a la conversión de los datos de cada variable a las unidades correspondientes, además al transporte de estos mediante conexión serial hacia el

Raspberry pi y al envío de mensajes de texto al presidente de la comunidad en caso de alertas.

- La siguiente etapa comprende la recepción de los datos enviados desde el Arduino UNO hacia el Raspberry y el almacenamiento de estos en una base de datos.
- En la última etapa se permite al usuario monitorear la información almacenada en la base de datos por medio de conexión inalámbrica entre este y el Raspberry al igual que la recepción de alertas en caso de que se sobrepase los niveles aceptables de las variables sensadas.

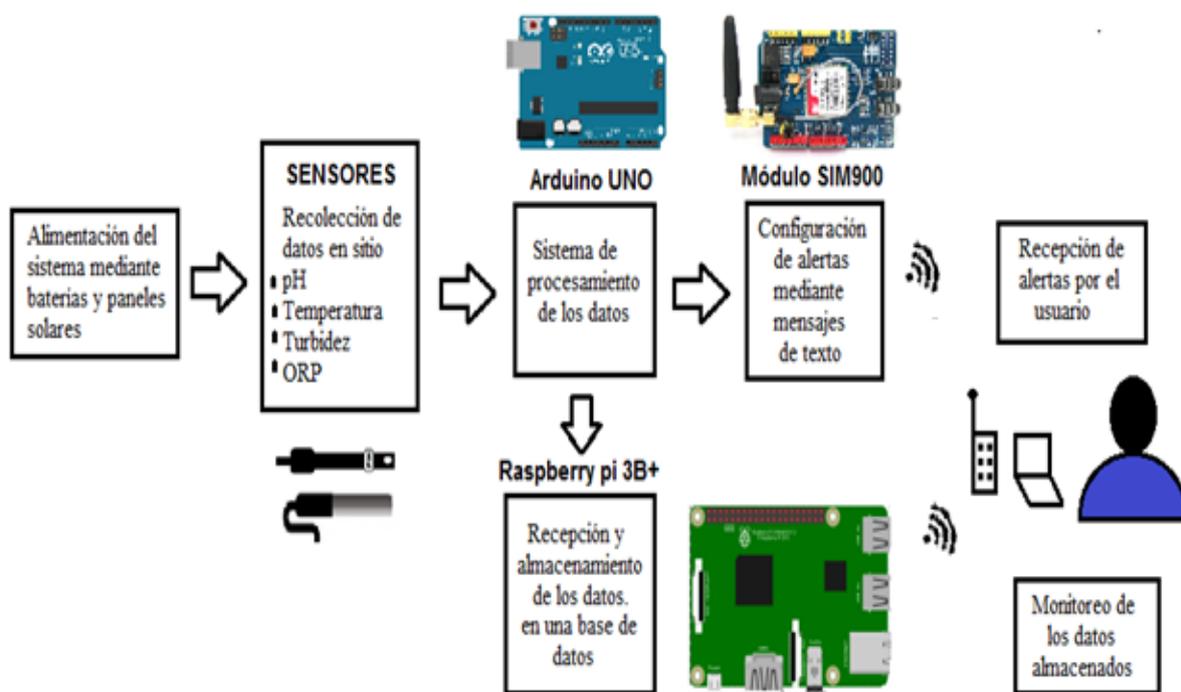


fig. 32: Diagrama de bloques general del sistema  
Fuente: Construcción propia

Luego de explicar de manera general el funcionamiento del sistema es necesario determinar las conexiones que se usan para interconectar los dispositivos tal como se especifica en el siguiente apartado.

### **3.3.2. Desarrollo de conexiones**

Conocer los vínculos entre los dispositivos es de gran importancia debido a que de ello depende el buen funcionamiento del sistema en general, es por ello que en la figura 33 se muestra el diagrama circuital del sistema, en donde se observan las respectivas conexiones a tierra y a voltaje de alimentación de los dispositivos, además del enlace entre los sensores con los pines analógicos del Arduino UNO, también se logra observar la comunicación serial entre el Arduino con el módulo SIM900 y la conexión con el Raspberry por medio del conector USB.

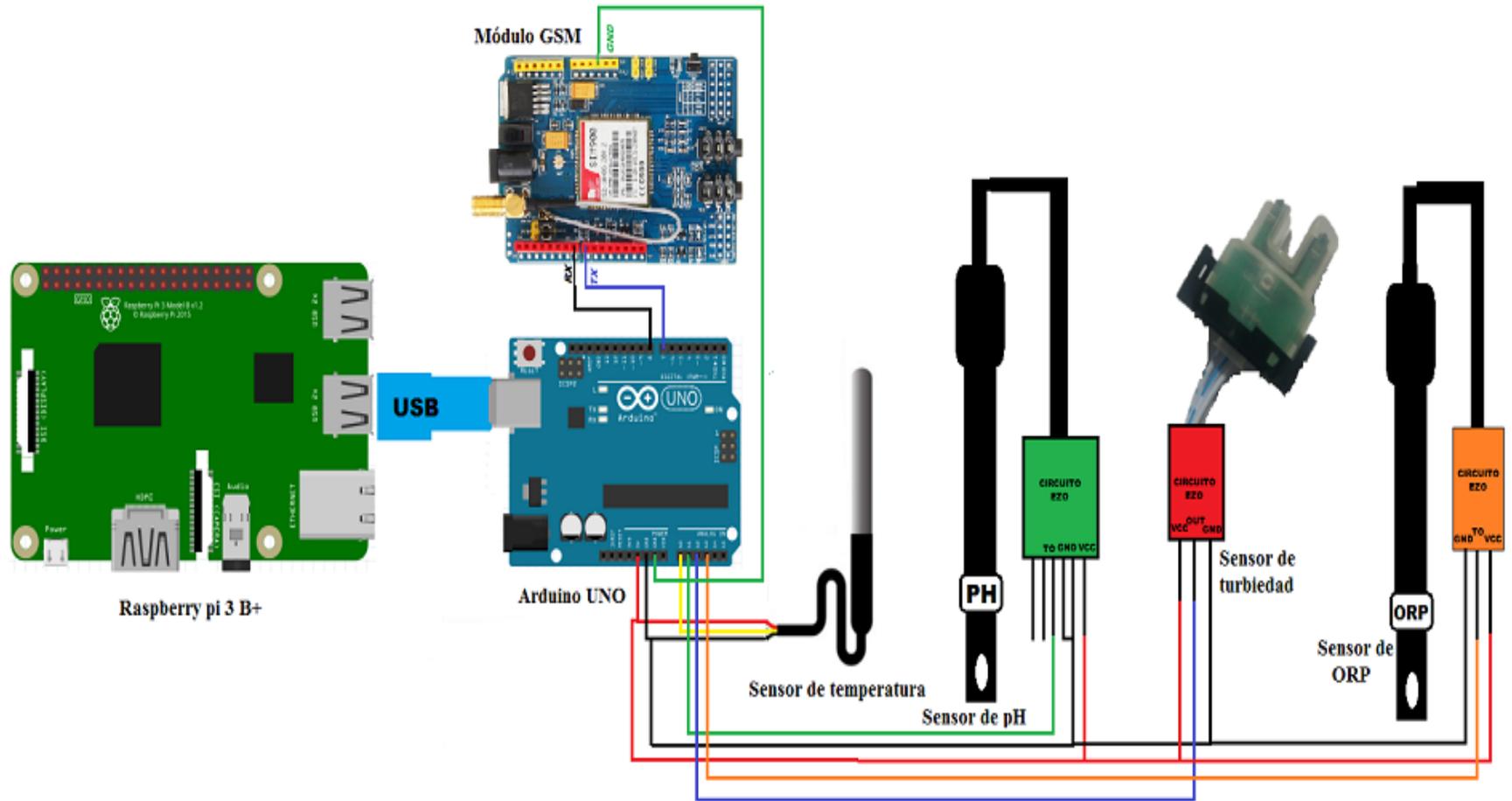


fig. 33: Diagrama circuital del sistema  
Fuente: Propia

### **3.3.3. Desarrollo de calibración de los sensores**

En esta sección se prepara a los sensores para que estos realicen mediciones reales de las propiedades del agua, mediante la determinación de la ecuación que en cada caso específico permite transformar los valores análogos enviados por los sensores a la unidad respectiva, siendo para el pH un valor adimensional, las NTU para la turbidez, en el caso de la temperatura los grados centígrados (°C) y el ORP en milivoltios (mV).

#### ***3.3.3.1. Lectura de datos con el sensor de pH***

Para llevar a cabo la lectura de datos del sensor de pH inicialmente se conecta el sensor al Arduino UNO como se observa en la figura 34:

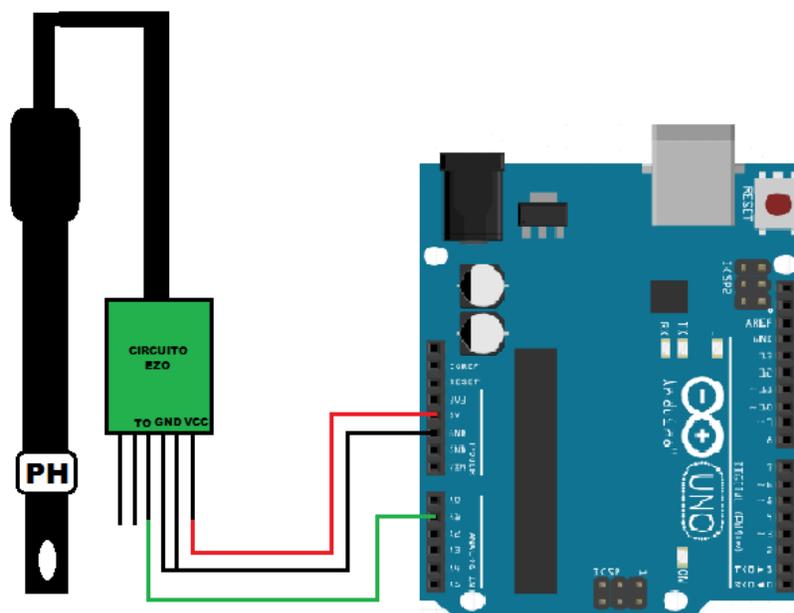


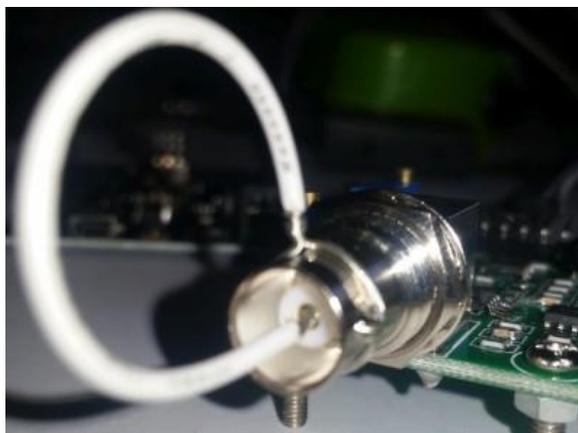
fig. 34: Conexión entre sensor de pH y Arduino  
Fuente: Construcción en software Fritzing

Una vez se tiene la conexión se carga el programa en el Arduino (Anexo A), el cual transforma valores análogos a voltaje según se observa en el diagrama de flujos de la figura 35, en donde inicialmente se declara una variable para la lectura de datos analógicos del sensor y otra para convertirlos a voltios mediante la ecuación respectiva, para luego inicializar la comunicación serial, además se usa la ecuación para transformar los valores a voltios y se los almacena en la variable `phVoltaje` e inmediatamente se imprimen para ser visualizados en el monitor serie del IDE de Arduino.



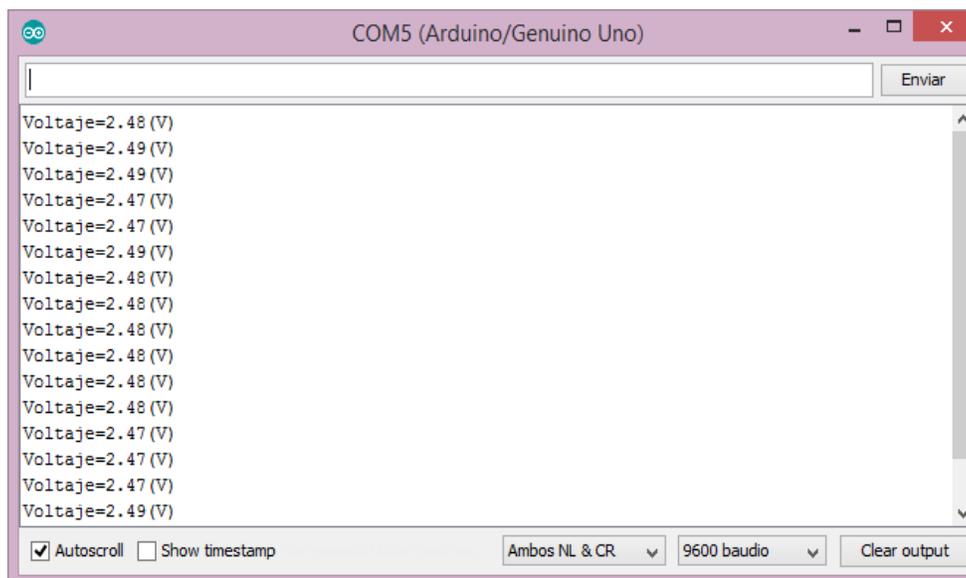
*fig. 35: Diagrama de flujo para transformar valores análogos de los sensores a voltaje  
Fuente: Propia*

El siguiente paso es retirar la sonda del módulo de manera que únicamente el módulo se encuentre conectado al Arduino para luego ponerlo en neutro, como se observa en la figura 36; al hacer esto se imprime en el monitor de Arduino valores de voltaje que oscilen entre los 2.47 a 2.50 voltios:



*fig. 36: Conexión del módulo del sensor de pH en neutro*  
*Fuente: <https://www.botshop.co.za/how-to-use-a-ph-probe-and-sensor/>*

Para conseguir lo dicho, se debe mover el potenciómetro ubicado en la parte superior derecha cercana a la sonda de pH hasta observar en el monitor serie de Arduino valores de voltaje cercanos a 2.5V. Como se observa en la figura 37, los valores medidos por el módulo de pH en este caso fluctúan entre 2.47, 2.48 y 2.49, valor muy cercano a 2.5V que se requiere.



*fig. 37: Captura del voltaje impreso en el monitor serie del IDE de Arduino al poner en neutro el módulo de pH*  
*Fuente: propia*

Una vez realizado lo antes mencionado se determina la ecuación exacta con la que se miden los valores de pH reales de cada solución, para ello se usan las soluciones de pH disponibles en el mercado, como son las de 4.01, 6.86 y 9.18 a 25 °C de temperatura como se observa en la figura 38:



*fig. 38: Soluciones de pH utilizadas en el proyecto*  
*Fuente: <http://bit.ly/2ZCKqxl>*

De acuerdo con los valores de pH mostrados en la figura 38 previamente diluidos en agua, se mide el voltaje que entrega el sensor conectado al Arduino en cada solución, teniendo en cuenta que los valores de voltaje tendrán ligeras variaciones ya que la temperatura del agua no necesariamente es de 25°C. A continuación, se lista por casos cada uno de los valores de voltaje hallados en cada solución:

- Caso 1. -Solución con  $\text{pH}=4.01$ , se obtiene un voltaje aproximado de 2.98 como se observa en la figura 39:

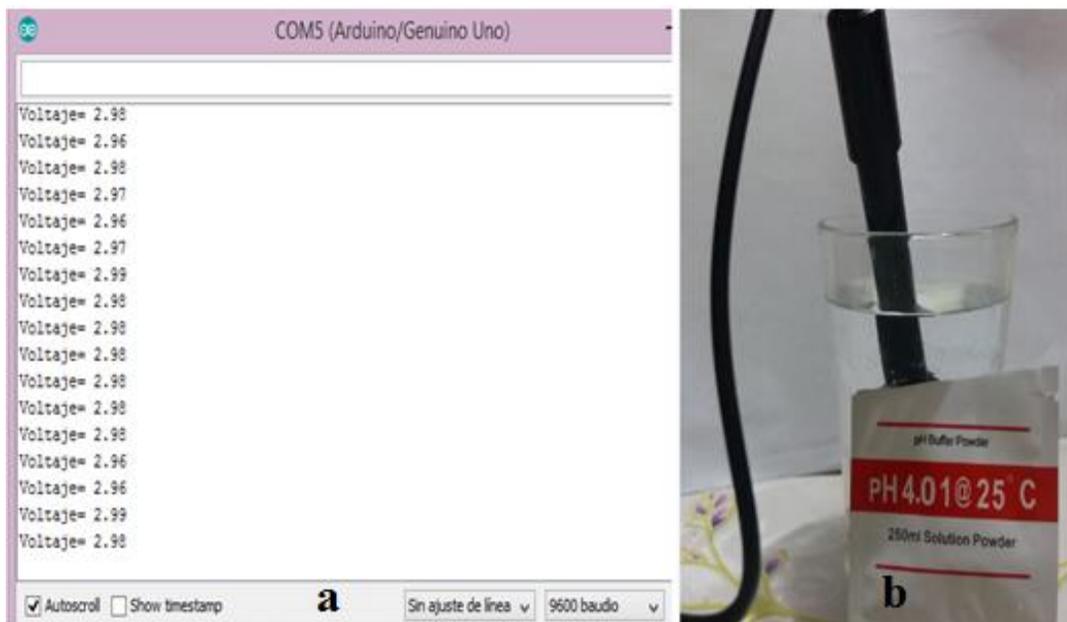


fig. 39: a) Captura del voltaje impreso en el monitor serie del IDE de Arduino b) Sonda sumergida en solución con  $pH= 4.01$   
Fuente: Propia

- Caso 2. -Solución con  $pH=6.86$ , el voltaje que entrega el sensor en este caso es de aproximadamente 2.53, como se presenta en la figura 40:

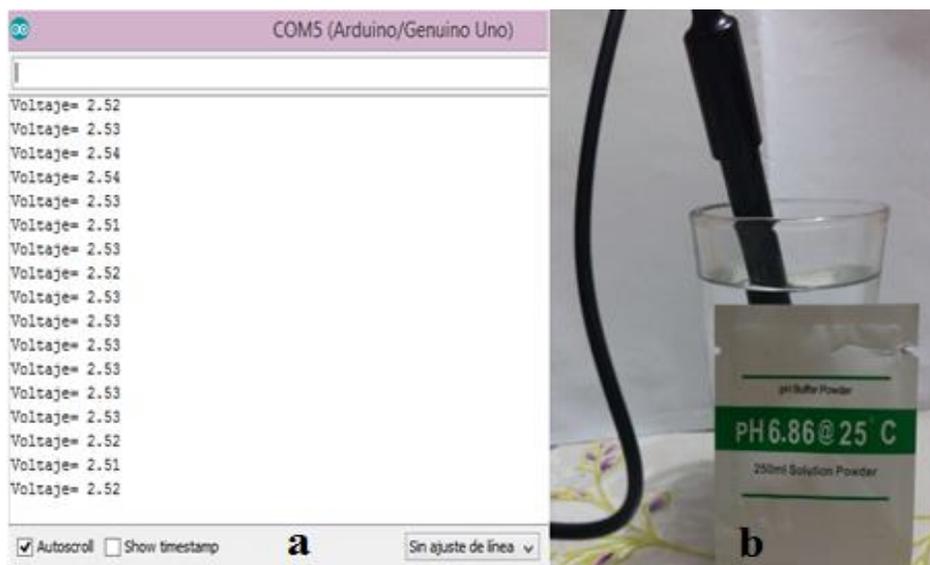


fig. 40: a) Captura del voltaje impreso en el monitor serie del IDE de Arduino b) Sonda sumergida en solución de  $pH= 6.86$   
Fuente: Propia

Caso 3. -Solución con  $\text{pH}=9.18$ , el voltaje entregado es de 2.12 a 2.17 como se observa en la figura 41:

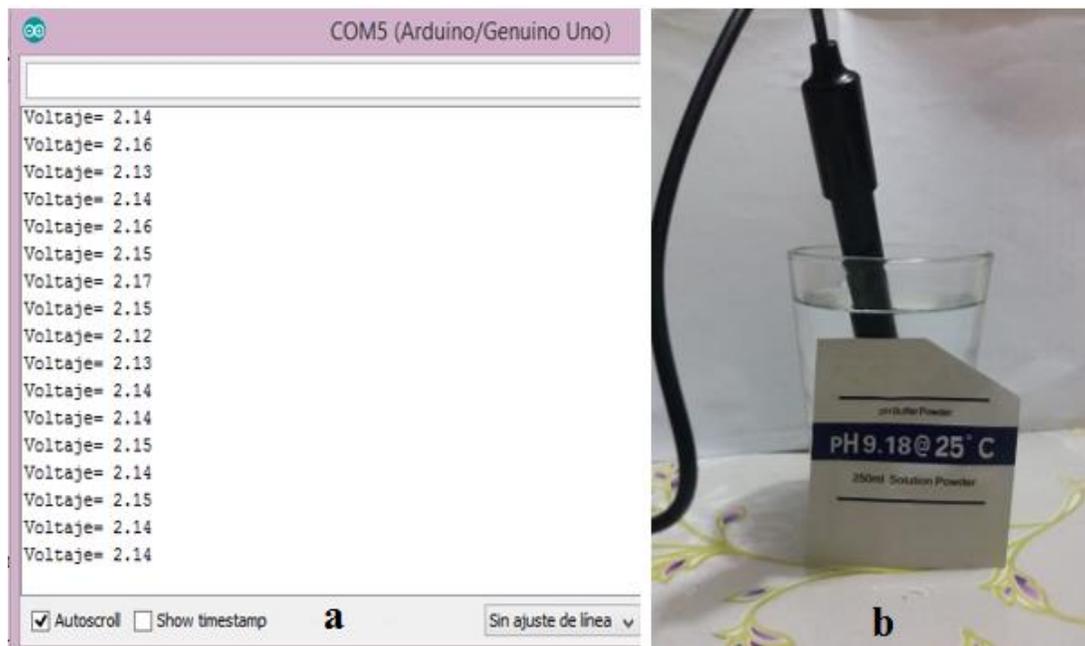


fig. 41: a) Captura del voltaje impreso en el monitor serie del IDE de Arduino b) Sonda sumergida en solución de  $\text{pH}=9.18$   
Fuente: Propia

Una vez realizadas las mediciones se determina la ecuación a utilizar para la medición del  $\text{pH}$ , para llegar a ello se tiene en cuenta los valores hallados en los casos anteriores explicados en resumen en la tabla 22.

Tabla 22: Valores de  $\text{pH}$  de cada solución con su respectivo voltaje

Solución	$\text{pH}$	Voltaje
1	4.01	2.98
2	6.86	2.53
3	9.18	2.12

Fuente: Propia

Según menciona el fabricante el sensor es lineal, entonces para hallar la ecuación correspondiente a este sensor se usa la fórmula de la ecuación de la recta que se muestra a continuación:

$$y - y_1 = m (x - x_1)$$

*Ecuación 2: Ecuación de la recta*

Para el caso de estudio presente los valores más cercanos de pH que arroja el agua son los de las soluciones dos y tres, con los cuales se obtiene que la ecuación para el pH es la siguiente:

$$pH = -5.65 * Tensión(medida en voltios) + 21.15$$

*Ecuación 3: Ecuación para medir el pH*

La ecuación final que se considera para la escritura del programa de medición del pH, tomando en cuenta los valores analógicos captados por el sensor, es la siguiente:

$$pH = (-5.65 * Valor \text{ análogo} + 21.15) * 5,0/1023,0$$

*Ecuación 4: Ecuación para transformar de valor análogo a pH*

### ***3.3.3.2.Lectura de datos del sensor de turbiedad***

Para la lectura de los datos enviados desde el sensor es necesario realizar la conexión entre este y el Arduino UNO que se encuentra en la figura 42:

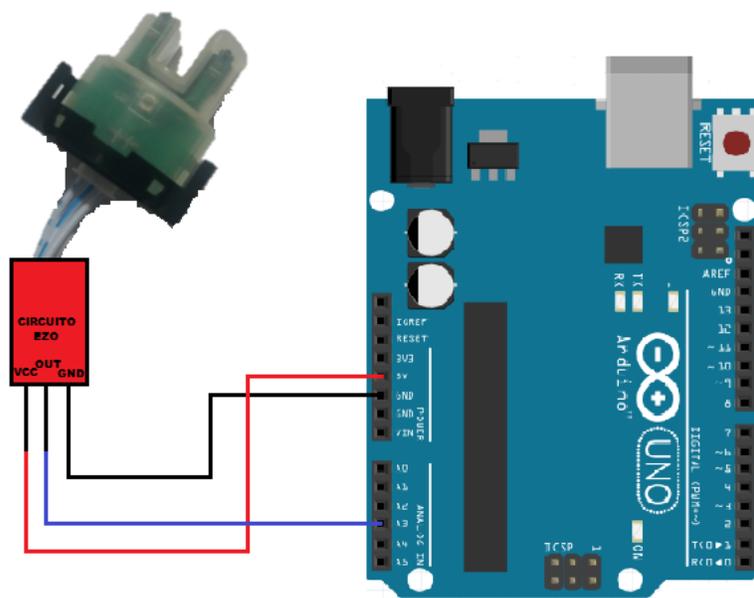


fig. 42: Conexión entre el Arduino y el Sensor de turbidez  
Fuente: Construcción Fritizing

El sensor de turbidez envía valores analógicos al microcontrolador por lo que se debe transformarlos a voltaje para luego convertirlos en la unidad NTU (Nephelometric Turbidity Unit) que se usa para referirse a la turbiedad del agua. Para realizar ello se usa el programa cargado al IDE de Arduino similar al del Anexo A con el mismo diagrama de flujos de la figura 35.

Según el fabricante del sensor al estar este fuera de cualquier líquido debe medir valores de entre 4.02 a 4.20 voltios, como se observa en la figura 43 capturada del monitor serie de Arduino, si el sensor no arroja valores dentro de ese rango se debe mover el potenciómetro que se encuentra en la parte interna de la sonda del sensor.

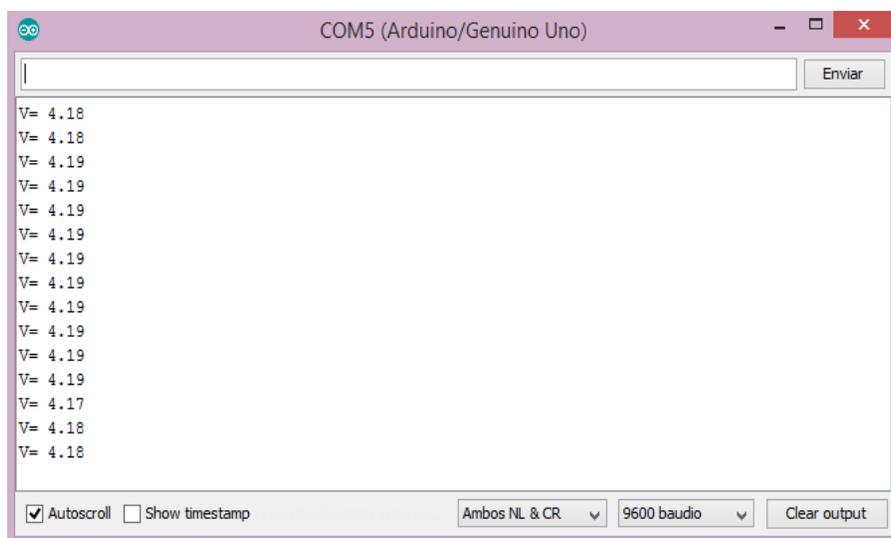


fig. 43: Captura del voltaje entregado por el sensor de turbidez al estar fuera del agua  
Fuente: Monitor serie del IDE de Arduino

Una vez conseguido el valor de voltaje se procede al uso de la ecuación respectiva para transformar los valores de voltaje a NTU (turbiedad), la relación de estas dos variables se muestra en la figura 44:

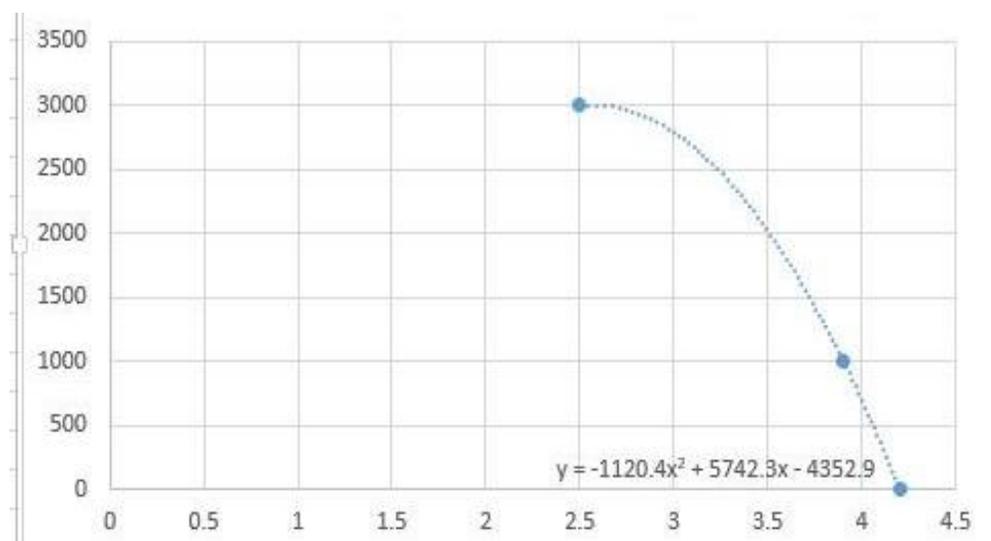


fig. 44: Gráfica de la relación entre voltaje y turbiedad  
Fuente: <https://www.teachmicro.com/arduino-turbidity-sensor/>

En la figura 44 se observa que únicamente en los valores de 2.5 a 4.3 V se hallan valores de turbidez, teniendo valores de 3000 NTU en el caso de un voltaje de 2.5 V y para el caso de 4,3V un valor de 0 NTU.

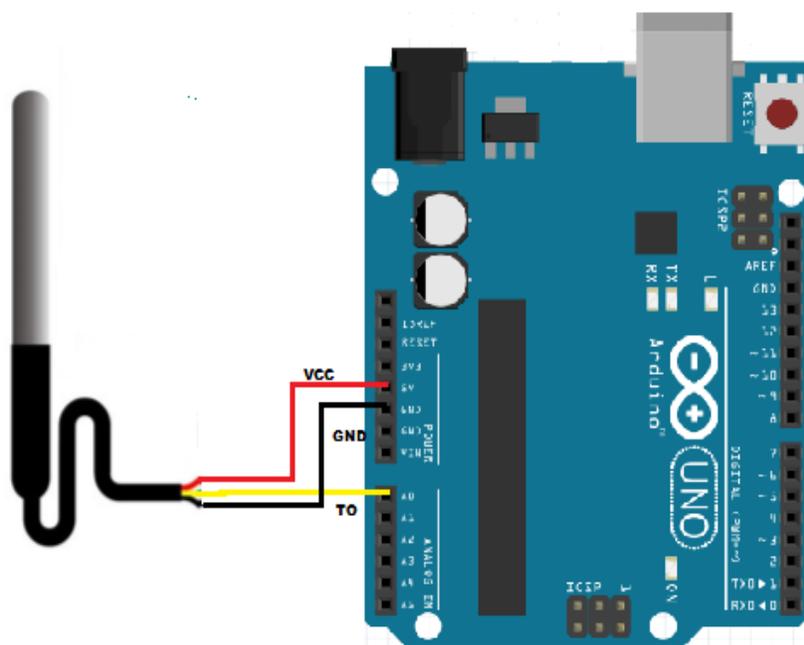
La ecuación para transformar valores de voltaje a NTU será la siguiente:

$$\text{turbiedad(NTU)} = -1120.4 * \text{voltaje}^2 + 5742.3 * \text{voltaje} - 4352.9$$

*Ecuación 5: Ecuación para transformar de voltaje a valores de turbidez*

### 3.3.3.3. Lectura del sensor de temperatura

La conexión necesaria para la lectura de datos del sensor de temperatura por el Arduino UNO se muestra en la figura 45:



*fig. 45: Conexión entre el sensor de temperatura y Arduino  
Fuente: Construcción en el software Fritzing*

Para transformar los valores análogos medidos por el sensor a voltaje debe realizarse la transformación correspondiente, la cual se encuentra descrita en el diagrama de flujos de la figura 35 y en el programa del Anexo A; teniendo el valor en voltios se puede transformarlo a grados centígrados por medio de la igualdad que dice que  $10\text{mV}=1^{\circ}\text{C}$ , o lo que es igual  $0,01\text{V}=1^{\circ}\text{C}$ , y se llega a la ecuación de temperatura siguiente:

$$\text{Temperatura} = 1,58\text{V} * \frac{1^{\circ}\text{C}}{0,01\text{V}} = 158^{\circ}\text{C}.$$

*Ecuación 6: Equivalencia entre voltios y °C*

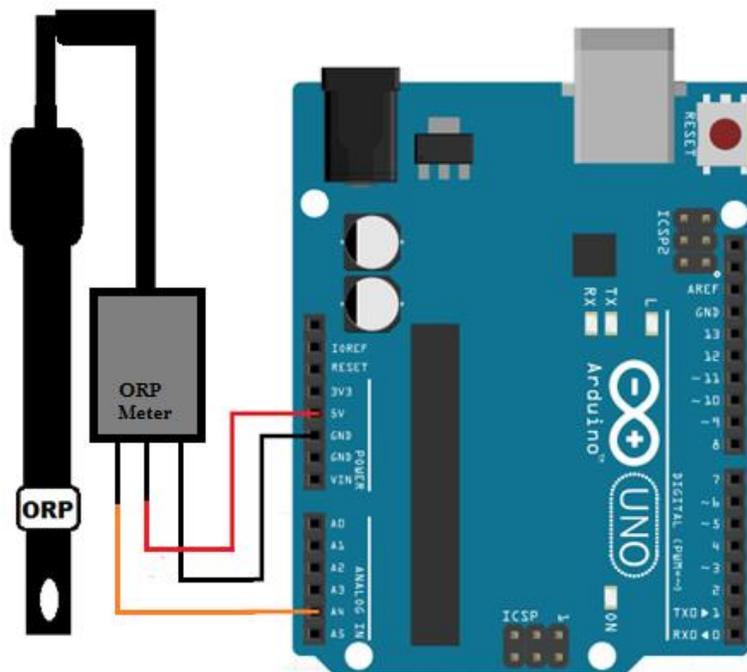
La ecuación entonces para convertir los datos análogos a valores de temperatura sería la siguiente:

$$\text{Temperatura} = \frac{\text{Valor análogo} * 5}{1023 * 0,01}$$

*Ecuación 7: Ecuación para transformar valores análogos a °C*

#### **3.3.3.4.Lectura del sensor de ORP**

Inicialmente para la prueba del sensor este debe ser conectado al microprocesador Arduino, el cual es el encargado de recibir los datos y procesarlos para luego mostrarlos o enviarlos al lugar deseado, para ello se deben conectar los elementos implicados de la manera que se muestra en la figura 46:



*fig. 46: Conexión entre el Arduino y sensor de ORP  
Fuente: Construcción en Fritzing*

Una vez realizadas las conexiones antes mencionadas la siguiente acción a tomar es la carga del programa necesario para la calibración del sensor proporcionado por el fabricante de este en su página oficial y que se encuentra especificado en el Anexo D.

Una vez cargado el programa se procede a abrir el monitor serie, en el cual se observarán impresiones de valores de ORP no calibrados, mientras esto sucede, se debe oprimir el botón de calibración del sensor de ORP (mostrado en la figura 47), se observarán valores diferentes de ORP a los anteriores, elegir el valor más repetido en la impresión y sustituirlo en el valor de OFFSET 0 del programa.



fig. 47: Botón de calibración del sensor de ORP

Fuente: <https://www.dfrobot.com/product-1071.html?search=orp>

En este caso el valor más recurrente que se observa en el monitor serie del IDE de Arduino al presionar el botón de calibración es de ORP= 23mV, como se muestra en la figura 48:

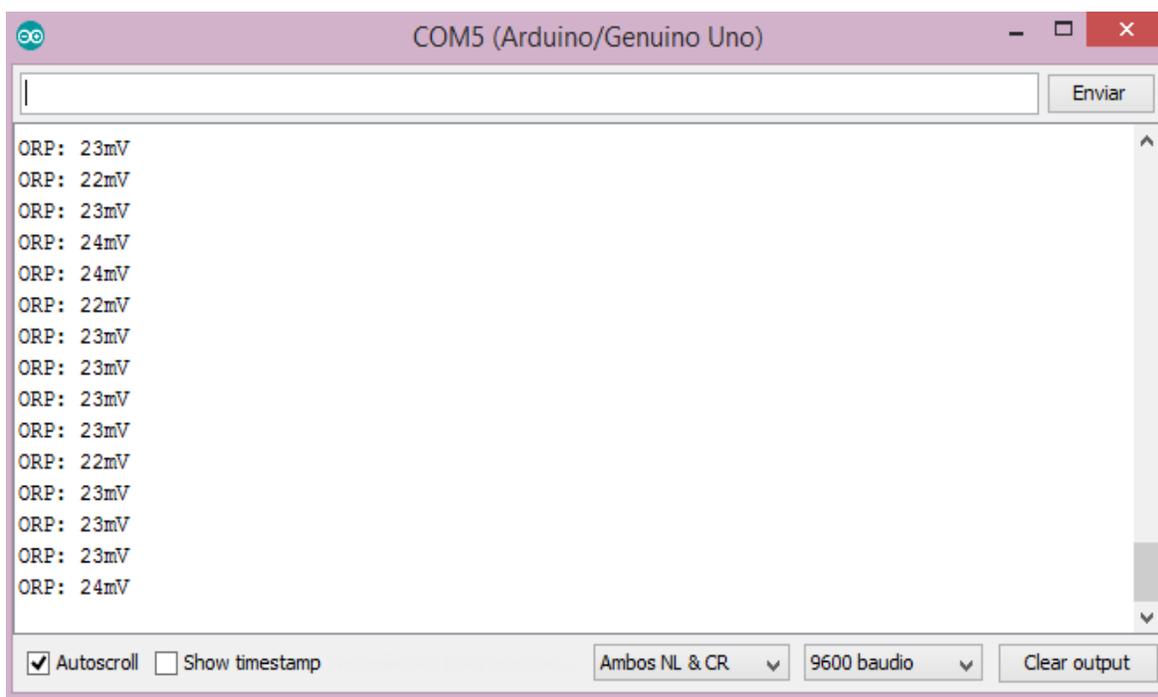


fig. 48: Captura del valor de ORP impreso al presionar el botón de calibración

Fuente: Monitor serial del IDE de Arduino

Una vez cambiado el valor mencionado se debe cargar nuevamente el programa al Arduino y añadir la sonda al circuito, en este caso los valores observados serán los de ORP reales ya que el

sensor ya se encuentra calibrado. Es importante destacar que para convertir valores análogos a mV (unidad de ORP), es necesario utilizar la ecuación que a continuación se muestra:

$$orp = ((30 * voltaje * 1000) - (75 * valoranalogo) * voltaje * \frac{1000}{1024})) / 75 - compensación$$

*Ecuación 8: Ecuación para transformar valor análogo a valor de ORP (mV)*

### **3.3.4. Desarrollo de software del sistema (Programación)**

En este ítem se menciona el proceso de la programación para la toma de valores análogos de los sensores, su conversión a la variable deseada, el almacenamiento y el envío de mensajes de alerta, es decir todo el procesamiento y control de la información captada.

El programa inicialmente permite declarar variables de tipo doble en las que se almacenan los valores análogos captados por los sensores, también se inicializa la comunicación serial con su respectiva velocidad para que se encuentre disponible en el momento de realizar la transmisión de información entre el Arduino y el Raspberry. El Arduino recibe los datos enviados desde el Raspberry y los almacena en la variable valor recibido, la cual es evaluada y analizada para saber a qué sensor se solicita información, pues en el caso de recibir una letra p el sensor activado será el de pH, una letra n el de turbidez, una t de temperatura y una o valores de ORP. Mediante las ecuaciones ya analizadas anteriormente en la parte de programación, se convierte cada valor a la unidad correspondiente. Luego de convertir los datos a la unidad deseada se envían por comunicación serial hacia el Raspberry el cual los capta y almacena en la base de datos, en caso de que los valores recibidos se encuentren fuera de los rangos permitidos el sistema entra en una condición que aumenta un contador. Al llegar a mediciones de valores no aptos mayores al conteo

de diez el sistema envía una alerta de mensaje de texto al presidente de la comunidad, si no llega a diez el conteo, el sistema sigue tomando valores y almacenándolos en la base de datos.

A continuación, se detalla el funcionamiento del sistema de medición de la calidad del agua por medio de un diagrama de flujos presentado en la figura 49 que ha sido desarrollado teniendo en cuenta las comunicaciones entre los elementos y el envío de mensajes de alerta:

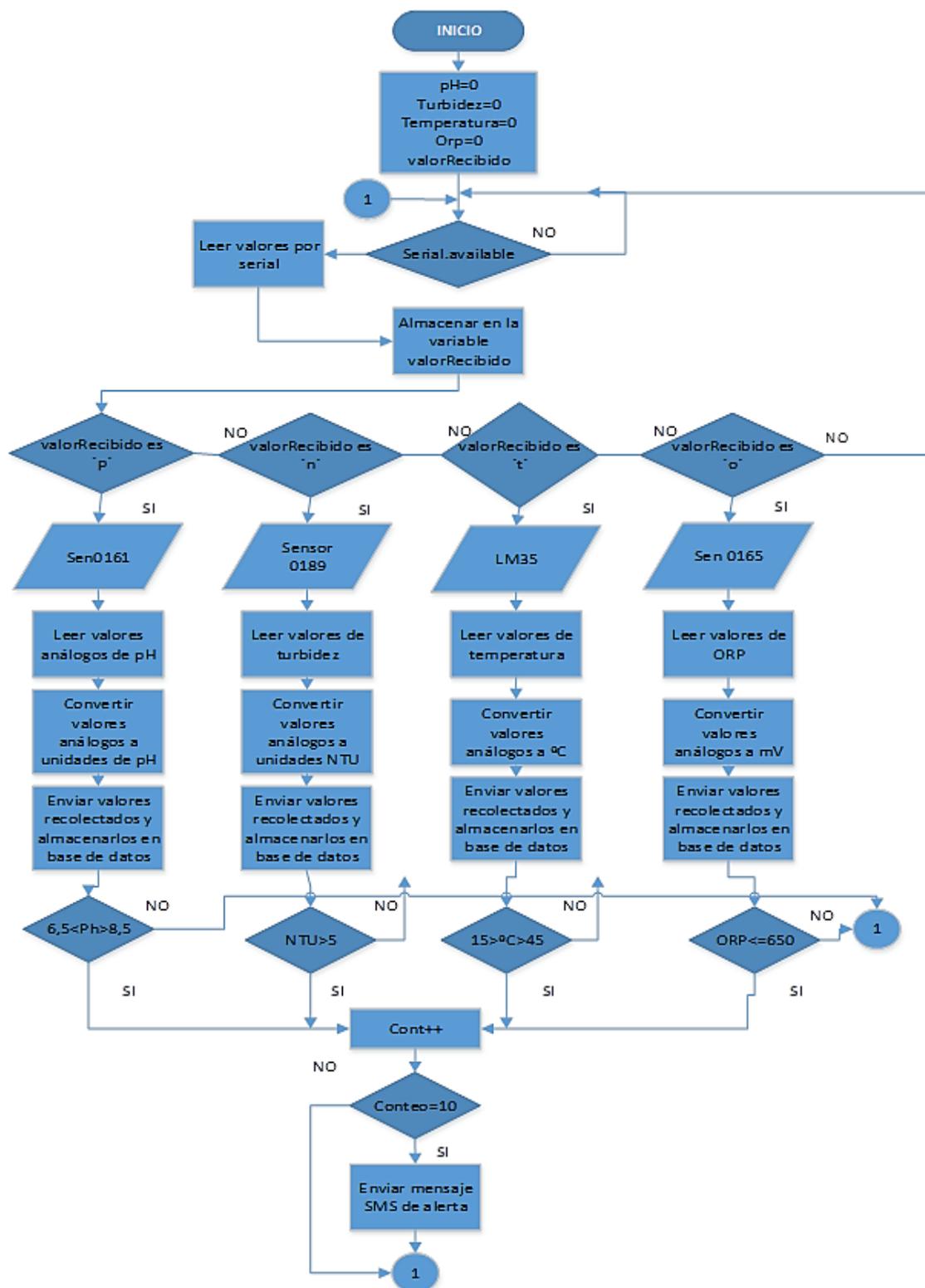


fig. 49: Diagrama de flujo para describir el funcionamiento del sistema  
Fuente: Propia

A continuación, se describen los puntos más importantes en el desarrollo de la programación como son: la lectura de los datos enviados desde los sensores, la configuración del envío de mensajes de texto de alerta por medio del módulo SIM900 y la comunicación en serie entre el Arduino UNO y el Raspberry pi para el almacenamiento de la información.

### 3.3.4.1. Lectura de datos del sensor de pH

La ecuación utilizada en el IDE de Arduino para la lectura de los datos enviados por el sensor de pH se muestra en la figura 50 teniendo una unidad adimensional y con valores de entre 0 y 14.

```

78 float pHVolt=(float)avgValuepH*5.0/1024/6; //Ecuación para transformar valores análogos recogidos a valores de voltaje
79 phValor = -5.65 * pHVolt + 21.12; //Ecuación para transformar de voltaje a valores de pH de entre 0-14
80

```

*fig. 50: Captura de la ecuación para transformar de valor análogo a pH en el IDE de Arduino  
Fuente: Propia*

El algoritmo que se sigue para la medición del pH del agua inicialmente se refiere a la toma de datos análoga, luego la transformación a valores de voltaje y finalmente a valores adimensionales de pH.

A continuación, se verifica el correcto funcionamiento de la ecuación matemática midiendo las soluciones con valores conocidos de pH que se usó anteriormente para hallar la ecuación respectiva:

- En la figura 51 se muestra la toma de datos al sumergir el sensor en agua con solución de pH=6.86, el cual entrega valores de entre 6.88 y 6.97 los cuales son valores cercanos al valor original.

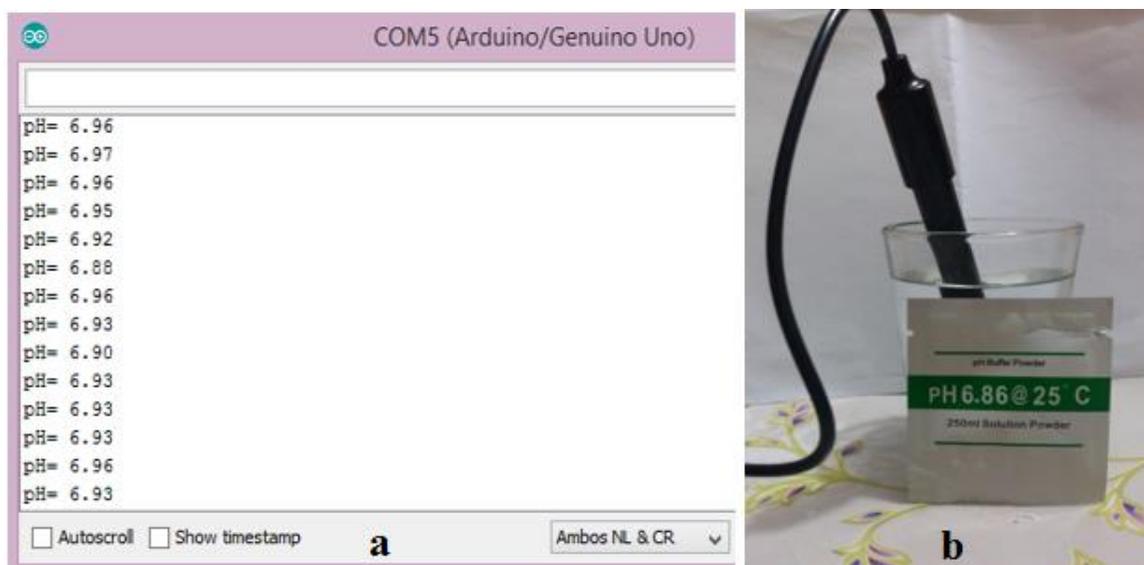


fig. 51: a) Captura de valores de pH impresos en el monitor serie de Arduino b) Sonda sumergida en agua con solución de pH= 6,86  
Fuente: Propia

- En cambio, en la solución de pH de 9.18 los valores arrojados al sumergir la sonda de pH son de entre 9.15 y 9.21 como se muestra en la figura 52.

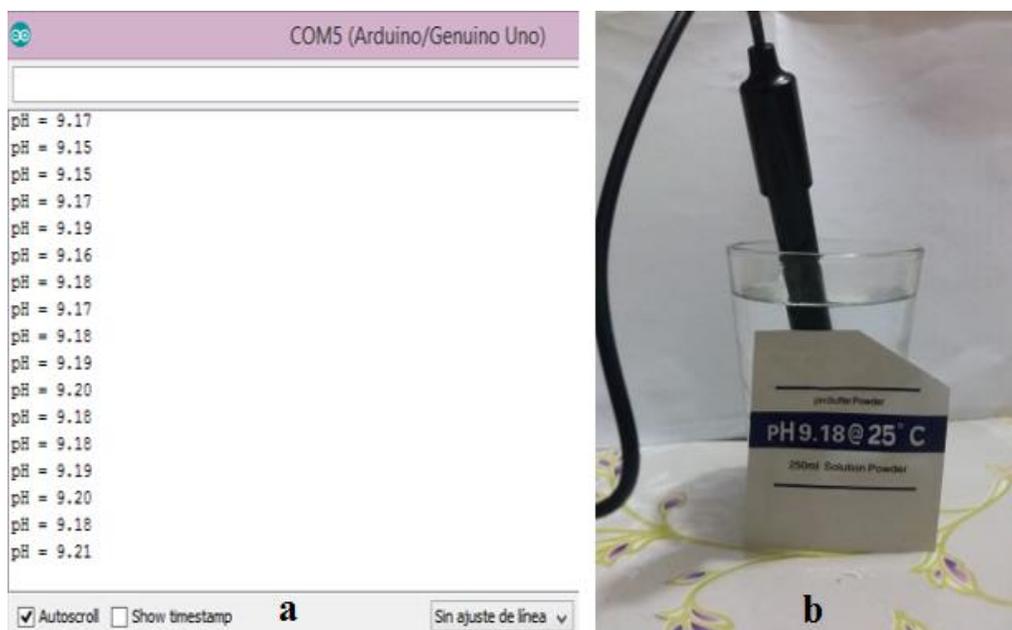


fig. 52: a) Captura de pH impreso en el monitor serie de Arduino b) sonda de pH sumergida en agua con solución de pH= 9,18  
Fuente: Propia

En la figura 53 se muestran los valores medidos en una solución de agua potable que presenta un pH de entre 7.28 a 7.31:

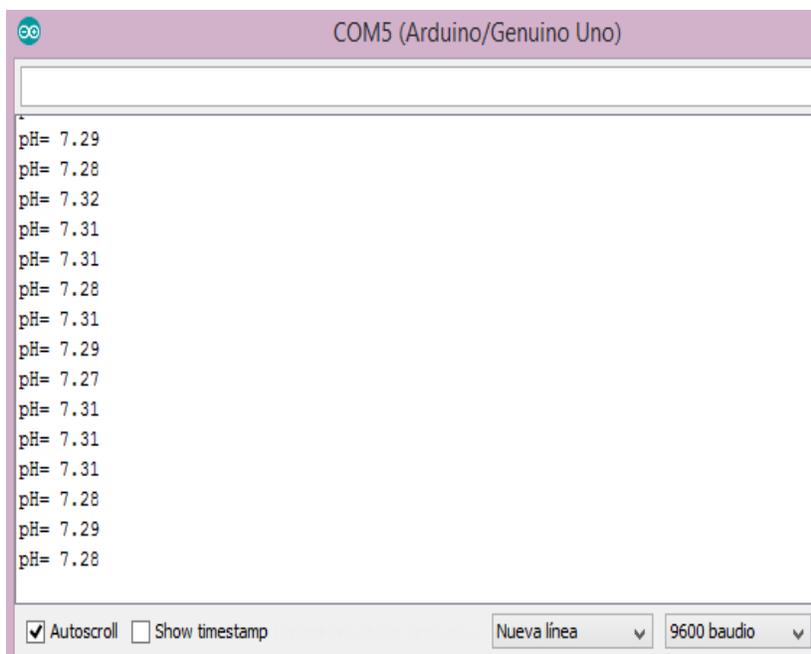


fig. 53: Captura del pH medido en agua potable e impreso en el monitor serie del IDE de Arduino  
Fuente: Propia

### 3.3.4.2. Lectura del sensor de Turbiedad

La ecuación necesaria para transformar los valores análogos captados por el sensor a valores de turbiedad (NTU), se detalla en la figura 54, siendo los valores de entre 0 y 3000 NTU los que se logran medir:

```
float turbVolt=(float)avgValueTurb*5.0/1024/6; //Ecuación para transformar valores análogos a
valores de voltaje
float turbValor= -1120.4*square(turbVolt)+(5742.3*turbVolt)+(5742.3*turbVolt)-4352.9;
//Ecuación para transformar de voltaje a valores de turbidez
```

fig. 54: Captura de la ecuación para transformar de valores análogos a valores NTU en el IDE de Arduino  
Fuente: Propia

### 3.3.4.3. Lectura de datos del sensor de temperatura

En la figura 55 se muestra la ecuación respectiva para convertir, en el IDE de Arduino, valores de temperatura análogos a la unidad de grados centígrados.

```
130 float tempVolt=(float)avgValueTemp*5.0/1024/6; //Ecuación para transformar valores análogos recogidos a valores de voltaje
131 float tempValor = tempVolt/0.01; //Ecuación para transformar de voltaje a valores de temperatura
```

fig. 55: Captura de la ecuación para transformar valor análogo a valores de temperatura (°C) en el IDE de Arduino  
Fuente: Propia

### 3.3.4.4. Lectura de datos del sensor de ORP

La ecuación para transformar de valores análogos a valores de ORP (mV) desarrollada en el software IDE de Arduino se presenta en la figura 56:

```
238 avgValueOrp+=orpRecogido[o]; //Almacenar valores de orprecoigido en la variable avgValueOrp
239 float orpValor= ((30*voltaje*1000)-(75*avgValueOrp)*voltaje*1000/1024))/75- OFFSET; //Ecuación
```

fig. 56: Captura de la ecuación para convertir de valor análogo a mV escrita en el IDE de Arduino  
Fuente: Propia

### 3.3.4.5. Envío de alerta por medio de mensajes de texto con el módulo SIM900 desde el IDE de Arduino

El Arduino IDE es el software en el que se programa el código para el envío de mensajes SMS de alerta en caso de que las mediciones en los sensores alcancen picos altos. Este programa se encuentra en el Anexo C, logrando destacar las siguientes líneas de código:

- Conexión del módulo SIM900 con el Arduino, con la respectiva velocidad a la que se envían los datos, como se observa en la figura 57:

```

#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial SIM900(7, 8);
Serial.begin(9600); //Velocidad del puerto serial
SIM900.begin(9600); //Velocidad del módulo SIM

```

fig. 57: Configuración de velocidad para el envío de datos del módulo SIM900 en el IDE de Arduino  
Fuente: Propia

- Función de utilidad para el envío de mensajes SMS en caso de alcanzar valores diferentes de calidad del agua, en la figura 58 se describe como ejemplo en el caso de que el valor de pH alcance rangos fuera del límite permitido:

```

84  if(phValor>8.5 || phValor<6.5 )
85  {
86    phrio ++;
87  }
88  if(phrio==10)
89  {
90    //Serial.println("Enviando SMS...");
91    SIM900.print("AT+CMGF=1\r"); //Configura el modo texto para enviar o recibir mensajes
92    delay(1000);
93    SIM900.println("AT+CMGS=\"09██████████\"); //Numero al que vamos a enviar el mensaje
94    delay(1000);
95    SIM900.println("Valores de calidad del agua no aptos para consumoHumano."); // Texto del SMS
96    delay(100);
97    SIM900.println((char)26); //Comando de finalización ^Z
98    delay(100);
99    SIM900.println();
100   delay(5000); // Esperamos un tiempo para que envíe el SMS
101   //Serial.println("SMS enviado");
102   phrio=0;
103   }
104   }
---
```

fig. 58: Programación en el IDE de Arduino para el envío de mensajes de texto de alerta al usuario  
Fuente: Adaptado de (Macho, 2018).

### 3.3.4.6. Lectura de datos en el Raspberry enviados desde el Arduino UNO por medio del software Python

Este potente software hace posible la recolección de los datos enviados desde el Arduino al Raspberry pi para luego ser tratados y almacenados. El programa usado para la recolección de datos de las variables se observa en el Anexo C, siendo las siguientes las líneas de mayor importancia:

- Importar las librerías a usar, siendo Serial para recibir los datos desde el Arduino, time para el reloj como se observa en la figura 59.

```
import serial
import time
```

fig. 59: Librerías usadas para recibir datos desde el Arduino en Python  
Fuente: Propia

- Determinación del puerto serial y velocidad de los datos que se reciben desde el Arduino, tal como se muestra en la figura 60.

```
arduino=serial.Serial('/dev/ttyACM0', baudrate=9600)
```

fig. 60: Configuración de velocidad de recepción de datos por serial en el software Python  
Fuente: Propia

- Envío de variables para recolectar valores enviados por el Arduino, recepción de datos y conversión a valores numéricos decimales, en este caso valores de turbiedad, ver en la figura 61.

```
time.sleep(1)
arduino.write('n')
turb=arduino.readline()
turb=(float(turb))
```

fig. 61: Línea de código útil para solicitud de valores al Arduino por medio del software Python  
Fuente: Propia

### 3.3.4.7. Almacenamiento de los datos recibidos

El almacenamiento de los datos es de gran importancia para el usuario ya que ello garantiza que los mismos se encuentren informados en todo momento acerca de los niveles de calidad del agua alcanzados, para conseguir esto se ha instalado y configurado un servidor web, MySQL y phpMyAdmin para la base de datos en el Raspberry.

Los puntos importantes que se destaca en la programación del software Python para cargar los datos y almacenarlos en phpMyAdmin son los siguientes:

- Crear conexión entre Python y base de datos MySQL para acceder en el navegador web con phpMyAdmin con el respectivo usuario y contraseña, el nombre de la tabla en donde se almacenarán los datos, el número de columnas para cada variable, además de la fecha y hora en la que se registran los datos, también se describe la línea de código para subir los valores de cada sensor a la base de datos.

En la figura 62 se describen los detalles:

```
db=MySQLdb.connect(host="localhost", user="root", passwd="123", db="CALIDAD")
cur=db.cursor()
cur.execute("CREATE TABLE DatosCalidad (Fecha datetime, pH FLOAT (4.2), Temperatura FLOAT(5.2),
Turbidez FLOAT(6.2), ORP FLOAT (4.2))")

cur.execute("INSERT INTO DatosCalidad (Fecha, pH, Temperatura, Turbidez, ORP)VALUES(now(),"+
str(pH)+","+str(temp)+","+str(turb)+","+str(orp)+")")
```

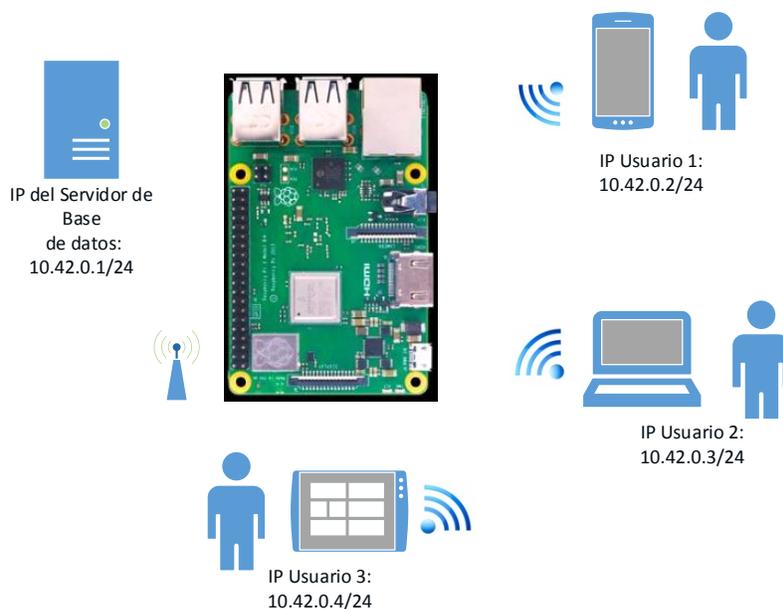
*fig. 62: Código para conectarse a la base de datos desde el software Python y subir la información  
Fuente: Propia*

Una vez realizados cada uno de los pasos anteriormente mencionados se observa en la figura 63 el modelo de los datos impresos en la base de datos:

Fecha	pH	Temperatura (°C)	Turbiedad (NTU)	ORP (mV)
2019-02-23 11:32:41	7.87	26.04	0	464
2019-02-23 11:32:46	7.85	25.96	0	465
2019-02-23 11:32:50	7.84	25.55	0	465
2019-02-23 11:32:50	7.87	25.39	0	466
2019-02-23 11:33:00	7.87	25.72	0	466
2019-02-23 11:33:11	7.77	25.63	0	467
2019-02-23 11:33:16	7.81	25.39	0	469
2019-02-23 11:33:21	7.81	25.39	0	469
2019-02-23 11:33:25	7.84	26.12	0	469
2019-02-23 11:33:30	7.84	25.47	0	470
2019-02-23 11:33:35	7.86	25.88	0	470
2019-02-23 11:33:39	7.88	25.39	0	470
2019-02-23 11:33:44	7.8	25.47	0	471
2019-02-23 11:33:49	7.89	26.45	0	471
2019-02-23 11:33:53	7.88	26.04	0	471
2019-02-23 11:34:05	7.79	25.39	0	471
2019-02-23 11:34:10	7.8	25.39	0	471
2019-02-23 11:34:14	7.82	25.39	0	471
2019-02-23 11:34:19	7.84	26.94	0	471
2019-02-23 11:34:23	7.86	26.29	0	471
2019-02-23 11:34:28	7.84	26.37	0	472
2019-02-23 11:34:33	7.85	25.39	0	472
2019-02-23 11:34:37	7.88	25.63	0	473
2019-02-23 11:34:42	7.85	25.39	0	473
2019-02-23 11:34:48	7.89	25.37	0	473

*fig. 63: Valores medidos por sensores almacenados en la base de datos  
Fuente: Propia*

El siguiente punto después de subir los valores a la base de datos es que el usuario logre conectarse con el Raspberry en red para poder así acceder a la base de datos y visualizar la información en el momento que desee, para lograr esto se crea una red Wi-Fi en el microcontrolador a la cual pueden acceder los usuarios que tengan las credenciales y se encuentren a una corta distancia de este. En la figura 64 se describe la conexión entre los usuarios y el Raspberry con la IP de la base de datos de 10.42.0.1 a la que acceden los interesados que poseen las credenciales.



*fig. 64: Diagrama de conexión inalámbrica entre usuarios y el servidor del Raspberry*  
Fuente: Desarrollado en software Microsoft Visio

### **3.3.4.8. Pruebas de software**

Para validar el funcionamiento de la programación antes desarrollada, se procede con la ejecución de pruebas de funcionamiento que se encuentran detalladas en la tabla 23, las cuales constan de tres partes que se enfocan en el sensado de los datos, el tratamiento y almacenamiento de estos, así como también el envío de mensajes de texto de alerta al presidente del cabildo en caso de que las mediciones alcancen valores críticos y fuera del rango aceptable. Las pruebas se centran en verificar las ecuaciones escritas en el programa IDE de Arduino de cada sensor, también se valida el código del programa Python para la recepción y el posterior almacenamiento de la información en la base de datos y finalmente se revisa la llegada de los mensajes de texto al celular del respectivo destinatario.

Tabla 23: Pruebas de software

<b>Pruebas de Software</b>						
<b>#</b>	<b>Detalle de prueba</b>	<b>Involucrados</b>	<b>Hardware o software incluidos</b>	<b>Lugar de pruebas</b>	<b>Resultados esperados</b>	<b>Duración</b>
1	Verificar las ecuaciones programadas en el IDE de Arduino para transformar valores análogos de los sensores a las unidades correspondientes	Autora	Arduino UNO IDE y sensores de pH, turbidez, temperatura y ORP	Río Chota	Transformación acertada de los valores de sensores a las unidades deseadas.	1 semana de abril
2	Comprobar la solicitud y respuesta de valores desde el Arduino al Raspberry	Autora	Arduino UNO, Raspberry y Python	Laboratorios FICA	Se desea asegurar la llegada de valores solicitados al destino correcto.	10 de abril
3	Verificar el almacenamiento de la información recibida en la base de datos	Autora	Raspberry, Python y base de datos	Río Chota	Correcta llegada de datos a la BBDD en posiciones asignadas a cada variable	11 y 12 de abril
4	Examinar el acceso a la base de datos	Autora, presidente de la comunidad y otros moradores	Raspberry, Python, base de datos y teléfono inteligente	Río Chota	Se desea verificar que el usuario puede acceder y observar los valores almacenados en la base de datos.	14 y 15 de abril
5	Probar el envío de mensajes de alerta en el momento deseado	Autora	Arduino UNO IDE y módulo GSM, teléfono	Río Chota	Llegada exacta del mensaje al interesado en el tiempo requerido.	8 y 9 de abril

Fuente: Propia

A continuación, se detallan las pruebas realizadas de acuerdo con la tabla 23.

#### 3.3.4.8.1. Prueba de ecuaciones para convertir los valores análogos de sensores

En primer lugar, se examinan las ecuaciones programadas en el IDE de Arduino para transformar valores análogos de los sensores a las unidades correspondientes, lo cual se lleva a cabo al sumergir los sensores en agua y captar los valores impresos en el monitor serie de Arduino.

La verificación de esta prueba se enfoca en los ítems que se exponen en la tabla 24 y muestra una valoración de si en caso de que el requerimiento se cumpla y un no al tener respuesta negativa a la prueba:

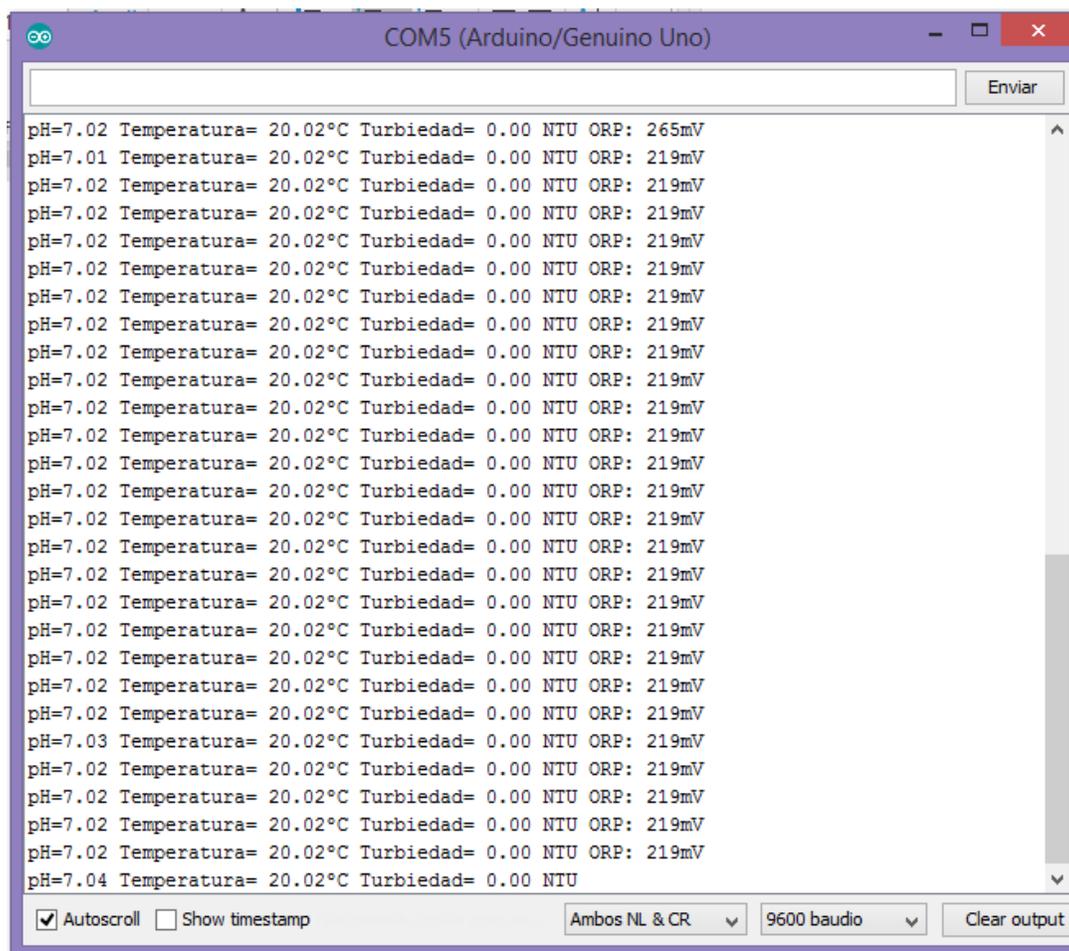
Tabla 24: Pruebas de funcionamiento de los sensores

Descripción de la prueba	Pruebas de funcionamiento de los sensores							
	Sensor de pH		Sensor de turbidez		Sensor de temperatura		Sensor de ORP	
	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
Los sensores captan datos.	x		x		x		x	
Recepción de datos continua.	x		x		x		x	
Los datos recogidos se encuentran en la unidad correspondiente.	x		x		x		x	
Los valores están dentro del rango de medición.	x		x		x		x	

Fuente: Propia

**Resultado.** - Los valores recolectados se muestran en la figura 65 donde se puede observar que cumplen con los requerimientos mencionados en la tabla 24, revelan el

correcto funcionamiento de las ecuaciones para conversión de los datos análogos captados por los sensores a la unidad correspondiente y su eficacia en la toma de estos.



The screenshot shows the 'COM5 (Arduino/Genuino Uno)' serial monitor window. The output text is as follows:

```
pH=7.02 Temperatura= 20.02°C Turbiedad= 0.00 NTU ORP: 265mV
pH=7.01 Temperatura= 20.02°C Turbiedad= 0.00 NTU ORP: 219mV
pH=7.02 Temperatura= 20.02°C Turbiedad= 0.00 NTU ORP: 219mV
pH=7.03 Temperatura= 20.02°C Turbiedad= 0.00 NTU ORP: 219mV
pH=7.02 Temperatura= 20.02°C Turbiedad= 0.00 NTU ORP: 219mV
pH=7.04 Temperatura= 20.02°C Turbiedad= 0.00 NTU
```

At the bottom of the window, there are control options:  Autoscroll,  Show timestamp, a dropdown menu set to 'Ambos NL & CR', a dropdown menu set to '9600 baudio', and a 'Clear output' button.

*fig. 65: Captura de valores de variables impresos en el monitor serie de Arduino  
Fuente: Propia*

#### *3.3.4.8.2. Prueba de recepción de valores en Python*

Para efectuar esta prueba se realiza el envío de datos desde el Arduino hacia el Raspberry por medio de su puerto serial y se verifica la impresión de estos una vez llegan por medio del software Python. A continuación, en la tabla 25 se describen las pruebas de recepción de los datos:

Tabla 25: Prueba de recepción de datos en Python

Pruebas de Recepción de datos		
Descripción de la prueba	Si	No
Respuesta a la solicitud de envío de datos continua	x	
Los datos llegan de manera ordenada	x	
Se logran visualizar los datos	x	
Los datos se transformaron a la unidad correspondiente	x	

*Fuente: Propia*

**Resultado:** Las pruebas revelan la recepción correcta, envío de los datos ordenados y visualización de los valores en la unidad correspondiente según se observa en la figura 66.

```
pi@raspberrypi:~$ sudo python calidad.py
pH=7.02 Temperatura= 20.02 C Turbiedad= 0.00 NTU ORP: 265mV
pH=7.01 Temperatura= 20.02 C Turbiedad= 0.00 NTU ORP: 219mV
pH=7.02 Temperatura= 20.02 C Turbiedad= 0.00 NTU ORP: 219mV
pH=7.02 Temperatura= 20.02 C Turbiedad= 0.00 NTU ORP: 219mV
```

*fig. 66: Impresión de datos recibidos desde Arduino en la consola del Raspberry*

*Fuente: Propia*

#### 3.3.4.8.3. Prueba de almacenamiento de datos

Una vez que llegan los valores al software Python, es necesario validar el almacenamiento de la información en la base de datos conforme llega al microcontrolador, además del establecimiento de conexión entre los usuarios con la misma teniendo en cuenta los privilegios que cada usuario posee sobre la base. En la tabla 26 se muestran las características evaluadas en esta prueba para validar el funcionamiento de la base de datos:

Tabla 26: Pruebas de la base de datos

Pruebas de la base de datos		
Descripción de prueba	Si	No
Se almacenan los valores en la tabla de base de datos de manera ordenada y en el tiempo deseado.	x	
El espacio de almacenamiento de la información es suficiente.	x	
Existe conexión entre el prototipo y el dispositivo del usuario interesado.	x	
La base de datos es accesible por los usuarios creados.	x	
Los datos presentados son comprensibles por los usuarios	x	

*Fuente: Propia*

**Resultado:** Los valores se almacenan en la tabla de base de datos de manera continua y sin errores, además la conexión que debe existir entre los usuarios y el Raspberry se llevó a cabo de manera satisfactoria por lo que la información se puede observar sin inconvenientes, permitiéndole al presidente de la comunidad en especial analizar y comprender la información exhibida. En la figura 67 se muestra el establecimiento de conexión del usuario con la base de datos:



phpMyAdmin

Bienvenido a phpMyAdmin

Idioma - Language

Español - Spanish

Iniciar sesión

Usuario: Usuario1

Contraseña: .....

Continuar

*fig. 67: Acceso a la base de datos por el usuario  
Fuente: Propia*

Los valores almacenados que se encuentran en la base de datos y se muestran a los usuarios se observan en la figura 68:

SELECT \* FROM `QoWATER`

Perfilando [ [Editar en línea](#) ]

<< < 8 > >> |  Mostrar todo | Número

+ Opciones

Fecha	pH	Temperatura	Turbidez	ORP
2019-04-14 15:52:17	7.18	24.9	0	97
2019-04-14 15:52:22	7.36	25.39	0	100
2019-04-14 15:52:27	7.57	24.9	0	104
2019-04-14 15:52:31	7.59	24.9	0	109
2019-04-14 15:52:36	7.62	24.9	0	114
2019-04-14 15:52:41	7.65	24.9	0	120
2019-04-14 15:52:45	7.63	24.9	0	126
2019-04-14 15:52:50	7.7	24.9	0	132
2019-04-14 15:52:55	7.76	24.9	0	138
2019-04-14 15:52:59	7.71	25.47	0	145
2019-04-14 15:53:04	7.75	25.39	0	152
2019-04-14 15:53:09	7.72	24.9	0	159
2019-04-14 15:53:13	7.77	24.9	0	167
2019-04-14 15:53:18	7.79	25.39	0	174
2019-04-14 15:53:23	7.8	25.39	0	182
2019-04-14 15:53:27	7.84	24.98	0	190
2019-04-14 15:53:32	7.71	25.39	0	199
2019-04-14 15:53:36	7.75	25.63	0	207
2019-04-14 15:53:41	7.81	24.98	0	216
2019-04-14 15:53:46	7.81	25.39	0	224
2019-04-14 15:53:50	7.81	24.98	0	233
2019-04-14 15:54:02	7.74	24.9	0	242
2019-04-14 15:54:07	7.79	25.39	0	251
2019-04-14 15:54:12	7.81	25.39	0	259
2019-04-14 15:54:17	7.81	26.2	0	268

fig. 68: Visualización de la base de datos por el usuario  
Fuente: Propia

#### 3.3.4.8.4. Prueba de mensajes de alerta

Finalmente se prueba el envío de mensajes de alerta desde el monitor serie de Arduino y la recepción de este en el celular del presidente de la comunidad. El mensaje de texto se envía una vez se alcanzan y sobrepasan los valores límite de al menos una de las variables medidas como se observa en la figura 69:

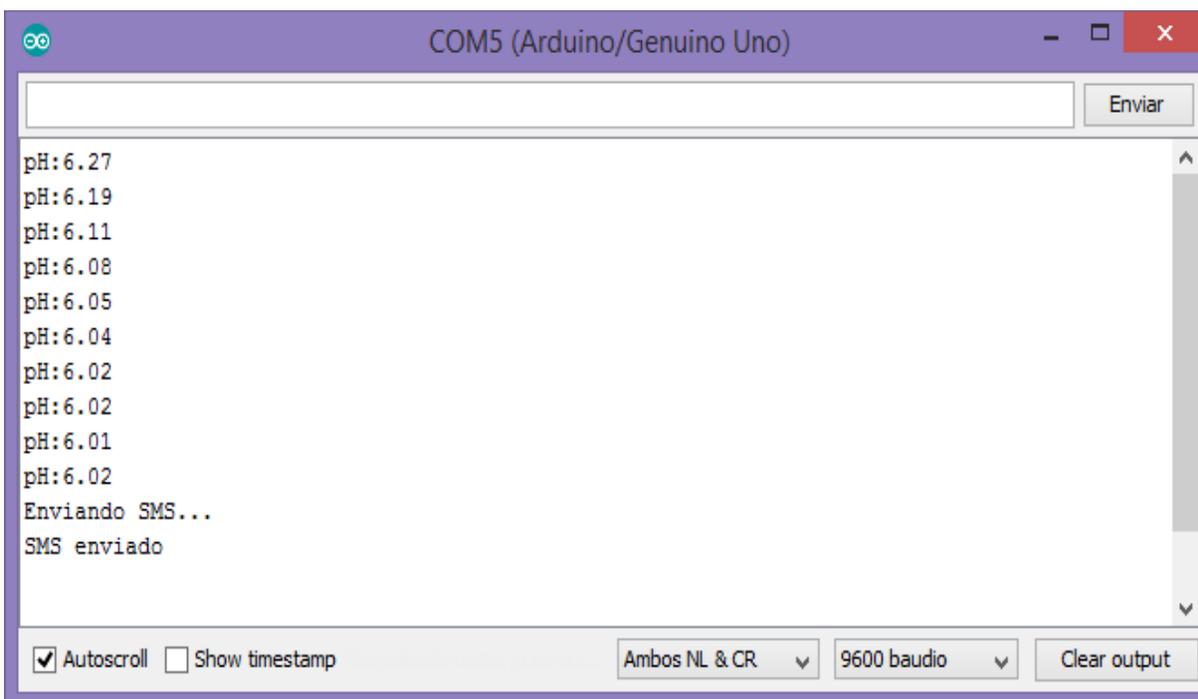


fig. 69: Impresión de los valores de pH fuera del límite en el monitor serie de Arduino y envío de mensaje de texto  
Fuente: Propia

En la tabla 27 se muestran las peculiaridades de las pruebas que se estiman en este caso.

Tabla 27: Pruebas de envío y recepción de mensajes

Pruebas de envío y recepción de mensajes de alerta		
Descripción de la prueba	Si	No
Detección de valores fuera de rango de variables medidas.	x	

Envío de mensaje de texto al sobrepasar rangos	x
Recepción de mensajes por parte del presidente del cabildo del Chota	x
Mensaje de información ordenado y comprensible	x

*Fuente: Propia*

**Resultado:** En el momento en que los valores sensados sobrepasan los niveles admisibles, la alerta de mensajes de texto se activa y se envía al principal interesado de manera ordenada y comprensible con la finalidad de que el presidente realice la respectiva socialización a los comuneros. El mensaje de texto recibido por el presidente de la comunidad es como el de la figura 70:

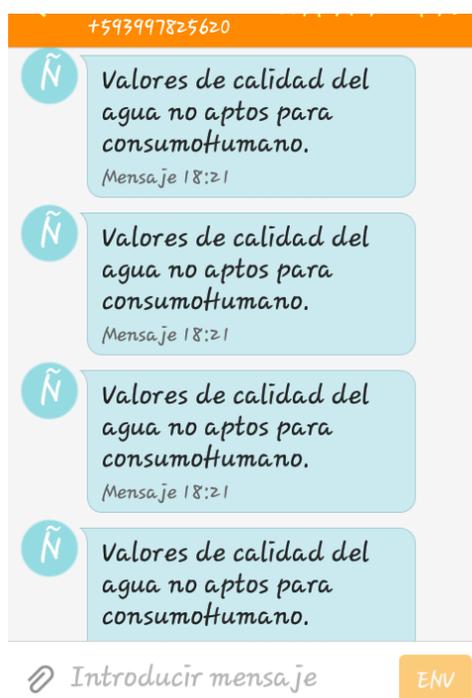


fig. 70: Mensaje de texto de alerta recibido por el presidente

*Fuente: Propia*

### 3.3.5. Desarrollo de hardware

Inicialmente en este apartado se habla de la alimentación del sistema, seguidamente del diseño de un prototipo contenedor de todos los elementos de este y de las conexiones necesarias para integrar los componentes en un solo dispositivo, teniendo en cuenta que estará en contacto con el agua y a la intemperie.

#### 3.3.5.1. Desarrollo de alimentación del sistema

El sistema de medición de la calidad del agua estará a la intemperie y lejos de una toma de corriente, por lo que es necesario el uso de baterías que provean de la alimentación pertinente para que el sistema se encuentre en operación constante.

En el diagrama de bloques de la figura 71 se observan los componentes que se encuentran involucrados en el sistema y el orden de conexiones requerido, siendo el Raspberry pi el que recibe la alimentación por medio de baterías, para luego sustentar de voltaje por uno de sus puertos USB al Arduino y este a los demás dispositivos mediante cableado con UTP.



*fig. 71: Diagrama de bloques de los componentes del sistema  
Fuente: Propia*

Para la alimentación del sistema se debe determinar la cantidad de voltaje que requieren los componentes antes mencionados para el funcionamiento y la corriente que cada uno de estos

consume, por lo que en la tabla 28 se muestran estos parámetros, siendo el Raspberry pi el que más corriente requiere en comparación con los otros elementos:

Tabla 28: Consumo de corriente de los elementos

<b>Elemento</b>	<b>Voltaje de funcionamiento</b>	<b>Consumo de energía en mA</b>
Sensor de temperatura	4v	40 mA
Sensor de pH	5v	5-10 mA
Sensor de turbidez	3,3-5v	40 mA
Sensor de ORP	5v	40mA
Arduino UNO	5v	46mA
Raspberry pi 3B +	3,3v	350mA
Módulo GSM	5v	1500mA

*Fuente: Propia*

Una vez conocidos los detalles de cada componente, se determina la batería idónea para el presente sistema, considerando la sumatoria de consumo de corriente que es de aproximadamente 2026mA, además se debe considerar el número de horas que se requiere que el sistema esté en funcionamiento que para el caso de estudio es de dos horas continuas como mínimo. Teniendo en cuenta estos puntos se calcula a continuación la capacidad de la batería con la ecuación 9:

$$\text{Capacidad de la batería} = \text{número de horas} * \text{mA}$$

*Ecuación 9: Ecuación para calcular la capacidad de batería*

Reemplazando los valores requeridos en la ecuación 9 se obtiene la capacidad mostrada en la ecuación 10:

$$\text{Capacidad de la batería} = 2 * 2026 = 4052\text{mAh}$$

*Ecuación 10: Cálculo de la necesidad de capacidad de batería con valores conocidos*

La batería para usar es la que a continuación se muestra en la figura 72, ya que posee una capacidad de 80000mAh según el fabricante, valor suficiente para el sistema, además posee paneles solares para recargarse cuando se haya agotado la misma:



*fig. 72: Banco de baterías*  
*Fuente: <http://bit.ly/2XnNKyV>*

Las características de la batería, según el fabricante, es que posee 5V a 1A en su puerto uno y 5V a 2.1A en su salida 2 con 80000mAh de funcionamiento, logrando conseguir alimentar al sistema aproximadamente 39 horas según la ecuación 11:

$$\text{Horas} = \frac{\text{Capacidad de la batería}}{\text{Consumo total del sistema}} = \frac{80000\text{mAh}}{2026\text{mA}} = 39 \text{ horas}$$

*Ecuación 11: Ecuación para determinar las horas en que la batería se mantendrá en funcionamiento*

Los paneles solares que usa este dispositivo hacen que su uso sea más constante debido a que no se necesita de la luz eléctrica para volver a tener la cantidad de voltaje deseado, sino que más bien se hace uso de la energía solar para recargarlas.

### ***3.3.5.2. Circuito contenedor para los módulos de los sensores***

Inicialmente se requiere conectar los módulos de los sensores de manera segura con la finalidad de evitar el riesgo de cruces eléctricos, por lo que se realiza una placa de acondicionamiento que hace posible la eliminación de cables en las conexiones a tierra, voltaje y valor análogo desde los sensores hacia los pines del Arduino.

El diseño de la placa para interconectar los sensores con el microcontrolador y su respectiva alimentación se muestra en la figura 73.

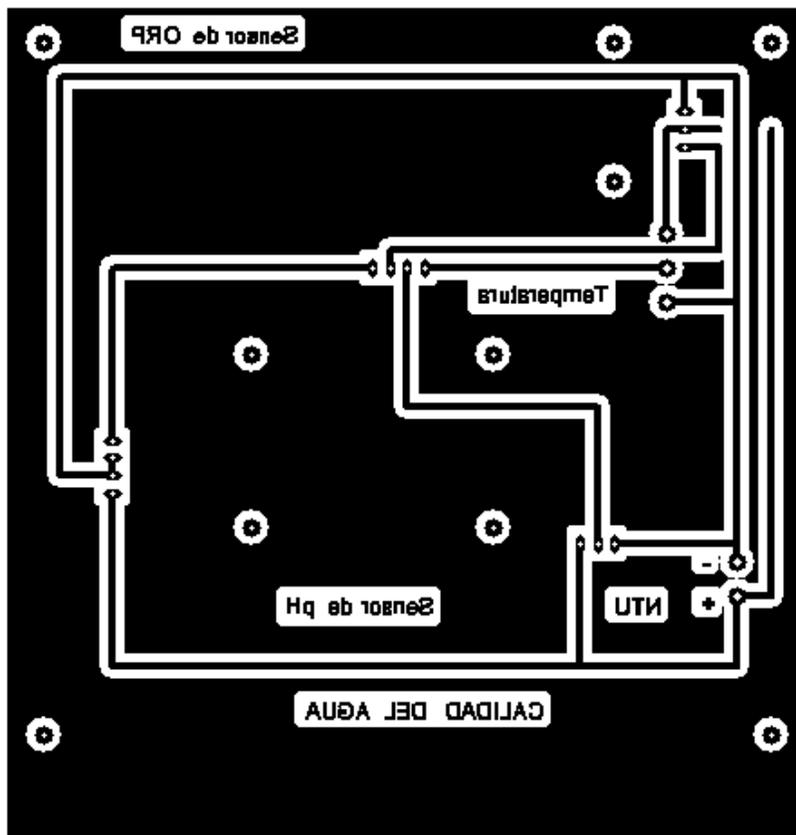


fig. 73: Diseño de placa para ubicar los módulos de los sensores  
 Fuente: Desarrollado en el software Eagle

Se decide usar, para la conexión de los módulos de pH, turbidez y ORP los conectores molex, para el sensor de temperatura una bornera de tres entradas y una de dos para las conexiones de alimentación, teniendo así el circuito como el de la figura 74:

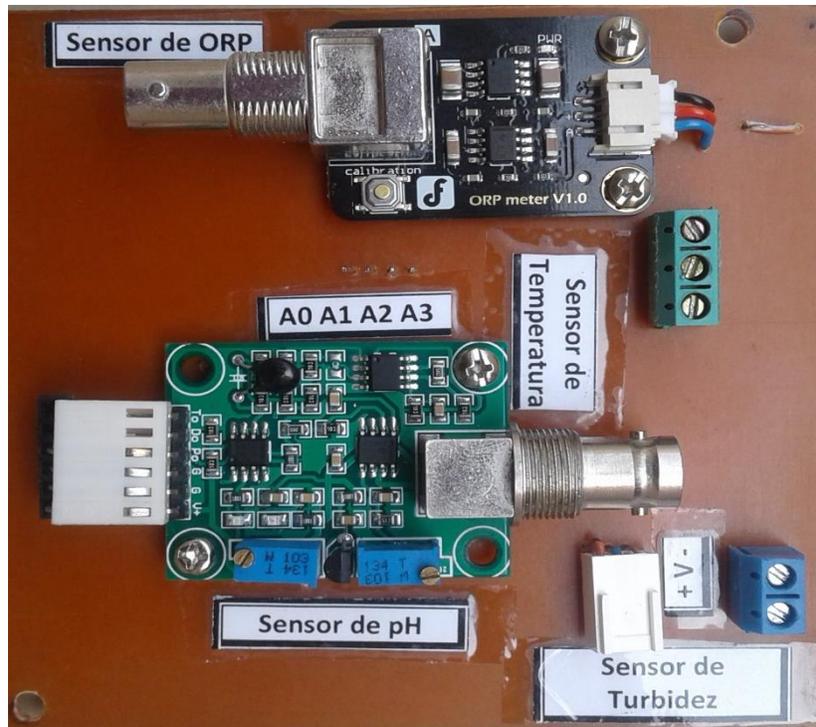
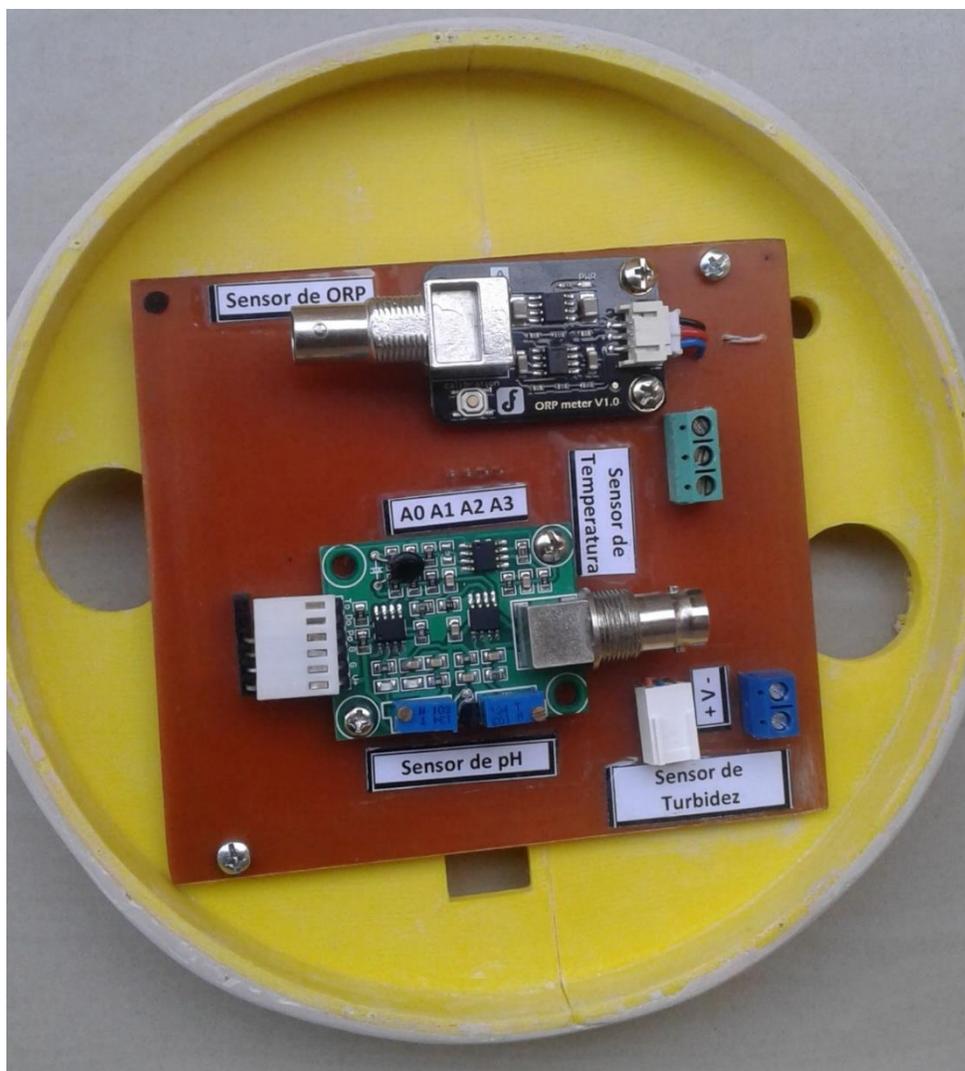


fig. 74: Vista superior de la placa con módulos de los sensores  
Fuente: Propia

### 3.3.5.3. Desarrollo del diseño del prototipo contenedor de los elementos

Para lograr uno de los objetivos del proyecto que se refiere a la impermeabilización de los elementos, es de gran importancia el diseño de un dispositivo contenedor de todo el hardware para llevar a cabo este propósito. El diseño 3D de cada nivel se muestra a continuación con el respectivo montaje de los elementos teniendo en cuenta que estos deben mantenerse protegidos y bien asegurados para evitar el ingreso de agua.

- Acoplamiento del circuito contenedor de los módulos de los sensores. – En este apartado se instala la placa con los módulos para lograr así que se mantengan fijos, sin moverse y desconectarse. El ensamblaje se observa en la figura 75.



*fig. 75: Montaje del circuito contenedor de módulos de los sensores en el diseño  
Fuente: Propia*

- Montaje del microcontrolador Arduino y el módulo GSM. – En la figura se observa la distribución de los dispositivos en su lugar correspondiente y el espacio para la conexión con el nivel anterior que es el circuito con los módulos de los sensores. Ver en la figura 76.



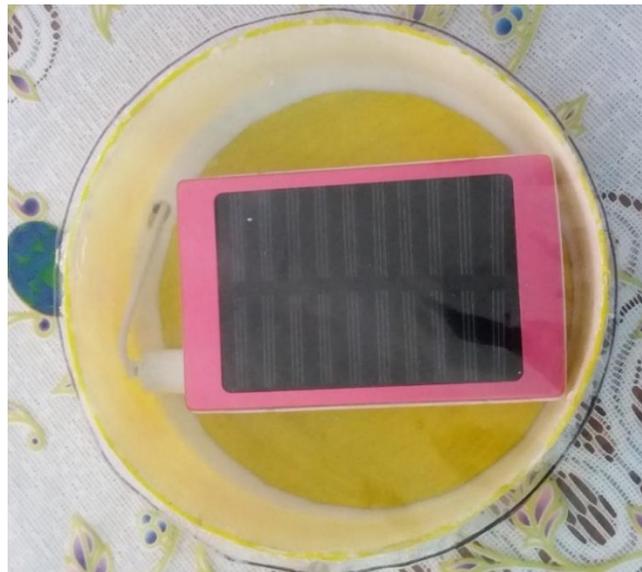
*fig. 76: Acople de Arduino y módulo sim900 en diseño  
Fuente: Propia*

- Ensamblaje del Raspberry pi. – En esta parte se deja espacio para la conexión entre el Raspberry y el Arduino (ver figura 77) mediante conexión serial, además del aseguramiento de la placa al diseño 3D.



*fig. 77. Montaje del Raspberry en el modelo  
Fuente: Propia*

- Ajuste de la batería. – Se refiere al aseguramiento del material que provee de alimentación al sistema en general, la batería. El montaje se observa en la figura 78:



*fig. 78: Montaje de la batería en el modelo  
Fuente: Propia*

Una vez ubicados los elementos en el diseño de cada nivel correspondiente, es necesario acoplarlos en un solo dispositivo final que cumpla con los requerimientos del sistema, por lo que se coloca cada uno sobre el otro y se lo sella con silicona para exteriores y resistente al agua para que no ingrese el líquido ya que será ubicado en el río y estará a la intemperie. La figura 79 muestra la forma en que se apilan los diseños logrando así los propósitos iniciales y que el dispositivo funcione al 100%.



*fig. 79: Prototipo final*  
*Fuente: Propia*

## **Capítulo 4. Pruebas de funcionamiento y resultados**

La finalidad de este apartado es verificar el funcionamiento del sistema en conjunto, para lo cual se realiza inicialmente las pruebas de hardware, las de aceptación y finalmente la medición de parámetros de calidad del agua. Adicionalmente se detallan los costos del sistema y los beneficios que este brinda a la población.

### **4.1.Pruebas de hardware**

En este ítem se establece un cronograma de pruebas donde se detalla los involucrados, tipo de hardware, sitio de toma de datos, resultados esperados y duración. La evaluación se basa en constatar la ubicación adecuada de los componentes, la operatividad e impermeabilidad del prototipo además de la duración de la batería. Dicha información se muestra a continuación en la tabla 29.

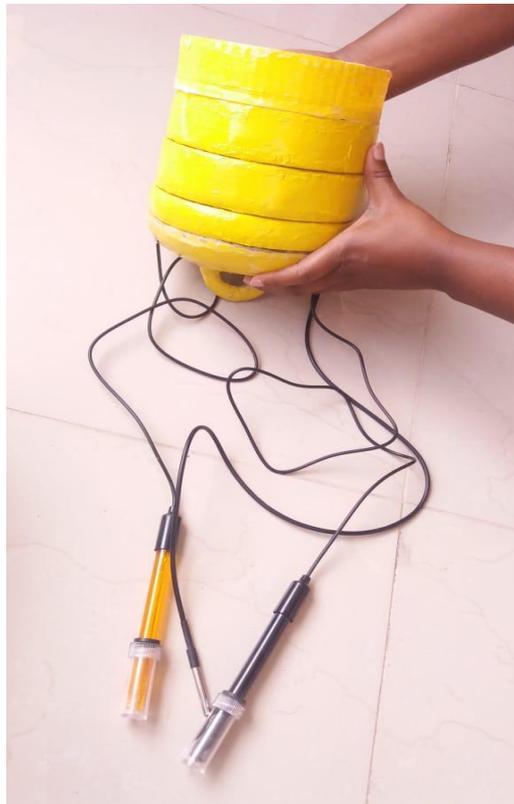
Tabla 29: Cronograma de pruebas de funcionamiento del sistema

<b>Cronograma de pruebas de hardware</b>						
<b>N.º de Prueba</b>	<b>Detalle de prueba</b>	<b>Involucrados</b>	<b>Hardware o software incluidos</b>	<b>Lugar de pruebas</b>	<b>Resultados esperados</b>	<b>Duración</b>
1	Examinar acoplamiento de componentes	Autora	Sistema de medición de la calidad del agua	Río Chota	Se espera que los dispositivos que conforman el sistema permanezcan bien asegurados sin ocasionar cruces entre sí y con los cables	Del 01 al 7 de junio
2	Probar que el sistema se mantenga en el agua flotando sin afectar a los elementos del sistema.	Autora, presidente de la comunidad y otros moradores	Sistema de medición de la calidad del agua, teléfonos, laptops	Río Chota	Se desea probar que el prototipo es apto para estar en el agua y medir los parámetros deseados	Del 10 al 17 de junio
3	Verificar la duración de la batería con el sistema en funcionamiento	Autora	Sistema de medición de la calidad del agua	Río Chota	Se pretende determinar cuál es el tiempo que la batería se encuentra activa y el tiempo que dura en volver a cargarse	Del 20 al 29 de junio

Fuente: Propia

#### 4.1.1. Prueba de acoplamiento de componentes

Inicialmente se prueba la integración física de los elementos del sistema con el diseño impreso. En la figura 80 se muestra el dispositivo con los sensores que irán directo al agua para tomar los datos:



*fig. 80: Sistema de medición de la calidad del agua  
Fuente: Propia*

Una vez integrados los componentes se ejecutan las pruebas de acoplamiento descritas en la tabla 30:

Tabla 30: Pruebas físicas del dispositivo

<b>Pruebas de acoplamiento de componentes</b>	
<b>Descripción de la prueba</b>	<b>Valoración</b>
	Si    No
Sensores bien asegurados y sin cruces	x
Circuito contenedor de módulos de sensores correctamente encajado en el modelo	x
Buen ajuste del Arduino y módulo GSM en el prototipo	x
Raspberry se encuentra bien incorporado al dispositivo	x
La ubicación de la batería es fija y segura	x

*Fuente: Propia*

**Resultados.** – Según se observa en la tabla 30, los componentes del sistema se acoplan de manera segura en el modelo cumpliendo así la tarea de mantenerlos protegidos y libres de fugas de agua que puedan ingresar y dañarlos.

De acuerdo con el resultado obtenido se observa que el sistema se encuentra en correcto funcionamiento ya que las pruebas revelan que el dispositivo cumple con los requerimientos de proteger los componentes y además está listo para la siguiente prueba que corresponde al flote.

#### **4.1.2. Prueba de flote del sistema**

Una vez verificada la integración de los componentes se prueba que el sistema se mantenga en el agua flotando, para lo cual se lo lleva al lugar de mediciones, que es el Río Chota que posee una latitud de 0.474748 (0°28'18.599" Norte) y -78.060143 de longitud (78°3'52.749" Oeste) como se muestra en la figura 81.



*fig. 81: Ubicación del Río Chota  
Fuente: Google Maps*

La medición se realiza a 2 metros aproximadamente de la zona donde los comuneros realizan las diversas actividades domésticas tal como se observa en la figura 82:



*fig. 82: Lugar de medición donde se ubica el sistema  
Fuente: Propia*

En la figura 83 se observa el sistema situado en el lugar de medición para la evaluación respectiva. La valoración de la prueba se realiza teniendo en cuenta los procesos que debe seguir el sistema hasta llegar al almacenamiento de la información medida para su posterior verificación por parte de los comuneros interesados.



fig. 83: Prototipo ubicado en el lugar de medición  
Fuente: Propia

En la tabla 31 se observan los ítems evaluados, que se marcan con un si en caso de tener respuesta positiva a la prueba y un no en caso contrario.

Tabla 31: Pruebas del sistema en el Río Chota

<b>Pruebas del prototipo en el río Chota</b>		
<b>Descripción de pruebas</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>
Prototipo se mantiene flotando en el río Chota e invariable ante posibles oleajes altos.	x	
Sensores se encuentran sumergidos completamente en el agua	x	
Sensores de pH y ORP ubicados a 3 o 4cm de distancia	x	

El agua llega al interior del sistema.	x
Prototipo interfiere con labores de los comuneros	x

*Fuente: Propia*

**Resultado.** -El sistema de medición de calidad del agua, según se muestra en la tabla 31, se encuentra en correcto funcionamiento en el agua ya que está protegido del ingreso de este líquido, también se ha realizado un diseño del prototipo con el cual se logra que este se mantenga flotando en el río sin hundirse.

En relación con los resultados obtenidos en esta prueba se observa que el sistema posee las propiedades necesarias para ser ubicado en el agua, sin que ello suponga la entrada de este líquido y el posterior daño de los componentes. Una vez verificado el flote del sistema, se detalla a continuación la prueba de duración de la batería.

#### 4.1.3. Prueba de duración de la batería

Ahora lo que se pretende es verificar la duración de la batería con el sistema en funcionamiento, siendo el tiempo estimado mínimo para que funcione de dos horas continuas. En la tabla 32 se observan las características evaluadas en este caso:

*Tabla 32: Pruebas de la batería*

<b>Pruebas de la batería</b>		
<b>Descripción de la prueba</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>
Tiempo de duración de batería mayor o igual al estimado.	x	
Medición de datos constante.	x	

El sistema se mantiene encendido	x
La batería se recarga con los rayos del sol	x

*Fuente: Propia*

**Resultado.** – La batería logra cumplir con el requerimiento mínimo de dos horas continuas en funcionamiento, además en este tiempo la medición de datos es ininterrumpida ya que el sistema está encendido y la batería se recarga con los rayos solares en un tiempo apropiado.

Los resultados obtenidos en la prueba muestran que la batería dura el tiempo necesario para cumplir con las tareas encomendadas, tiempo en el cual es posible recolectar la cantidad de datos adecuada para mostrarles a los comuneros.

A continuación, se detallan las pruebas de aceptación del sistema.

#### **4.2.Pruebas de aceptación**

Una vez realizadas las pruebas de hardware y verificado su funcionamiento, es necesario saber si este ha cumplido con los requerimientos anteriormente descritos y con las expectativas de los usuarios. En la figura 84 se muestra a los comuneros interactuando con el sistema, accediendo a la base de datos y visualizando la información de la calidad del agua.

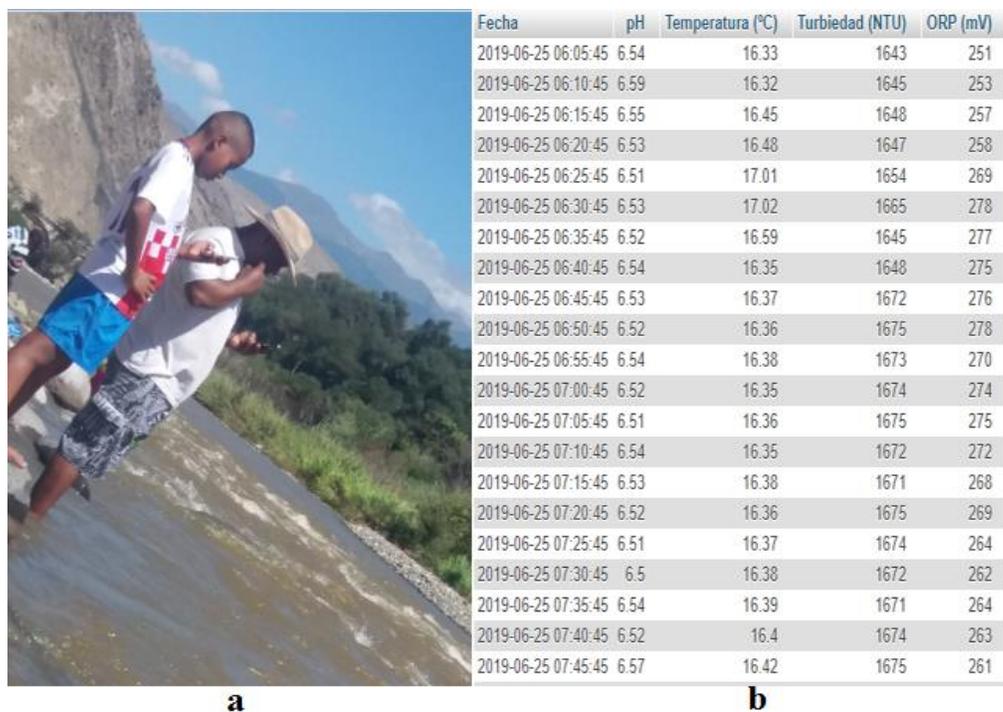


fig. 84: a) Usuarios visualizando la información almacenada en la Base de datos b) Base de datos que observan los comuneros  
Fuente: Propia

En la figura 85 se puede observar a personas interactuando con la base de datos desarrollada y accediendo a la información que se encuentra en ella.



fig. 85: Usuarios interactuando con el sistema  
Fuente: Propia

Los datos previamente recolectados que logran observar los comuneros se muestran en la figura 86:

Mostrando filas 150 - 174 (total de 275, La consulta tardó 0.0005 segundos.)

SELECT \* FROM `RioChota`

Perfilando [ [Editar en línea](#) ] [ [Editar](#) ] [ [Explicar](#) ]

<< < 7 > >> |  Mostrar todo | Número de filas: 25

+ Opciones

Fecha	pH	Temperatura (°C)	Turbiedad (NTU)	ORP (mV)
2019-06-25 13:07:45	6.77	19.35	1672	256
2019-06-25 13:12:45	6.73	19.34	1672	258
2019-06-25 13:17:45	6.76	19.32	1675	252
2019-06-25 13:22:45	6.75	19.38	1674	251
2019-06-25 13:27:45	6.78	19.33	1678	256
2019-06-25 13:32:45	6.77	19.35	1679	259
2019-06-25 13:37:45	6.75	19.38	1674	273
2019-06-25 13:42:45	6.76	19.4	1673	274
2019-06-25 13:47:45	6.79	19.46	1675	278
2019-06-25 13:52:45	6.8	19.43	1674	279
2019-06-25 13:57:45	6.77	19.42	1678	288
2019-06-25 14:02:45	6.76	19.45	1679	286
2019-06-25 14:07:45	6.73	19.41	1680	265
2019-06-25 14:12:45	6.72	19.38	1672	276
2019-06-25 14:17:45	6.75	19.37	1674	277
2019-06-25 14:22:45	6.73	19.34	1673	274
2019-06-25 14:27:45	6.78	19.31	1674	272
2019-06-25 14:32:45	6.79	19.32	1671	271
2019-06-25 14:37:45	6.72	19.33	1678	275
2019-06-25 14:42:45	6.75	19.34	1679	278
2019-06-25 14:47:45	6.73	19.35	1674	279
2019-06-25 14:52:45	6.72	19.38	1677	276
2019-06-25 14:57:45	6.75	19.32	1675	278
2019-06-25 15:02:45	6.72	19.31	1672	279
2019-06-25 15:07:45	6.75	19.28	1676	276

fig. 86: Captura de la base de datos que observan los comuneros en su dispositivo celular  
Fuente: Propia

Después de usar el sistema se somete a los usuarios a una encuesta en la cual se evalúa la experiencia de estos con el proyecto. Las preguntas realizadas tienen que ver con el tiempo de establecimiento de conexión inalámbrica entre el usuario y el sistema, el acceso a los datos, la comprensión de la información mostrada y la recepción de alertas mediante mensajes de texto.

Con los resultados de las encuestas (Ver anexo F), se logra completar las pruebas de aceptación que se encuentran descritas en la tabla 33, la valoración se realiza por medio de tres criterios: Muy satisfactorio al cumplir con todo lo mencionado, satisfactorio al tener un desempeño casi total y poco satisfactorio en caso de que no se haya cumplido con el requisito.

Tabla 33: Pruebas de aceptación

Descripción de prueba	Pruebas de aceptación del sistema		
	Muy satisfactorio	Satisfactorio	Poco satisfactorio
Sistema embebido compatible con sensores.	x		
Sistema embebido debe poseer mínimo 4 puertos de lectura analógica para ubicar los sensores.	x		
Sensores con módulo para conectar a la placa	x		
Sensores compatibles con los respectivos módulos	x		
Los dispositivos de los usuarios deben tener cobertura de al menos 50 metros		x	
Los datos deben ser procesados con rapidez en el sistema embebido.	x		
Tiempo de establecimiento de conexión inalámbrica no mayor a 1 minuto		x	
Tecnología inalámbrica para transmisión de datos a una distancia mínima de 30m		x	
Base de datos para almacenamiento debe soportar diversos tipos de datos	x		
Base de datos debe permitir crear diversos usuarios con distintos privilegios	x		
Recolección de datos en tiempo real	x		
Información ordenada, clara y actualizada	x		

---

Recepción de avisos cuando se midan valores diferentes de los que determinan la calidad del agua	x
--	---

---

*Fuente: Propia*

### 4.3. Mediciones de parámetros de calidad del agua

Una vez realizadas las pruebas que determinan la funcionalidad del proyecto, es necesario realizar la toma de datos en el río Chota con el objetivo de analizar la variación que presentan estos en diferentes jornadas, condiciones climáticas y actividades desarrolladas por los comuneros de la zona. En la tabla 34 se observan los rangos de pH, temperatura, turbidez y ORP determinados por la OMS para el agua usada en labores domésticas, los cuales se comparan con los datos de medición obtenidos en diversas condiciones.

*Tabla 34: Rangos permitidos por la OMS para agua usada en labores cotidianas*

<b>Rangos de calidad del agua emitidos por la OMS</b>		
Propiedad física o química	Unidad	Rango
pH	-	6,5-8,5
Turbiedad	NTU	<5
Temperatura	°C	>15 y <45
ORP	mV	≥650

*Fuente: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/es/)*

#### 4.3.1. Medición de calidad del agua en condiciones normales

En la tabla 35 se muestran las mediciones de pH, turbidez, temperatura y ORP obtenidas con las que se logra determinar la calidad del agua que posee el río en cuestión. Es importante

mencionar que los valores de calidad de agua son tomados del río cuando el agua es clara y aparentemente limpia debido a que en el momento de la medición no habían ocurrido precipitaciones en las comunidades altas por donde el río tiene su recorrido previo a llegar a la Comunidad del Chota.

El pH que se observa en estas temporadas está entre los 7.02 y los 6.75, también se observan valores de temperatura de entre 18.23 y 24.38 °C, de igual manera se muestra una turbiedad de 0 NTU que revela un agua con ausencia de sólidos suspendidos en su composición como arena, pequeñas rocas, entre otros, valores que en comparación con la tabla 34 se encuentran dentro de los rangos permitidos por la OMS para esas variables, finalmente se tiene un ORP de entre 220 y 250 mV el cuál se encuentra fuera del rango admisible y revela la presencia de microorganismos en el agua.

Tabla 35: *Medición de parámetros de calidad del agua*

<b>Mediciones de las variables en agua clara</b>				
<b>Horario</b>	<b>Variable</b>			
	pH	Turbidez (NTU)	Temperatura (°C)	ORP (mV)
De 6H00- 8H00	7.01	0	18.35	222
	7.02	0	18.24	221
	7.01	0	18.43	220
	7.02	0	18.50	223
	7.02	0	18.48	221
	7.01	0	18.44	222
	7.03	0	18.41	223
	7.02	0	18.35	220
	7.02	0	18.23	221
	7.02	0	18.24	223

De 13H00-15H00	7.02	0	24.00	242
	7.03	0	24.29	244
	7.01	0	24.33	245
	7.01	0	24.38	243
	6.79	0	24.30	242
	6.75	0	24.26	241
	6.79	0	24.29	243
	6.79	0	24.26	242
De 17H00-18H30	7.02	0	20.35	250
	7.02	0	20.41	244
	7.02	0	20.42	223
	7.02	0	20.34	242
	7.02	0	20.31	244
	7.02	0	20.32	231
	7.01	0	20.32	234
	7.02	0	20.31	234

*Fuente: Propia*

#### **4.3.2. Medición de calidad del agua en condiciones adversas**

Quando existen circunstancias en las que el río presenta crecidas, que generalmente son en los períodos de marzo a mayo y de octubre a diciembre, por precipitaciones que suceden en lugares antes de llegar a la Comunidad del Chota, las mediciones cambian. Como se observa en la tabla 36 los valores de pH se encuentran dentro del rango permitido pues hay mediciones de entre 6.51 y 6.76, pero no así para la turbidez que sobrepasa los límites permitidos pues el agua tiene un valor que supera los 1640 NTU lo cual no es bueno para las labores domésticas que revela presencia de tierra y pequeñas rocas, de igual manera se tienen temperaturas muy bajas de entre 16 y 18 °C que revelan un agua bastante fría en aquellas épocas, finalmente se observa un ORP menor a los 300 mV muy por debajo de los 650 mV del rango admitido que se muestra en la tabla 34.

Tabla 36: Medición de calidad del agua en río corrientoso y con algunos sedimentos

<b>Mediciones de las variables en el río corrientoso</b>				
<b>Horario</b>	<b>Variable</b>			
	pH	Turbidez (NTU)	Temperatura (°C)	ORP (mV)
De 6H00- 8H00	6.54	1643	16.33	251
	6.59	1645	16.32	253
	6.55	1648	16.45	257
	6.53	1647	16.48	258
	6.51	1654	17.01	269
	6.53	1665	17.02	278
	6.52	1645	16.59	277
	6.54	1648	16.35	275
	6.53	1672	16.37	276
	6.52	1675	16.36	278
De 13H00-15H00	6.77	1672	19.35	256
	6.73	1672	19.34	258
	6.76	1675	19.32	252
	6.75	1674	19.38	251
	6.78	1678	19.33	256
	6.77	1679	19.35	259
	6.75	1674	19.38	273
	6.76	1673	19.40	274
De 17H00-18H30	6.69	2789	18.65	265
	6.78	2785	18.62	268
	6.77	2768	18.67	267
	6.65	2765	18.69	264
	6.76	2765	18.70	263
	6.76	2769	18.68	262
	6.75	2765	18.67	261

Fuente: Propia

### 4.3.3. Medición de calidad del agua luego de ser usada por comuneros

Finalmente, es conveniente conocer como varían los datos con las actividades domésticas que realizan los comuneros, pues el uso del detergente y jabón utilizados para lavar la ropa y platos puede significar la presencia de contaminación y por consiguiente existir variaciones notorias en las mediciones, en la figura 87 se muestra el sistema tomando valores en las condiciones ya descritas:



*fig. 87: Medición de valores en agua previamente usada por los comuneros  
Fuente: Propia*

Según se observa en la tabla 37 los valores de pH en este caso se encuentran por fuera del rango permitido, pues se tiene un pH que varía de entre 9 y 10 debido a la presencia del jabón, espuma y detergente que se usa para lavar la ropa, además los valores de turbidez se encuentran en un rango aproximado de 640 y 670 NTU, así como también una temperatura de entre 18 y 19 °C que revela que el agua se encuentra fría, lo cual es una característica a destacar de este río y

finalmente un ORP menor a los 300 mV lo cual revela que bajo ninguna circunstancia el agua debe ser ingerida por los seres humanos.

Tabla 37: Mediciones de calidad del agua luego de las labores realizadas por los comuneros

<b>Mediciones de las variables luego de labores de los comuneros</b>				
<b>Horario</b>	<b>Variable</b>			
	pH	Turbidez (NTU)	Temperatura (°C)	ORP (mV)
De 6H00- 8H00	9.54	648.3	19.05	251
	9.59	645.65	19.03	253
	9.69	645.65	19.02	257
	9.68	661.5	18.97	258
	9.70	664.5	18.95	269
	9.74	666.78	18.94	278
	9.75	665.97	18.96	277
	9.78	665.92	18.93	275
	9.76	665.43	18.91	276
	9.77	665.32	18.88	278
De 13H00-15H00	9.79	664.93	19.55	256
	9.85	664.98	19.54	258
	9.88	664.77	19.58	252
	9.91	664.5	19.60	251
	9.94	664.07	19.63	256
	9.95	663.49	19.65	259
	10.01	663.52	19.68	273
De 17H00-18H30	10.07	663.61	19.65	274
	10.09	664.07	20.22	265
	10.08	661.77	20.21	268
	10.11	664.45	20.25	267
	10.09	663.39	20.23	264
	10.13	663.32	20.25	263

10.15	663.28	20.26	262
10.18	663.15	20.24	261

*Fuente: Propia*

Al finalizar las pruebas de funcionamiento del hardware del sistema de medición de la calidad del agua se concluye que este es apto para el propósito y es servicial para los moradores de la comunidad debido a que se mantienen informados acerca de los parámetros que determinan si el agua se encuentra apta para las diversas actividades que ellos realizan a diario, además de que los alerta en caso de que el agua presente valores de las variables fuera de rango y peligrosos para la salud humana, según lo indica la OMS.

La base de datos que se ha obtenido de las mediciones realizadas en diversas situaciones se encuentra detallada en el Anexo E.

Una vez realizadas las pruebas de cada una de las áreas del sistema y de verificar los cambios en las mediciones al tener condiciones fisicoquímicas diferentes en el Río Chota, es necesario conocer el impacto que este ha tenido en las personas que han hecho uso del dispositivo y los costos que el desarrollo ha requerido por medio del análisis de factibilidad que se detalla en el siguiente punto.

#### **4.4.Factibilidad del proyecto**

La factibilidad de un proyecto tiene que ver con la existencia de recursos que permitan cumplir con los objetivos y metas de este, también sirve para determinar si el proyecto ha tenido el impacto esperado en el público al que va dirigido y para verificar si el problema se resuelve con la inversión realizada.

Los objetivos que se pretenden cumplir con el análisis de factibilidad son los siguientes:

- Verificar la existencia de una necesidad no satisfecha.
- Demostrar la viabilidad técnica y la disponibilidad de los recursos
- Comprobar las ventajas sociales y ambientales del proyecto (beneficios).

En relación con el punto 1, es importante mencionar que ya se ha realizado dicho estudio en la descripción del problema detallada en el capítulo I, en cambio el segundo ítem se describe en el capítulo III que se refiere al diseño del sistema, finalmente el punto tres se detalla a continuación mediante el análisis de los costos que se han generado de acuerdo con los materiales directos y mano de obra usada y de los beneficios que el sistema brinda a los comuneros.

#### 4.4.1. Costo del proyecto

Para determinar el costo del proyecto es necesario tomar en cuenta los componentes utilizados en el desarrollo de este que corresponde a todo el hardware empleado, así como también el software que se utilizó para la programación de los dispositivos microcontroladores y el precio de la ejecución de esta. Los costos de los componentes se detallan en la tabla 38:

*Tabla 38: Costo del sistema*

<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo (\$)</b>	<b>Costo de envío (\$)</b>	<b>Costo total (\$)</b>
Arduino UNO	1	30.00	0.00	30.00
Raspberry pi3 B+	1	60.00	0.00	60.00
Módulo SIM900	1	20.00	0.00	20.00
Sensor de pH	1	50.00	5.00	55.00
Sensor de temperatura	1	5.00	0.00	5.00

Sensor de Turbidez	1	25.00	0.00	25.00
Sensor de ORP	1	89.00	11.00	100.00
Batería Power Bank	1	15.00	5.00	20.00
Conectores molex	4	0.40	0.00	1.60
Cables macho-hembra	10	0.10	0.00	1.00
Baquelita 10X12	1	1	0.00	1.00
Impresión 3D	5	8.00	0.00	40.00
Desarrollo de programación	50 horas de programación	12.00*	0.00	600
Software Python	1	0.00	0.00	0.00
IDE de Arduino	1	0.00	0.00	0.00
<b><u>Costo total del proyecto (\$):</u></b>				<b>958.60</b>

*Fuente: Propia*

*Nota: Valor \* tomado de (Sánchez Pozo, 2018)*

#### 4.4.2. Beneficios del sistema

Los beneficios mostrados a continuación se relacionan con las ventajas que el sistema brinda a los habitantes de la Comunidad del Chota y a la sociedad en general.

- El principal beneficio al implementar el proyecto es la protección y conservación de la vida y salud de los seres humanos.
- Informa a las personas sobre los niveles de contaminación que afectan al río para que las mismas tomen acción y reducir el desecho de agentes contaminantes al agua.
- Ahorro en la inversión de medicamentos en caso de adquirir enfermedades de manera masiva por consumir agua contaminada.
- Reducción de muertes por enfermedades como la diarrea, cólera, paludismo entre otras causadas por ingerir agua contaminada ya que según la OMS un millón ochocientas mil personas mueren de enfermedades diarreicas cada año.

- La Comunidad del Chota además de subsistir de la agricultura, también gran cantidad de sus habitantes se dedican al desarrollo turístico, el cual presenta como principal atractivo el Río Chota, que si se encuentra contaminado y no hay una información oportuna sobre su estado puede reducir el número de visitantes y por ende los ingresos de muchas familias.

De acuerdo con el análisis de costos y los beneficios del sistema se tiene que las ventajas son mucho mayores que la inversión realizada, aunque no estén expresados en dólares, pues salvaguardar la vida y salud de los seres humanos al mantenerlos informados es fundamental, necesidad que el presente dispositivo resuelve según la evidencia mostrada en apartados anteriores, además la inversión se reduce al mínimo considerando que el sistema es donado a la comunidad para hacer uso de él de forma responsable y cuidadosa.

## Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

El análisis de conclusiones y recomendaciones, que a continuación se detallan, es de gran importancia para establecer la factibilidad del proyecto, saber si se ha cumplido con los objetivos planteados inicialmente y también determinar si el dispositivo es apto para la función que fue creado.

### 5.1. Conclusiones

- El sistema de medición de la calidad del agua del Río Chota funciona satisfactoriamente ya que se consiguió medir parámetros fisicoquímicos como pH obteniendo datos de entre 6.75 y 7.02, turbiedad de 0, temperatura menor a 25°C y ORP menor a 250mV, valores que fueron mostrados a los comuneros para que se encuentren informados y alerta en cuanto a su uso pues el ORP se encuentra muy por debajo de los límites admisibles dictados por la OMS incluso cuando el agua se muestra aparentemente limpia.
- El dispositivo desarrollado presenta información fidedigna, segura y no se encuentra sujeta a cambios o mal uso por terceros ya que es accesible únicamente por personas interesadas, siempre y cuando posean las credenciales de acceso a ella.
- La metodología usada para el desarrollo del proyecto fue la más adecuada debido a que con ella se consiguió diseñar el sistema en base a requerimientos generales y específicos que deben cumplirse en cada paso y validarse.
- Las pruebas de funcionamiento sirvieron para verificar que las partes del proyecto se encuentran desarrolladas de manera acertada y encaminada hacia los objetivos,

logrando así contrastar en cada paso de evaluación las características que debía tener el sistema con las necesidades de los comuneros.

- Los valores arrojados por los sensores en la medición de la calidad del agua del Río Chota revelan que el agua es apta para el uso en labores del hogar como lavar ropa o platos cuando se observa clara y cristalina, pero para el consumo humano se recomienda no ingerirla debido al nivel de ORP que posee, lo cual revela presencia de microorganismos, y es menor de los 650mV recomendados por la OMS.

## **5.2.Recomendaciones**

- Se recomienda calibrar los sensores inicialmente antes de realizar las mediciones pues de esto depende la eficiencia en el sensado de las variables por lo que es importante realizarlo.
- Se aconseja verificar la naturaleza de sensado de los sensores, los rangos de medición y características eléctricas de estos pues un mal uso de ellos puede significar el fallo o el daño permanente.
- Previo a la integración del sistema se debe estar seguro de las pruebas unitarias para así evitar realizar cambios al final.
- Asegurarse de que el dispositivo flote en el agua y no se hunda para que mida los datos esperados.
- Se sugiere tener precaución en el momento de poner el sistema en el río ya que una mínima fuga de agua puede significar el daño total o parcial de los componentes de este.

- Para realizar estudios futuros acerca de medición de la calidad del agua se debe tener claro el área de estudio pues algunas condiciones son propias y exclusivas de la zona y pueden variar de un lugar a otro.

## BIBLIOGRAFÍA

ADDIN EN.REFLIST Almeida, L. (2014). Una revisión de la evaluación de la calidad del agua en los ríos de la provincia de Imbabura. *Trabajo de fin de titulación. Universidad Técnica Particular del Loja, Ecuador.*

Albarracín Samaniego, A. B., & Contero Rosero, D. X. (2012). *Desarrollo de un prototipo de red inalámbrica sensorial implementada con la tecnología ZIGBEE para monitorización de la calidad del agua.* SANGOLQUÍ/ESPE/2012.

BIBLIOGRAPHY *Arduino* . (2017). Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>

Arrebola Pérez, F., Bandera Rubio, J. P., & Cano García, J. M. (2008). *Teoría y diseño con microcontroladores de freescale: familia Flexis de 32 bits MCF51QE.* Madrid, SPAIN: McGraw-Hill España.

*BricoGeek*. (2015). Obtenido de <https://tienda.bricogeek.com/home/581-sensor-analogico-de-ph.html>

ADDIN EN.REFLIST Campos Paré, R., Casillas Santillán, L. A., Costal Costa, D., Gibert Ginestá, M., Martín Escofet, C., & Pérez Mora, O. (2007). *Software Libre: Base de Datos.* In: Madrid: Universitat Oberta de Catalunya (UOC).

BIBLIOGRAPHY *cooking-hacks*. (2016). Obtenido de <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/waspmote>

Correa, C., & Ruíz, R. (2008). *Monitoreo de Caudales en Canales Usando Redes de Sensores Inalámbricas*.

Desarrollo Web. (02 de enero de 2015). Desarrolloweb.com. Obtenido de <http://www.desarrolloweb.com/articulos/raspberry-pi-tecnologia.html>

DFROBOT. (2016). Obtenido de <https://www.dfrobot.com/product-1071.html>

Dogan, I. (2007). *Programación de microcontroladores PIC*. Barcelona, SPAIN: Marcombo.

Durán, P. D. C., & Iturriago, A. X. (2012). Automatización de un Sistema de Suministro de Agua Potable a Través de la Tecnología Zigbee. *Revista Colombiana de*, 1(17), 2011.

Ecuatoriana, N. T. (2013). INEN 2 169: 98. Calidad del Agua. Muestreo. *Manejo y conservación de muestras*.

BIBLIOGRAPHY Ellermeijer, T. (13 de 07 de 2015). *cma*. Obtenido de [http://cma-science.nl/resources/dealers/es/manuals/bt\\_sensors/BT27i\\_es.pdf](http://cma-science.nl/resources/dealers/es/manuals/bt_sensors/BT27i_es.pdf)

Faustino Manco, J., & Jiménez Otárola, F. (2000). Manejo de cuencas hidrográficas.

ADDIN EN.REFLIST Figueroa de la Cruz, M. (2008). *Introducción a los sistemas de telefonía celular*. Buenos Aires, ARGENTINA: Editorial Hispano Americana HASA.

ADDIN EN.REFLIST Germán Corona Ramírez, L., Abarca Jiménez, G. S., & Mares Carreño, J. (2014). *Sensores y actuadores: aplicaciones con Arduino*. Distrito Federal, UNKNOWN: Grupo Editorial Patria.

*HeTpro.* (2017). Obtenido de <https://hetpro-store.com/sensor-analogo-de-turbidez-de-agua-gravity/>

*HeTpro.* (2017). Obtenido de <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/lm35/>

*HobbyElectronica.* (2016). Obtenido de <https://www.hobbyelectronica.nl/product/gprs-gsm-shield-arduino/>

*IDEAM.* (2011). Obtenido de

<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/012406/Cap12.pdf>

Iglesias Rosado, C., Villarino Marín, A., Martínez, J. A., Cabrerizo, L., Gargallo, M., Lorenzo, H., . . . Romero de Ávila, D. (2011). Importancia del agua en la hidratación de la población española: documento FESNAD 2010. *Nutrición Hospitalaria*, 26(1), 27-36.

*INAMHI.* (2010). Obtenido de <https://issuu.com/inamhi/docs/indicadores-fisico-quimicos---cuenca-del-rio-mira>

Llore Guerrero, I., & Rodríguez Nogales, S. (2010). *Evaluación de impactos ambientales y propuesta del plan de manejo ambiental del Proyecto de Riego Ambuquí.*

BIBLIOGRAPHY Lázaro, Á. C. (20 de 11 de 2017). *GMV.* Obtenido de

<https://www.gmv.com/es/Empresa/Comunicacion/Noticias/2017/11/Agua-JA-IOT.html>

ADDIN EN.REFLIST León Velasco, J. (2014). *Geografía del Ecuador: medio natural, población y organización del espacio.* Quito, ECUADOR: Corporación Editora Nacional - UASB-E.

BIBLIOGRAPHY Macho, J. C. (05 de Septiembre de 2018). *Prometec*. Obtenido de <https://www.prometec.net/gprs-llamar-enviar-sms/>

Marín Galvín, R. (2014). *Dinámica fisicoquímica de aguas*. Madrid, SPAIN: Ediciones Díaz de Santos.

*Ministerio de Salud Pública*. (2016). Obtenido de <http://www.salud.gob.ec/informacion-clave-para-el-consumo-de-agua-segura/>

OAS. (2006). Obtenido de <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea60s/ch11.htm#1>

Organización Mundial de la, S. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda (4a ed + 1a adenda ed.)*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.

PANATEC. (2008). Obtenido de <http://www.panatec-agua.com/calidad-agua.php>

ADDIN EN.REFLIST Pérez Guzmán, R. E., & González Rivero, O. (2016). *Prototipo de adquisición de señales biológicas utilizando Arduino*. La Habana, UNKNOWN: Editorial Universitaria.

Pressman, R. S., & Troya, J. M. (2015). *Ingeniería del software*.

*raspberrypi*. (2015). Obtenido de <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>

Rivera Herrera, D. I., & Yopez Aroca, E. A. (2015). *Diseño e implementación de un prototipo para la medición de calidad del agua y control de la oxigenación en forma remota orientado a la producción acuícola*

BIBLIOGRAPHY *ROBU.IN*. (2018). Obtenido de <https://robu.in/product/turbidity-sensor-module/>

ADDIN EN.REFLIST Rojo, L. E., Pérez, A. L., Baeza, O. G., & Zavala, Ó. U. L. (2017). INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE BIOGÁS. *Pistas Educativas*, 39(125). ADDIN EN.REFLIST

BIBLIOGRAPHY Salazar Gil, J. R. (Febrero de 2007). *Universidad Simón Bolívar*. Obtenido de <http://www.bib.usb.ve/index-aleph.php>

BIBLIOGRAPHY Sánchez Pozo, N. N. (2018). *repositorio.utn*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8109/1/04%20RED%20191%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>

*Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo*. (2013). Obtenido de <http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/11/Agenda-zona-1.pdf>

ADDIN EN.REFLIST Serna, A., Ros, F., & Rico, J. C. (2010). *GUÍA PRÁCTICA DE SENSORES: Creaciones Copyright, S.L.*

Smith, M. (29 de 12 de 2017). *Python*. Obtenido de

<https://wiki.python.org/moin/BeginnersGuide/Overview> ADDIN EN.REFLIST

SUIA. (2016). Obtenido de

<http://suia.ambiente.gob.ec/documents/783967/889145/Diagn%C3%B3stico+de+los+Recursos+H%C3%ADricos+de+la+Reserva+Ecol%C3%B3gica+Cotacachi+-+Cayapas+Propuesta+de+Monitoreo+de+Recursos+H%C3%ADricos..pdf/192d0fac-da0f-4e20-93ae-b7fa1218bde5;jsessionid=bLdpx>

Tanenbaum, A. S. (2003). *Redes de computadoras*: Editorial Alhambra S. A. (SP).

TEM. (2016). Obtenido de <https://www.tme.eu/es/details/df-sen0165/sensores-ambientales/dfrobot/sen0165/>

ADDIN EN.REFLIST Tirado Gavilanes, M. E. (2015). *Red inalámbrica de sensores para el monitoreo de la calidad del agua de la microcuenca del río Quero*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones,

ADDIN EN.REFLIST Torres Trujillo, D. A. (2009). Diseño del sistema electrónico para la medición de los parámetros de calidad de agua sobre el río Cauca en la red automática de monitoreo de la CVC.

BIBLIOGRAPHY *tst-sistemas*. (2014). Obtenido de <http://www.tst-sistemas.es/productos/tsmart/>

Zabalza Beraza, R. (2011). *Feedback Networks*. Obtenido de <https://www.feedbacknetworks.com/cas/experiencia/sol-preguntar-calculat.html>

### **Glosario de Términos y Acrónimos.**

AES (Advanced Encryption Standard): Es un esquema de cifrado por bloques.

API (Interfaz de Programación de Aplicaciones): Conjunto de reglas, funciones y procedimientos que permiten comunicar aplicaciones y aprovechar los avances ya realizados en un área determinada.

ASCII: Codificación usada para los caracteres alfanuméricos que son asignados a cada letra, número o carácter especial y pueden estar en el rango de 0 al 127.

CBC-MAC: Código de Autenticación de Mensajes por Encadenamiento de Bloques de Cifrado.

CSMA-CA: Acceso múltiple por detección de portadora y prevención de colisiones

E.coli (Escherichia coli): Es una bacteria que está en el agua o en algunos alimentos, puede ser transmitida de persona a persona y causar una grave enfermedad.

E0: Cifrado de flujo desarrollado específicamente para bluetooth.

EEPROM: Es un tipo de memoria ROM no volátil que puede ser programada, borrada y reprogramada de manera eléctrica.

Estiaje: Es el nivel mínimo de caudal que alcanza un río o laguna en épocas específicas del año debido a sequías.

FHSS: Técnica de modulación síncrona de espectro ensanchado por salto de frecuencia.

GMV: Empresa enfocada en el desarrollo de productos y servicios en diversas áreas como las finanzas, la aeronáutica, espacio, defensa, salud, entre otras.

GPIO: Pines de entrada o salida de propósito general que pueden ser controlados o programados por el usuario.

GSM: Sistema Global para las comunicaciones móviles.

GPRS: Servicio general de paquetes vía radio.

H<sub>2</sub>O: Molécula del agua que consiste en dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno.

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

I<sup>2</sup>C: Circuito inter- integrado, utilizado para comunicación entre diferentes partes de un circuito.

INAMHI: Instituto Nacional de meteorología e hidrología.

IoT: Siglas para referirse al internet de las cosas.

ISM: Bandas de frecuencia del espectro usadas para fines médicos e industriales.

LAN (Local Area Network): Red de área local que conecta dispositivos en pequeñas áreas.

Lm35: Nomenclatura usada para referirse al sensor de temperatura que se conecta al Arduino u otros microcontroladores.

mg/l: Unidad que no pertenece al sistema internacional pero que es usada para referirse a algunas propiedades del agua como son el oxígeno disuelto, fosfato, nitrato, entre otros.

m.s.n.m. (Metros sobre el nivel del mar): Unidad que se usa para referirse a la altitud, la cual describe la distancia vertical entre un punto de la tierra en relación con el mar.

mV (milivoltios): Unidad para referirse al ORP del agua.

MySQL: Sistema de gestión de base de datos relacional.

NTU (Unidades nefelométricas de turbidez): Unidad que se usa para denominar a la turbidez del agua.

ODBC (Open Database Connectivity): Es un estándar que permite el acceso a los datos desde diversas aplicaciones, independientemente del sistema gestor de bases de datos que almacene la información.

OMS (Organización Mundial de la Salud): Organismo enfocado a la salud mundial que realiza la gestión de políticas de prevención, promoción e intervención.

ORP: Siglas usadas para referirse a la propiedad química del agua llamada potencial óxido-reducción.

PANATEC: Compañía internacional enfocada al suministro de novedades tecnológicas que apunta al sector industrial, la gestión del agua y a la defensa.

PoE HAT: Funcionalidad que permite al Raspberry alimentarse por medio de su conector Ethernet.

Poise: Unidad que se refiere a la viscosidad del agua y equivale a 1g/ (s.cm).

Python: Lenguaje de programación que se posee sencillez, es legible, permite programación funcional, orientada a objetos e imperativa.

RAM: Memoria de trabajo usada en computadoras y otros dispositivos que es de acceso aleatorio.

RJ45: Interfaz física que se usa para interconectar redes de computadores.

ROM: Memoria de solo lectura usada en computadores y elementos electrónicos que no permite la escritura.

Sen0161: Numeración usada para referirse al sensor que se usa para medir pH al ser conectado al Arduino.

Sen0165: Numeración usada para describir el sensor que mide el ORP del agua.

Sen0189: Numeración empleada para nombrar el sensor que mide la turbidez del agua.

SGBD: Sistema gestor de base de datos.

SIGFOX: Conectividad de alto alcance que se encuentra entre las redes WiFi y GSM usada para el internet de las cosas, pensada para comunicaciones que requieran bajas velocidades.

SMS: Mensaje corto de texto que se usa para intercambiar entre teléfonos móviles.

SPI: Bus serial de interfaz de periféricos que es un estándar para enlazar datos seriales en dispositivos sincronizados por un reloj con modo de operación full dúplex.

SRSR: Especificación de requisitos de arquitectura

Stakeholders: Denominación usada para referirse a los implicados en el proyecto.

StSR: Detalle de requerimiento de los stakeholders

SySR: Especificación de requerimientos del sistema

TCP/IP: Protocolo de control de transmisión / Protocolo de internet

uS/cm: Micro Siemens por centímetro, variable usada para referirse a la conductividad eléctrica

W5500: Chip ethernet usado para proporcionar conexión a los sistemas integrados

WEP: Sistema de cifrado incluido en el estándar IEEE 802.11 como protocolo para redes Wireless que permiten cifrar la información que se transmite.

WPA2 (Wi-Fi Protected Access 2): Sistema usado para proteger las redes inalámbricas (Wi-Fi).

## Anexos.

### Anexo A. Programación script IDE de Arduino para la conversión de datos análogos a valores de voltaje

```
1 int pinpH=A0; //Pin análogo donde va conectado el módulo de pH
2 double pHanalogo; // Variable para almacenar pH
3 double pHVoltaje; // Variable para conversión análoga a voltaje
4
5 void setup()
6 {
7   Serial.begin(9600); //Velocidad de datos serial de 9600
8 }
9
10 void loop() {
11
12   pHanalogo=analogRead(pinpH);
13   pHVoltaje=(pHanalogo/1023.0)*5;
14   Serial.print("Voltaje=");
15   Serial.print(pHVoltaje);
16   Serial.println(" (V)");
17   delay(1000);
18 }
19
```

## Anexo B. Programación script IDE de Arduino para la recolección de datos de los sensores

```

Recoleccion_de_datos $
1 #include <SoftwareSerial.h>
2 SoftwareSerial SIM900(7, 8);
3 ///DEFINIR VARIABLES ////
4
5 //Definición de pines para conexión de sensores en pines analógicos del arduino///
6 const int pinpH = A0;
7 const int pinOrp= A1;
8 const int pinTurb=A2;
9 const int pinTemp=A3;
10
11 //Variables para almacenar los valores entregados por sensores ////
12 unsigned long int avgValuepH;
13 unsigned long int avgValueTemp;
14 unsigned long int avgValueTurb;
15 unsigned long int avgValueOrp;
16 int voltaje=5;
17 float b;
18
19 //Vectores en los que se almacenarán los 10 valores iniciales recolectados por los sensores/////
20 int pHrecogido[10],pH;
21 int tempRecogida [10],temp;
22 int turbRecogida[10], turb;
23 int orpRecogido[10], orp;
24
25 //Variables donde se almacenan valores de los sensores transformados a cada unidad
26 double phValor;
27 float tempValor;
28 float turbValor;
29 float orpValor;

```

```
31 // Variable para enviar mensaje de texto
32 int phrio=0;
33 int temprio=0;
34 int turbrio=0;
35 int orprio=0;
36
37 #define VOLTAGE 5.0 // Definir voltaje de funcionamiento
38 #define OFFSET 23 // Valor de calibración del sensor de ORP
39
40
41 double orpValue;
42
43 #define ArrayLenth 40 //Tiempo de recolección de datos
44
45 int orpArray[ArrayLenth];
46 int orpArrayIndex=0;
47
48 //Método para tomar valores del sensor de ORP
49
50 double avergearray(int* arr, int number)
51 {
52     int i;
53     int max,min;
54     double avg;
55     long amount=0;
56     if(number<=0)
57     {
58         printf("Error de número de array!/n");
59         return 0;
```

```
56 if(number<=0)
57 {
58     printf("Error de número de array!\n");
59     return 0;
60 }
61 if(number<5) //Si es menor a cinco calcular las estadísticas directamente
62 {
63     for(i=0;i<number;i++)
64     {
65         amount+=arr[i];
66     }
67     avg = amount/number;
68     return avg;
69 }
70 else
71 {
72     if(arr[0]<arr[1])
73     {
74         min = arr[0];max=arr[1];
75     }
76     else
77     {
78         min=arr[1];max=arr[0];
79     }
80     for(i=2;i<number;i++)
81     {
82         if(arr[i]<min)
83         {
84             amount+=min; //arr<min
```

```
85     min=arr[i];
86 }
87 else
88 {
89     if(arr[i]>max)
90     {
91         amount+=max;    //arr>max
92         max=arr[i];
93     }
94     else
95     {
96         amount+=arr[i]; //min<=arr<=max
97     }
98 }// Cierre de if
99 }// Cierre de for
100 avg = (double)amount/(number-2);
101 }// Cierre de if
102 return avg;
103 }
104
105 void setup()
106 {
107     pinMode(9,OUTPUT); // Pin nueve como salida
108     digitalWrite(9, HIGH); // Activar la alimentación de la tarjeta SIM900 por Software
109     delay(1000);          //Retardo
110     digitalWrite(9, LOW); // Apagar el pin 9
111     delay (5000);        //Retardo
112     Serial.begin(9600); //Velocidad del puerto serial
```

```
113 SIM900.begin(9600); //Velocidad del módulo sim900
114 delay(1000);      //Retardo
115 }
116
117
118 void loop() {
119
120
121
122 if (Serial.available()) // Verificar disponibilidad del puerto serial para el envío de valores///
123 {
124
125 char c=Serial.read(); //almacenar en c los valores recibidos por serial
126 delay(10);
127
128 //LEER VALORES DEL SENSOR DE pH
129
130 if(c=='p') //Si valor recibido es p
131 {
132   for(int i=0;i<10;i++)
133   {
134     pHrecogido[i]=analogRead(pinpH); //Leer valor análogo del pH y almacenar en posición i del vector
135     delay(10); //Retardo de 10ms
136   }
137   for(int i=0;i<9;i++)
138   {
139     for(int j=i+1;j<10;j++)
140     {
141       if(pHrecogido[i]>pHrecogido[j]) //si el pH recogido en posición i del vector es mayor al pH recogido en posición j
```

```

142     {
143         pH=pHrecogido[i];           //Almacenar el valor de pH en i en la variable tipo entero llamada pH
144         pHrecogido[i]=pHrecogido[j]; //Igualar pH recogido en i al pH recogido en j
145         pHrecogido[j]=pH;           //Al valor de pH en j igualar a la variable tipo entero llamada pH
146     }
147 }
148 }
149
150 avgValuepH=0;                       //Inicializar variable
151
152 for(int i=2;i<8;i++)                 //Recoger valores de pHrecogido mientras se cumple la condición
153 avgValuepH+=pHrecogido[i];           //Almacenar valores de pHrecogido en la variable avgValuepH
154
155 float pHVolt=(float)avgValuepH*5.0/1024/6; //Ecuación para transformar valores análogos recogidos a valores de voltaje
156 phValor = -5.65 * pHVolt + 21.12;     //Ecuación para transformar de voltaje a valores de pH de entre 0-14
157 //Serial.print("pH:");                //Imprimir etiqueta pH
158 Serial.println(phValor);              //Imprimir el valor de pH
159 //Serial.print(" ");
160 delay(100);                            //Retardo de 1000ms
161 if(phValor>8.5 || phValor<6.5 )        //Si el valor del pH sobrepasa niveles aceptables
162 {
163     phrio ++;                           //Aumentar en uno la variable phrio
164 }
165 if(phrio==10)
166 {
167     Serial.println("Enviando SMS...");
168     SIM900.print("AT+CMGF=1\r");        //Configura el modo texto para enviar o recibir mensajes
169     delay(1000);
170     SIM900.println("AT+CMGS=\r09[REDACTED]\r"); //Numero al que vamos a enviar el mensaje

```

```

171     delay(1000);
172     SIM900.println("Valores de calidad del agua no aptos para consumoHumano."); // Texto del SMS
173     delay(100);
174     SIM900.println((char)26); //Comando de finalización ^Z
175     delay(100);
176     SIM900.println();
177     delay(5000); // Esperamos un tiempo para que envíe el SMS
178     Serial.println("SMS enviado");
179     phrio=0;
180     }
181     } //Cierre de lectura de char p
182
183 //LEER VALORES DEL SENSOR DE TEMPERATURA
184 if(c=='t')
185 {
186     for(int k=0;k<10;k++)
187     {
188         tempRecogida[k]=analogRead(pinTemp); //Leer valor análogo de temperatura y almacenar en posición k del vector
189         delay(10); //Retardo de 10ms
190     }
191     for(int k=0;k<9;k++)
192     {
193         for(int l=k+1;l<10;l++)
194         {
195             if(tempRecogida[k]>tempRecogida[l]) //si la temperatura recogida en posición k del vector es mayor a la temperatura recogida en posición l
196             {
197                 temp=tempRecogida[k]; //Almacenar el valor de temperatura en k en la variable tipo entero llamada temp
198                 tempRecogida[k]=tempRecogida[l]; //Igualar temperatura recogida en k al temperatura recogida en l

```

```

199         tempRecogida[l]=temp;           //Al valor de temperatura en l igualar a la variable tipo entero llamada temp
200     }
201 }
202 }
203 avgValueTemp=0;                        //Inicializar variable
204 for(int k=2;k<8;k++)                   //Recoger valores de temprecogida mientras se cumple la condición
205 avgValueTemp+=tempRecogida[k];         //Almacenar valores de temprecogida en la variable avgValueTemp
206 float tempVolt=(float)avgValueTemp*5.0/1024/6; //Ecuación para transformar valores análogos recogidos a valores de voltaje
207 float tempValor = tempVolt/0.01;       //Ecuación para transformar de voltaje a valores de temperatura
208 //Serial.print("Temperatura: ");       //Imprimir etiqueta temperatura
209 Serial.println(tempValor);             //Imprimir el valor de temperatura
210 // Serial.println(" °C ");
211 delay(100);                            //Retardo de 1000ms
212
213 if(tempValor>45 || tempValor<15 )      //Si valor de temperatura sobrepasa los niveles aceptables
214 {
215     temprio ++;                          //Sumar uno a la variable temprio
216 }
217 if(temprio==10)                         // Si temprio llega a diez
218 {
219     //Serial.println("Enviando SMS...");
220     SIM900.print("AT+CMGF=1\r");         //Configura el modo texto para enviar o recibir mensajes
221     delay(1000);
222     SIM900.println("AT+CMGS=\"099[REDACTED]\"); //Numero al que vamos a enviar el mensaje
223     delay(1000);
224     SIM900.println("Valores de calidad del agua no aptos para consumoHumano."); // Texto del SMS
225     delay(100);
226     SIM900.println((char)26);           //Comando de finalización ^Z
227     delay(100);

```

```
228 SIM900.println();
229 delay(5000); // Esperamos un tiempo para que envíe el SMS
230 //Serial.println("SMS enviado");
231 temprio=0;
232 }
233
234 } //Cierre de lectura de char t
235
236 //LEER VALORES DEL SENSOR DE TURBIDEZ
237 if(c=='n')
238 {
239     for(int m=0;m<10;m++)
240     {
241         turbRecogida[m]=analogRead(pinTurb); //Leer valor análogo de turbidez y almacenar en posición m del vector
242         delay(10); //Retardo de 10ms
243     }
244     for(int m=0;m<9;m++)
245     {
246         for(int n=m+1;n<10;n++)
247         {
248             if(turbRecogida[m]>turbRecogida[n]) //si turbidez recogida en posición m del vector es mayor a turbidez recogida en posición n
249             {
250                 turb=turbRecogida[m]; //Almacenar el valor de turbidez en m en la variable tipo entero llamada turb
251                 turbRecogida[m]=turbRecogida[n]; //Igualar turbidez recogida en m al turbidez recogida en n
252                 turbRecogida[n]=turb; //Al valor de turbidez en n igualar a la variable tipo entero llamada turb
253             }
254         }
255     }
256     avgValueTurb=0; //Inicializar variable
```

```

257 for(int m=2;m<8;m++) //Tomar valores de turbrecogida mientras se cumple la condición
258 avgValueTurb+=turbRecogida[m]; //Almacenar valores de turbRecogida en la variable avgValueTurb
259 float turbVolt=((float)avgValueTurb*5.0)/1023 /6)+0.78; //Ecuación para transformar valores análogos recogidos a valores de voltaje
260 if ( turbVolt < 2.5) // Condición para decir que valor de turbiedad corresponde cuando voltaje menor a 2.5
261 {
262     turbValor = 3000;
263 }
264 if ( turbVolt > 4.3) // Condición para decir que valor de turbiedad corresponde cuando voltaje mayor a 4.3
265 {
266     turbValor = 0;
267 }
268 else
269 {
270     float turbValor = -1120.4 * square(turbVolt) + (5742.3 * turbVolt) - 4352.9; //Ecuación para transformar de voltaje a valores de turbidez
271 }
272 //Serial.print("Turbiedad: "); //Imprimir etiqueta turbidez
273 Serial.println(turbValor); //Imprimir el valor de turb
274 //Serial.println(" NTU ");
275 delay(1000); //Retardo de 1000ms
276
277 if(turbValor>5 ) //Condición para definir valores de turbiedad fuera de rango
278 {
279     turbrio ++; //Aumentar en uno la variable turbrio
280 }
281 if(turbrio==10)
282 {
283     //Serial.println("Enviando SMS...");
284     SIM900.print("AT+CMGF=1\r"); //Configura el modo texto para enviar o recibir mensajes
285     delav(1000);

```

```

286     SIM900.println("AT+CMGS=\"099[REDACTED]\"); //Numero al que se va a enviar el mensaje
287     delay(1000);
288     SIM900.println("Valores de calidad del agua no aptos para consumoHumano."); // Texto del SMS
289     delay(100);
290     SIM900.println((char)26); //Comando de finalización ^Z
291     delay(100);
292     SIM900.println();
293     delay(5000); // Esperamos un tiempo para que envíe el SMS
294     //Serial.println("SMS enviado");
295     turbrio=0;
296     }
297 } //Cierre de lectura de char n
298
299 //LEER VALORES DEL SENSOR DE ORP
300
301
302 if(c=='o')
303 {
304
305     static unsigned long orpTimer=millis(); //Intervalo de medición análogo
306     static unsigned long printTime=millis();
307     if(millis() >= orpTimer)
308     {
309         orpTimer=millis()+20;
310         orpArray[orpArrayIndex++]=analogRead(pinOrp); //Leer un valor análogo cada 20 segundos
311         if (orpArrayIndex==ArrayLenth)
312         {
313             orpArrayIndex=0;
314         }

```

```

315   orpValue=((30*(double)VOLTAGE*1000)-(75*averageArray(orpArray, ArrayLenth)*VOLTAGE*1000/1024))/75-OFFSET; //Convertir de valor análogo a valores de ORP
316   }
317   if(millis() >= printTime)           //Cada 800 milisegundos, imprime un número, convertir el estado del led indicador
318   {
319   printTime=millis()+800;
320   //Serial.print("ORP: ");
321   Serial.println((int)orpValue); //Imprimir valor de ORP
322   //Serial.println(" mV ");
323   delay(100);
324   }
325
326   delay(100);
327
328   delay(1000); //Retardo de 1000ms
329
330   if(orpValue>650 )                   //Si ORP sobrepasa los niveles aceptables
331   {
332     orprio ++;                         //Aumentar variables orprio en uno
333   }
334   if(orprio==10)
335   {
336     //Serial.println("Enviando SMS...");
337     SIM900.print("AT+CMGF=1\r");       //Configura el modo texto para enviar o recibir mensajes
338     delay(1000);
339     SIM900.println("AT+CMGS=\"099[REDACTED]\"); //Numero al que vamos a enviar el mensaje
340     delay(1000);
341     SIM900.println("Valores de calidad del agua no aptos para consumo humano."); // Texto del SMS
342     delay(100);
343     SIM900.println((char)26);         //Comando de finalización ^Z

```

```

330 if(orpValue>650 ) //Si ORP sobrepasa los niveles aceptables
331 {
332     orprio ++; //Aumentar variables orprio en uno
333 }
334 if(orprio==10)
335 {
336     //Serial.println("Enviando SMS...");
337     SIM900.print("AT+CMGF=1\r"); //Configura el modo texto para enviar o recibir mensajes
338     delay(1000);
339     SIM900.println("AT+CMGS=\"099[REDACTED]\"); //Numero al que vamos a enviar el mensaje
340     delay(1000);
341     SIM900.println("Valores de calidad del agua no aptos para consumoHumano."); // Texto del SMS
342     delay(100);
343     SIM900.println((char)26); //Comando de finalización ^Z
344     delay(100);
345     SIM900.println();
346     delay(5000); // Esperamos un tiempo para que envíe el SMS
347     //Serial.println("SMS enviado");
348     orprio=0;
349 }
350 } //Cierre de lectura de char o
351 } //Cierre de disponibilidad de serial
352 } //Cierre de void loop

```

**Anexo C. Programación de script de Python para recibir los datos mediante serial desde Arduino.**

---

```
import serial
import time
import MySQLdb

arduino=serial.Serial('/dev/ttyACM0', baudrate=9600)

db=MySQLdb.connect(host="localhost", user="root", passwd="123",
db="CALIDAD")
cur=db.cursor()
#cur.execute("CREATE TABLE DatosCalidadAgua (Fecha datetime, pH FLOAT
(4.2), Temperatura FLOAT(5.2), Turbidez FLOAT(6.2), ORP FLOAT(4.2))")
cont=0
while True:
    if cont==0:
        time.sleep(1)
        arduino.write('p')
        num1=arduino.readline()
        num1=(float(num1))
        print(num1)
        cont=1
    if cont==1:
        time.sleep(1)
        arduino.write('t')
```

---

```
        arduino.write('t')
        temp=arduino.readline()
        temp=(float(temp))
#        print(temp)
        cont=2
    if cont==2:
        time.sleep(1)
        arduino.write('n')
        turb=arduino.readline()
        turb=(float(turb))
#        print(turb)
        cont=3
    if cont==3:
        time.sleep(1)
        arduino.write('o')
        orp=arduino.readline()
        orp=(float(orp))
#        print (type(orp))
        cur.execute("INSERT INTO DatosCalidadAgua
(Fecha,pH, Temperatura, Turbidez, ORP)VALUES(now(), "+str(num1)+" , "+str
(temp)+" , "+str(turb)+" , "+str(orp)+" )")
        db.commit()
        cont=0
```

## Anexo D. Programación para la calibración del sensor de ORP en el IDE de Arduino

```

Calibracion_ORP $
1  /* Fuente: https://wiki.dfrobot.com/Analog\_ORP\_Meter\_SKU\_SEN0165
2  # This sample codes is for testing the ORP meter V1.0.
3  # Editor : YouYou
4  # Date   : 2013.11.26
5  # Product: ORP meter
6  # SKU    : SEN0165
7  */
8  #define VOLTAGE 5.00    //system voltage
9  #define OFFSET 23      //zero drift voltage
10 #define LED 13         //operating instructions
11
12 double orpValue;
13
14 #define ArrayLenth 40   //times of collection
15 #define orpPin 1       //orp meter output,connect to Arduino controller ADC pin
16
17 int orpArray[ArrayLenth];
18 int orpArrayIndex=0;
19
20 double avergearray(int* arr, int number){
21     int i;
22     int max,min;
23     double avg;
24     long amount=0;
25     if(number<=0){
26         printf("Error number for the array to avraging!\n");
27         return 0;
28     }
29     if(number<5){ //less than 5, calculated directly statistics

```

```
30     for(i=0;i<number;i++){
31         amount+=arr[i];
32     }
33     avg = amount/number;
34     return avg;
35 }else{
36     if(arr[0]<arr[1]){
37         min = arr[0];max=arr[1];
38     }
39     else{
40         min=arr[1];max=arr[0];
41     }
42     for(i=2;i<number;i++){
43         if(arr[i]<min){
44             amount+=min;          //arr<min
45             min=arr[i];
46         }else {
47             if(arr[i]>max){
48                 amount+=max;     //arr>max
49                 max=arr[i];
50             }else{
51                 amount+=arr[i]; //min<=arr<=max
52             }
53         }//if
54     }//for
55     avg = (double) amount/(number-2);
56 }//if
57 return avg;
58 }
```

```
59 void setup(void) {
60   Serial.begin(9600);
61   pinMode(LED, OUTPUT);
62 }
63
64 void loop(void) {
65   static unsigned long orpTimer=millis(); //analog sampling interval
66   static unsigned long printTime=millis();
67   if(millis() >= orpTimer)
68   {
69     orpTimer=millis()+20;
70     orpArray[orpArrayIndex++]=analogRead(orpPin); //read an analog value every 20ms
71     if (orpArrayIndex==ArrayLenth) {
72       orpArrayIndex=0;
73     }
74     orpValue=((30*(double)VOLTAGE*1000)-(75*averagearray(orpArray, ArrayLenth)*VOLTAGE*1000/1024))/75-OFFSET;
75
76     //convert the analog value to orp according the circuit
77   }
78   if(millis() >= printTime) //Every 800 milliseconds, print a numerical, convert the state of the LED indicator
79   {
80     printTime=millis()+800;
81     Serial.print("ORP: ");
82     Serial.print((int)orpValue);
83     Serial.println("mV");
84     digitalWrite(LED,1-digitalRead(LED));
85   }
86 }
```

## Anexo E. Base de datos recolectados en el desarrollo del proyecto

The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a database named 'CalidadAgua'. The selected table is 'RíoChota'. The interface includes navigation buttons like 'Examinar', 'Estructura', 'SQL', 'Buscar', and 'Insertar'. The table data is as follows:

Fecha	pH	Temperatura (°C)	Turbiedad (NTU)	ORP (mV)
2019-02-23 11:32:41	7.87	26.04	0	464
2019-02-23 11:32:46	7.85	25.96	0	465
2019-02-23 11:32:50	7.84	25.55	0	465
2019-02-23 11:32:50	7.87	25.39	0	466
2019-02-23 11:33:00	7.87	25.72	0	466
2019-02-23 11:33:11	7.77	25.63	0	467
2019-02-23 11:33:16	7.81	25.39	0	469
2019-02-23 11:33:21	7.81	25.39	0	469
2019-02-23 11:33:25	7.84	26.12	0	469
2019-02-23 11:33:30	7.84	25.47	0	470
2019-02-23 11:33:35	7.86	25.88	0	470
2019-02-23 11:33:39	7.88	25.39	0	470
2019-02-23 11:33:44	7.8	25.47	0	471
2019-02-23 11:33:49	7.89	26.45	0	471
2019-02-23 11:33:53	7.88	26.04	0	471
2019-02-23 11:34:05	7.79	25.39	0	471
2019-02-23 11:34:10	7.8	25.39	0	471
2019-02-23 11:34:14	7.82	25.39	0	471
2019-02-23 11:34:19	7.84	26.94	0	471
2019-02-23 11:34:23	7.86	26.29	0	471
2019-02-23 11:34:28	7.84	26.37	0	472
2019-02-23 11:34:33	7.85	25.39	0	472
2019-02-23 11:34:37	7.88	25.63	0	473
2019-02-23 11:34:42	7.85	25.39	0	473
2019-02-23 11:34:48	7.89	25.37	0	473

phpMyAdmin

Reciente Favoritas

CalidadAgua Nueva

CalidadAgua

DatoCalidadAgua

DatosCalidadAgua

QoW

QoWat

RíoChota

information\_schema

Servidor: localhost:3306 » Base de datos: CalidadAgua » Tabla: RíoChota

Examinar Estructura SQL Buscar Insertar

Fecha	pH	Temperatura (°C)	Turbiedad (NTU)	ORP (mV)
2019-04-14 15:52:17	7.18	24.9	0	97
2019-04-14 15:52:22	7.36	25.39	0	100
2019-04-14 15:52:27	7.57	24.9	0	104
2019-04-14 15:52:31	7.59	24.9	0	109
2019-04-14 15:52:36	7.62	24.9	0	114
2019-04-14 15:52:41	7.65	24.9	0	120
2019-04-14 15:52:45	7.63	24.9	0	126
2019-04-14 15:52:50	7.7	24.9	0	132
2019-04-14 15:52:55	7.76	24.9	0	138
2019-04-14 15:52:59	7.71	25.47	0	145
2019-04-14 15:53:04	7.75	25.39	0	152
2019-04-14 15:53:09	7.72	24.9	0	159
2019-04-14 15:53:13	7.77	24.9	0	167
2019-04-14 15:53:18	7.79	25.39	0	174
2019-04-14 15:53:23	7.8	25.39	0	182
2019-04-14 15:53:37	7.84	24.98	0	190
2019-04-14 15:53:32	7.71	25.39	0	199
2019-04-14 15:53:36	7.75	25.63	0	207
2019-04-14 15:53:41	7.81	24.98	0	216
2019-04-14 15:53:46	7.81	25.39	0	224
2019-04-14 15:53:50	7.81	24.98	0	233
2019-04-14 15:54:02	7.74	24.9	0	242
2019-04-14 15:54:07	7.79	25.39	0	251
2019-04-14 15:54:12	7.81	25.39	0	259
2019-04-14 15:54:17	7.81	26.3	0	268

phpMyAdmin

Reciente Favoritas

CalidadAgua Nueva

CalidadAgua

DatoCalidadAgua

DatosCalidadAgua

QoW

QoWat

RíoChota

information\_schema

Servidor: localhost:3306 » Base de datos: CalidadAgua » Tabla: RíoChota

Examinar Estructura SQL Buscar Insertar

Fecha	pH	Temperatura (°C)	Turbiedad (NTU)	ORP (mV)
2019-06-20 06:00:22	7.01	18.35	0	222
2019-06-20 06:05:22	7.02	18.24	0	221
2019-06-20 06:10:22	7.01	18.43	0	220
2019-06-20 06:15:22	7.02	18.5	0	223
2019-06-20 06:20:22	7.02	18.48	0	221
2019-06-20 06:25:22	7.01	18.44	0	222
2019-06-20 06:30:22	7.03	18.41	0	223
2019-06-20 06:35:22	7.02	18.35	0	220
2019-06-20 06:40:22	7.02	18.23	0	221
2019-06-20 06:45:22	7.02	18.27	0	224
2019-06-20 06:50:22	7.01	18.35	0	223
2019-06-20 06:55:22	7.03	18.37	0	221
2019-06-20 07:00:22	7.02	18.26	0	220
2019-06-20 07:05:22	7.01	18.35	0	219
2019-06-20 07:10:22	7.02	18.28	0	223
2019-06-20 07:15:22	7.01	18.44	0	220
2019-06-20 07:20:22	7.02	19.48	0	221
2019-06-20 07:25:22	7.03	19.37	0	222
2019-06-20 07:30:22	7.02	19.25	0	223
2019-06-20 07:35:22	7.01	18.68	0	224
2019-06-20 07:40:22	7.02	18.75	0	225
2019-06-20 07:45:22	7.02	18.84	0	223
2019-06-20 07:50:22	7.03	18.86	0	222
2019-06-20 07:55:22	7.02	18.92	0	221
2019-06-20 08:00:22	7.01	19.06	0	223

phpMyAdmin

Reciente Favoritas

CalidadAgua Nueva

CalidadAgua

DatoCalidadAgua

DatosCalidadAgua

QoW

QoWat

RíoChota

information\_schema

Servidor: localhost:3306 » Base de datos: CalidadAgua » Tabla: RíoChota

Examinar Estructura SQL Buscar Insertar

Fecha	pH	Temperatura (°C)	Turbiedad (NTU)	ORP (mV)
2019-06-20 13:10:22	7.02	24	0	242
2019-06-20 13:15:22	7.03	24.29	0	244
2019-06-20 13:20:22	7.01	24.33	0	245
2019-06-20 13:25:22	7.01	24.38	0	243
2019-06-20 13:30:22	6.79	24.3	0	242
2019-06-20 13:35:22	6.75	24.26	0	241
2019-06-20 13:40:22	6.79	24.29	0	243
2019-06-20 13:45:22	6.79	24.26	0	242
2019-06-20 13:50:22	6.77	24.32	0	241
2019-06-20 13:55:22	6.78	24.31	0	243
2019-06-20 14:00:22	6.8	24.35	0	245
2019-06-20 14:05:22	6.75	24.37	0	246
2019-06-20 14:10:22	6.74	24.38	0	248
2019-06-20 14:15:22	6.66	24.39	0	250
2019-06-20 14:20:22	6.69	24.38	0	252
2019-06-20 14:25:22	6.68	24.36	0	251
2019-06-20 14:30:22	6.65	24.37	0	249
2019-06-20 14:35:22	6.6	24.35	0	248
2019-06-20 14:40:22	6.62	24.33	0	243
2019-06-20 14:45:22	6.64	24.34	0	242
2019-06-20 14:50:22	6.65	24.36	0	241
2019-06-20 14:55:22	6.63	24.37	0	246
2019-06-20 15:00:22	6.67	24.39	0	247
2019-06-20 15:05:22	6.65	24.33	0	248
2019-06-20 15:10:22	6.63	24.32	0	249

phpMyAdmin

Reciente Favoritas

Servidor: localhost:3306 » Base de datos: CalidadAgua » Tabla: RíoChota

Examinar Estructura SQL Buscar Insertar

+ Opciones

Fecha	pH	Temperatura (°C)	Turbiedad (NTU)	ORP (mV)
2019-06-20 16:45:22	7.02	20.35	0	250
2019-06-20 16:50:22	7.02	20.41	0	244
2019-06-20 16:55:22	7.02	20.42	0	223
2019-06-20 17:00:22	7.02	20.34	0	242
2019-06-20 17:05:22	7.02	20.31	0	244
2019-06-20 17:10:22	7.02	20.32	0	231
2019-06-20 17:15:22	7.01	20.32	0	234
2019-06-20 17:20:22	7.02	20.31	0	234
2019-06-20 17:25:22	7.02	20.42	0	223
2019-06-20 17:30:22	7.01	20.41	0	221
2019-06-20 17:35:22	7.02	20.35	0	242
2019-06-20 17:40:22	7.01	20.36	0	241
2019-06-20 17:45:22	7.02	20.37	0	239
2019-06-20 17:50:22	7.02	20.4	0	238
2019-06-20 17:55:22	7.02	20.42	0	237
2019-06-20 18:00:22	7.02	20.41	0	234
2019-06-20 18:05:22	7.02	20.39	0	234
2019-06-20 18:10:22	7.01	20.4	0	233
2019-06-20 18:15:22	7.02	20.41	0	244
2019-06-20 18:20:22	7.02	20.43	0	232
2019-06-20 18:25:22	7.02	20.43	0	241
2019-06-20 18:30:22	7.01	20.3	0	245
2019-06-20 18:35:22	7.01	20.32	0	230
2019-06-20 18:40:22	7.01	20.32	0	231

CalidadAgua Nueva  
 CalidadAgua  
 DatoCalidadAgua  
 DatosCalidadAgua  
 QoW  
 QoWat  
 RíoChota  
 information\_schema

phpMyAdmin

Reciente Favoritas

CalidadAgua Nueva CalidadAgua DatoCalidadAgua DatosCalidadAgua QoW QoWat RíoChota information\_schema

Servidor: localhost:3306 » Base de datos: CalidadAgua » Tabla: RíoChota

Examinar Estructura SQL Buscar Insertar

Fecha	pH	Temperatura (°C)	Turbiedad (NTU)	ORP (mV)
2019-06-25 06:05:45	6.54	16.33	1643	251
2019-06-25 06:10:45	6.59	16.32	1645	253
2019-06-25 06:15:45	6.55	16.45	1648	257
2019-06-25 06:20:45	6.53	16.48	1647	258
2019-06-25 06:25:45	6.51	17.01	1654	269
2019-06-25 06:30:45	6.53	17.02	1665	278
2019-06-25 06:35:45	6.52	16.59	1645	277
2019-06-25 06:40:45	6.54	16.35	1648	275
2019-06-25 06:45:45	6.53	16.37	1672	276
2019-06-25 06:50:45	6.52	16.36	1675	278
2019-06-25 06:55:45	6.54	16.38	1673	270
2019-06-25 07:00:45	6.52	16.35	1674	274
2019-06-25 07:05:45	6.51	16.36	1675	275
2019-06-25 07:10:45	6.54	16.35	1672	272
2019-06-25 07:15:45	6.53	16.38	1671	268
2019-06-25 07:20:45	6.52	16.36	1675	269
2019-06-25 07:25:45	6.51	16.37	1674	264
2019-06-25 07:30:45	6.5	16.38	1672	262
2019-06-25 07:35:45	6.54	16.39	1671	264
2019-06-25 07:40:45	6.52	16.4	1674	263
2019-06-25 07:45:45	6.57	16.42	1675	261
2019-06-25 07:50:45	6.58	16.43	1672	260
2019-06-25 07:55:45	6.59	16.45	1671	258
2019-06-25 08:00:45	6.6	16.41	1674	256
2019-06-25 08:05:45	6.58	16.46	1675	251

phpMyAdmin

Reciente Favoritas

CalidadAgua Nueva

CalidadAgua

DatoCalidadAgua

DatosCalidadAgua

QoW

QoWat

RíoChota

information\_schema

Servidor: localhost:3306 » Base de datos: CalidadAgua » Tabla: RíoChota

Examinar Estructura SQL Buscar Insertar

Fecha	pH	Temperatura (°C)	Turbiedad (NTU)	ORP (mV)
2019-06-25 13:07:45	6.77	19.35	1672	256
2019-06-25 13:12:45	6.73	19.34	1672	258
2019-06-25 13:17:45	6.76	19.32	1675	252
2019-06-25 13:22:45	6.75	19.38	1674	251
2019-06-25 13:27:45	6.78	19.33	1678	256
2019-06-25 13:32:45	6.77	19.35	1679	259
2019-06-25 13:37:45	6.75	19.38	1674	273
2019-06-25 13:42:45	6.76	19.4	1673	274
2019-06-25 13:47:45	6.79	19.46	1675	278
2019-06-25 13:52:45	6.8	19.43	1674	279
2019-06-25 13:57:45	6.77	19.42	1678	288
2019-06-25 14:02:45	6.76	19.45	1679	286
2019-06-25 14:07:45	6.73	19.41	1680	265
2019-06-25 14:12:45	6.72	19.38	1672	276
2019-06-25 14:17:45	6.75	19.37	1674	277
2019-06-25 14:22:45	6.73	19.34	1673	274
2019-06-25 14:27:45	6.78	19.31	1674	272
2019-06-25 14:32:45	6.79	19.32	1671	271
2019-06-25 14:37:45	6.72	19.33	1678	275
2019-06-25 14:42:45	6.75	19.34	1679	278
2019-06-25 14:47:45	6.73	19.35	1674	279
2019-06-25 14:52:45	6.72	19.38	1677	276
2019-06-25 14:57:45	6.75	19.32	1675	278
2019-06-25 15:02:45	6.72	19.31	1672	279
2019-06-25 15:07:45	6.75	19.28	1676	276

phpMyAdmin

Reciente Favoritas

CalidadAgua

- Nueva
- CalidadAgua
- DatoCalidadAgua
- DatosCalidadAgua
- QoW
- QoWat
- RíoChota

information\_schema

Servidor: localhost:3306 » Base de datos: CalidadAgua » Tabla: RíoChota

Examinar Estructura SQL Buscar Insertar

Fecha	pH	Temperatura (°C)	Turbiedad (NTU)	ORP (mV)
2019-06-25 16:11:32	6.69	18.65	2789	265
2019-06-25 16:16:32	6.78	18.62	2785	268
2019-06-25 16:21:32	6.77	18.67	2768	267
2019-06-25 16:26:32	6.65	18.69	2765	264
2019-06-25 16:31:32	6.76	18.7	2765	263
2019-06-25 16:36:32	6.76	18.68	2769	262
2019-06-25 16:41:32	6.75	18.67	2765	261
2019-06-25 16:46:32	6.78	18.66	2768	268
2019-06-25 16:51:32	6.69	18.69	2764	267
2019-06-25 16:56:32	6.65	18.7	2765	265
2019-06-25 17:01:32	6.68	18.69	2764	263
2019-06-25 17:06:32	6.63	18.72	2763	265
2019-06-25 17:11:32	6.64	18.71	2762	264
2019-06-25 17:16:32	6.65	18.7	2764	266
2019-06-25 17:21:32	6.67	18.68	2762	265
2019-06-25 17:26:32	6.67	18.67	2766	264
2019-06-25 17:31:32	6.68	18.65	2777	264
2019-06-25 17:36:32	6.69	18.66	2778	267
2019-06-25 17:41:32	6.65	18.67	2779	268
2019-06-25 17:46:32	6.69	18.67	2779	266
2019-06-25 17:51:32	6.68	18.66	2765	265
2019-06-25 17:56:32	6.59	18.65	2768	266
2019-06-25 18:01:32	6.78	18.64	2765	265
2019-06-25 18:06:32	6.79	18.63	2768	267
2019-06-25 18:11:32	6.79	18.64	2764	267

phpMyAdmin

Reciente Favoritas

CalidadAgua Nueva

CalidadAgua

DatoCalidadAgua

DatosCalidadAgua

QoW

QoWat

RíoChota

information\_schema

Servidor: localhost:3306 » Base de datos: CalidadAgua » Tabla: RíoChota

Examinar Estructura SQL Buscar Insertar

Fecha	pH	Temperatura (°C)	Turbiedad (NTU)	ORP (mV)
2019-06-28 06:30:27	9.54	19.05	648.3	251
2019-06-28 06:35:27	9.59	19.03	645.65	253
2019-06-28 06:40:27	9.69	19.02	645.65	257
2019-06-28 06:45:27	9.68	18.97	661.5	258
2019-06-28 06:50:27	9.7	18.95	664.5	269
2019-06-28 06:55:27	9.74	18.94	666.78	278
2019-06-28 07:00:27	9.75	18.96	665.97	277
2019-06-28 07:05:27	9.78	18.93	665.92	275
2019-06-28 07:10:27	9.76	18.91	665.43	276
2019-06-28 07:15:27	9.77	18.88	665.32	278
2019-06-28 07:20:27	9.76	18.9	665.43	276
2019-06-28 07:25:27	9.76	18.92	665.42	275
2019-06-28 07:30:27	9.78	18.92	665.34	276
2019-06-28 07:35:27	9.79	18.94	665.42	277
2019-06-28 07:40:27	9.75	18.93	666.09	275
2019-06-28 07:45:27	9.75	18.92	666.02	274
2019-06-28 07:50:27	9.74	18.93	666.34	273
2019-06-28 07:55:27	9.73	18.94	665.41	272
2019-06-28 08:00:27	9.73	18.91	665.99	269
2019-06-28 08:05:27	9.75	18.88	665.37	268
2019-06-28 08:10:27	9.72	18.93	665.35	266
2019-06-28 08:15:27	9.71	18.96	665.12	265
2019-06-28 08:20:27	9.71	18.95	665.17	266
2019-06-28 08:25:27	9.72	18.94	665.29	267
2019-06-28 08:30:27	9.72	18.93	665.42	268

phpMyAdmin

Reciente Favoritas

CalidadAgua Nueva

CalidadAgua

DatoCalidadAgua

DatosCalidadAgua

QoW

QoWat

RíoChota

information\_schema

Servidor: localhost:3306 » Base de datos: CalidadAgua » Tabla: RíoChota

Examinar Estructura SQL Buscar Insertar

Fecha	pH	Temperatura (°C)	Turbiedad (NTU)	ORP (mV)
2019-06-28 13:23:52	9.79	19.55	664.93	256
2019-06-28 13:28:52	9.85	19.54	664.98	258
2019-06-28 13:33:52	9.88	19.58	664.77	252
2019-06-28 13:38:52	9.91	19.6	664.5	251
2019-06-28 13:43:52	9.94	19.63	664.07	256
2019-06-28 13:48:52	9.95	19.65	663.49	259
2019-06-28 13:53:52	10.01	19.68	663.52	273
2019-06-28 13:58:52	10.07	19.65	663.61	274
2019-06-28 14:03:52	10.04	19.66	665.59	276
2019-06-28 14:08:52	10.04	19.66	665.58	273
2019-06-28 14:13:52	10.03	19.66	665.54	272
2019-06-28 14:18:52	10.01	19.67	665.48	271
2019-06-28 14:23:52	9.99	19.68	665.49	275
2019-06-28 14:28:52	9.88	19.68	665.5	274
2019-06-28 14:33:52	9.85	19.68	665.49	273
2019-06-28 14:38:52	9.85	19.66	665.52	275
2019-06-28 14:43:52	9.81	19.67	665.54	275
2019-06-28 14:48:52	9.79	19.65	665.53	274
2019-06-28 14:53:52	9.84	19.66	665.52	276
2019-06-28 14:58:52	9.85	19.66	665.51	278
2019-06-28 15:03:52	9.88	19.67	665.5	279
2019-06-28 15:08:52	9.86	19.68	665.48	280
2019-06-28 15:13:52	9.84	19.66	665.47	280
2019-06-28 15:18:52	9.87	19.65	665.48	281
2019-06-28 15:23:52	9.88	19.64	665.49	283

phpMyAdmin

Reciente Favoritas

CalidadAgua Nueva

CalidadAgua

DatoCalidadAgua

DatosCalidadAgua

QoW

QoWat

RíoChota

information\_schema

Servidor: localhost:3306 » Base de datos: CalidadAgua » Tabla: RíoChota

Examinar Estructura SQL Buscar Insertar

Fecha	pH	Temperatura (°C)	Turbiedad (NTU)	ORP (mV)
2019-06-28 16:21:34	10.09	20.22	664.07	265
2019-06-28 16:26:34	10.08	20.21	661.77	268
2019-06-28 16:31:34	10.11	20.25	664.45	267
2019-06-28 16:36:34	10.09	20.23	663.39	264
2019-06-28 16:41:34	10.13	20.25	663.32	263
2019-06-28 16:46:34	10.15	20.26	663.28	262
2019-06-28 16:51:34	10.18	20.24	663.15	261
2019-06-28 16:56:34	10.19	20.24	664.12	261
2019-06-28 17:01:34	10.18	20.22	664.18	265
2019-06-28 17:06:34	10.17	20.25	664.77	268
2019-06-28 17:11:34	10.15	20.23	664.77	263
2019-06-28 17:16:34	10.16	20.22	664.19	265
2019-06-28 17:21:34	10.15	20.21	664.43	264
2019-06-28 17:26:34	10.14	20.21	663.28	262
2019-06-28 17:31:34	10.13	20.22	663.32	261
2019-06-28 17:36:34	10.11	20.23	663.28	268
2019-06-28 17:41:34	10.12	20.24	663.25	265
2019-06-28 17:46:34	10.12	20.22	663.15	267
2019-06-28 17:51:34	10.11	20.24	663.19	266
2019-06-28 17:56:34	10.13	20.25	663.3	264
2019-06-28 18:01:34	10.14	20.26	663.49	262
2019-06-28 18:06:34	10.15	20.24	664.19	263
2019-06-28 18:11:34	10.16	20.23	664.2	265
2019-06-28 18:16:34	10.17	20.22	664.77	267
2019-06-28 18:21:34	10.18	20.22	664.45	265

**Anexo F. Encuesta dirigida a los comuneros para determinar las pruebas de aceptación:**



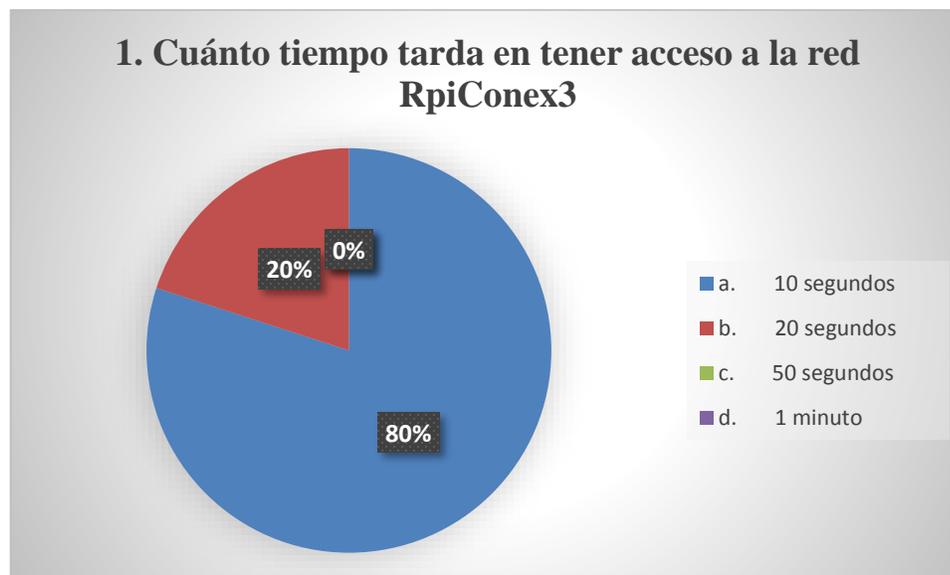
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

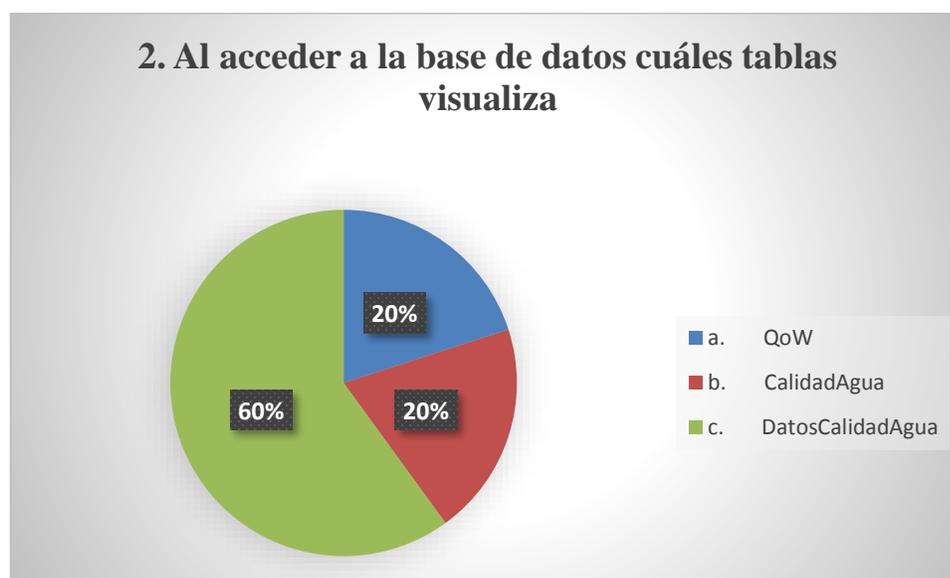
**ENCUESTA DIRIGIDA A MORADORES DE LA COMUNIDAD DEL CHOTA**

1. **Cuánto tiempo tarda en tener acceso a la red RpiConex3**
  - a. 10 segundos
  - b. 20 segundos
  - c. 50 segundos
  - d. 1 minuto
2. **Al acceder a la base de datos cuáles tablas visualiza**
  - a. QoW
  - b. CalidadAgua
  - c. DatosCalidadAgua
3. **La fecha y hora de acceso a los datos concuerda con la hora actual**
  - a. Sí
  - b. No
4. **Los datos que visualizó son de fácil comprensión**
  - a. Sí
  - b. No
5. **Recibió notificaciones de alerta de que los datos han sobrepasado los límites permitidos.**
  - a. Sí
  - b. No
6. **Hasta que distancia aproximada del Río chota logra visualizar los datos**
  - a. 10 metros
  - b. 20 metros
  - c. 30 metros
  - d. más de 30 metros

**TABULACIÓN DE RESULTADOS**

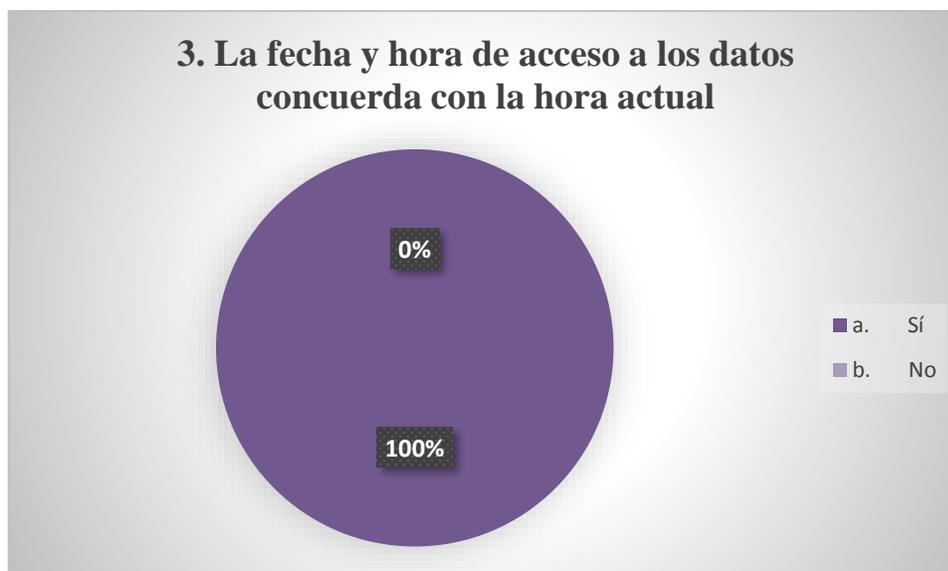
**Pregunta 1:**

Los resultados de esta pregunta arrojan que los usuarios lograron acceder a la red del Raspberry en menos de 30 segundos.

**Pregunta 2:**

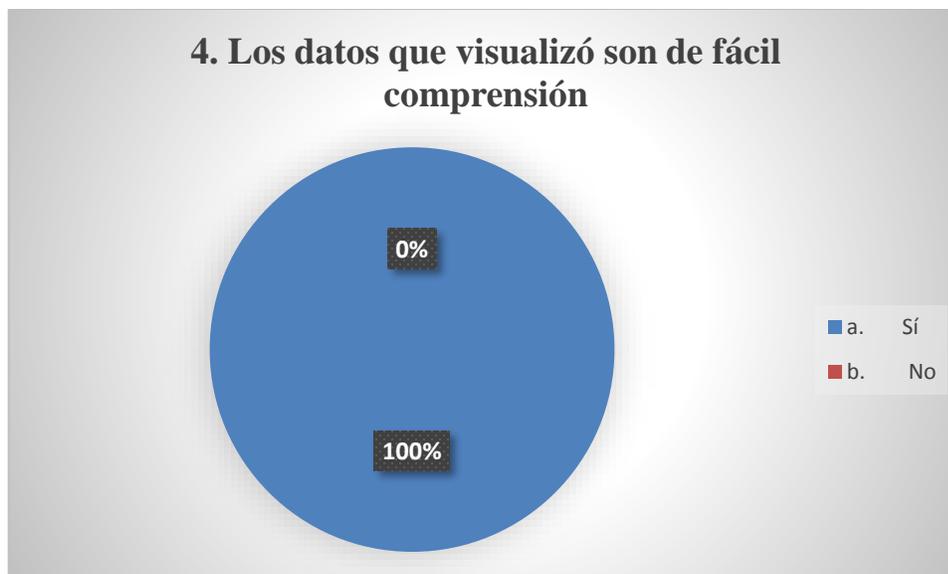
En esta pregunta se logra identificar que un 60% de los encuestados tuvo acceso a la tabla datosCalidadAgua donde se encuentra almacenada la información captada por los sensores.

**Pregunta 3:**



El 100% de los encuestados concuerda que la fecha mostrada en la base de datos es igual con la fecha y hora del día en que vieron los datos.

**Pregunta 4:**



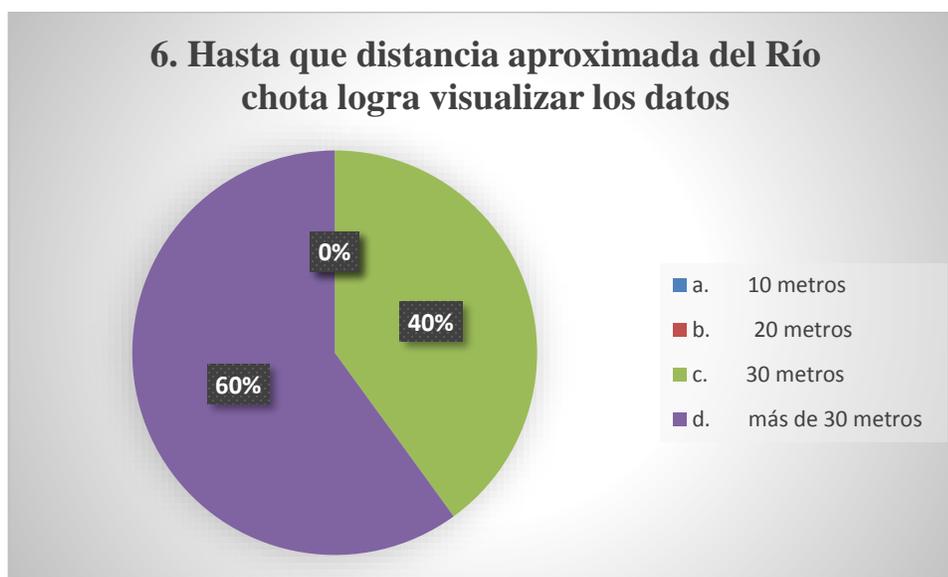
Los datos mostrados en la base de datos son comprendidos al 100% por todos los encuestados según se muestra en el diagrama.

**Pregunta 5:**



Esta pregunta es de importancia para analizar que únicamente el presidente de la comunidad reciba la información de alerta lo cual es verificado ya que únicamente el 20% que corresponde al usuario interesado pudo observar el mensaje de texto.

**Pregunta 6:**



El 60% de la población encuestada dice que logró visualizar los datos hasta más de 30 metros de distancia con el dispositivo y un 20% dice que a 30 metros.