

**PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DEL
AGUA SUBTERRÁNEA EN INSTALACIONES DE CAPTACIÓN DE UNA
LOCALIDAD RURAL DEL MUNICIPIO DE TIBANÁ – BOYACÁ**

ANGEE DANIELA ARÉVALO JUNCO

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ, COLOMBIA
2018**

**PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DEL
AGUA SUBTERRÁNEA EN INSTALACIONES DE CAPTACIÓN DE UNA
LOCALIDAD RURAL DEL MUNICIPIO DE TIBANÁ – BOYACÁ**

ANGEE DANIELA ARÉVALO JUNCO

Trabajo de Grado

DIRECTOR: JUAN CARLOS NAVARRO BELTRÁN, M.Sc.

CODIRECTOR: HENRY ARTURO BASTIDAS MORA, M.Sc.

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ, COLOMBIA**

2018

Nota de aceptación

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá, __ de _____ de 2018.

CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| 0 INTRODUCCIÓN..... | 11 |
| 1 PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO | 13 |
| 1.1 JUSTIFICACIÓN..... | 15 |
| 1.2 OBJETIVOS..... | 16 |
| 1.2.1 Objetivo General | 16 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos | 16 |
| 2 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS DEL AGUA | 17 |
| 2.1 COMPOSICIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA..... | 17 |
| 2.1.1 Tipos de captaciones | 17 |
| 2.1.2 Contaminación del Agua Subterránea..... | 18 |
| 2.1.3 Agua Subterránea en Colombia | 20 |
| 2.2 CALIDAD DEL AGUA | 21 |
| 2.2.1 Datos importantes sobre la calidad del agua | 23 |
| 2.2.2 Degradación de los ecosistemas acuáticos y la calidad del agua | 23 |
| 2.2.3 Nuevos contaminantes..... | 24 |
| 2.3 PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA | 24 |
| 2.3.1 Características Físicas | 28 |
| 2.3.2 Características Químicas | 31 |
| 2.3.3 Características Biológicas | 33 |
| 2.4 ANÁLISIS DEL AGUA..... | 33 |
| 2.4.1 Análisis Microbiológico del agua | 34 |
| 2.4.2 Análisis Básico | 36 |
| 2.4.3 Análisis Complementarios..... | 36 |
| 2.4.4 Análisis Físico y Químico del agua..... | 36 |
| 3 INTERNET DE LAS COSAS (IOT) | 41 |
| 3.1 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE IOT | 41 |
| 3.2 TIPOS DE DISPOSITIVOS Y SU RELACIÓN CON OBJETOS FÍSICOS | 43 |
| 3.3 SISTEMAS EMBEBIDOS | 44 |
| 3.3.1 Arduino Uno | 44 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.3.2 | Raspberry Pi 2..... | 46 |
| 3.3.3 | ESP32..... | 47 |
| 3.3.4 | Comparación entre Arduino Uno, Raspberry Pi 2 y ESP32 | 48 |
| 4 | DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS PARA MONITOREAR LA CALIDAD DEL AGUA A TRAVÉS DE UN DISPOSITIVO IOT | 50 |
| 4.1 | COLOMBIA..... | 50 |
| 4.2 | ESPAÑA | 51 |
| 4.3 | ÁFRICA..... | 51 |
| 4.4 | CHINA..... | 52 |
| 4.5 | DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS A MEDIR | 53 |
| 5 | DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO | 54 |
| 5.1 | DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE MONITOREO | 54 |
| 5.2 | SISTEMA DE MONITOREO | 55 |
| 5.2.1 | Subsistema de Captura..... | 56 |
| 5.2.2 | Subsistema Cloud | 57 |
| 5.2.3 | Subsistema de Visualización..... | 59 |
| 5.3 | INTERACCIONES DEL SISTEMA CON EL USUARIO | 60 |
| 5.4 | FLUJO DEL SISTEMA CON NODE-RED..... | 62 |
| 6 | ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS A USAR EN EL SISTEMA DE MONITOREO..... | 64 |
| 6.1 | PROS Y CONTRAS DE UN SISTEMA DE MONITOREO FIJO Y UNO MÓVIL..... | 64 |
| 6.2 | HARDWARE UTILIZADO EN EL SISTEMA DE MONITOREO | 65 |
| 6.2.1 | ESP32 Arduino..... | 65 |
| 6.2.2 | Sensor de Temperatura DS18B20 | 67 |
| 6.2.3 | Sensor DFROBOT PH | 68 |
| 6.2.4 | Sensor Infrarrojo CNY70..... | 69 |
| 6.2.5 | GPS GY-GPS6MV2 | 70 |
| 6.2.6 | Sensor de oxígeno disuelto SEN0237-A..... | 71 |
| 6.2.7 | Sensor de conductividad DFR0300..... | 72 |
| 7 | IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA DE MONITOREO | 74 |
| 7.1 | CIRCUITO DEL SISTEMA DE MONITOREO..... | 75 |
| 7.2 | COBERTURA DE RED..... | 76 |
| 7.3 | PRUEBAS..... | 77 |

| | | |
|-------|--|----|
| 7.3.1 | Prueba en finca “Chiguata” del municipio de Tibaná Boyacá..... | 77 |
| 7.3.2 | Prueba en pozo central del pueblo de Tibaná Boyacá..... | 79 |
| 8 | CONCLUSIONES..... | 83 |
| 9 | REFERENCIAS..... | 84 |

LISTA IMÁGENES

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Tipos de pozos de agua | 18 |
| Figura 2. Captaciones de agua superficiales y subterráneas registradas. | 22 |
| Figura 3. Descripción técnica de IoT | 42 |
| Figura 4. Tipos de dispositivos y su relación con objetos físicos..... | 43 |
| Figura 5. Arduino Uno | 45 |
| Figura 6. Raspberry Pi 2..... | 47 |
| Figura 7. Placa ESP32 | 48 |
| Figura 8. Escenario del sistema de monitoreo | 54 |
| Figura 9. Sistema de Monitorio..... | 55 |
| Figura 10. Arquitectura subsistema de sensores | 56 |
| Figura 11. Arquitectura del subsistema Cloud..... | 58 |
| Figura 12. Ejemplo configuración del sistema Cloud..... | 59 |
| Figura 13. Arquitectura del sistema de visualización..... | 60 |
| Figura 14. Casos de uso del sistema de captura | 61 |
| Figura 15. Diagrama de Flujo del Sistema de Monitoreo | 62 |
| Figura 16. Flujo del Sistema..... | 63 |
| Figura 17. Hardware requerido para el sistema de monitoreo..... | 65 |
| Figura 18. ESP32 | 66 |
| Figura 19. Configuración de los pines | 67 |
| Figura 20. DS18B20..... | 68 |
| Figura 21. Sensor DFRobot pH..... | 69 |
| Figura 22. Sensor Infrarrojo CNY70 | 70 |
| Figura 23. GPS GY-GPS6MV2 | 71 |
| Figura 24. Sensor SEN0237-A..... | 71 |
| Figura 25. Sensor DFR0300..... | 72 |
| Figura 26. Librerías usadas en el Sistema | 74 |
| Figura 27. Circuito | 75 |

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 28. | Cobertura 3G del Operador Claro en Tibaná Boyacá | 76 |
| Figura 29. | Cobertura 4G del Operador Claro en Tibaná Boyacá | 77 |
| Figura 30. | Pozo de la finca Chiguata | 78 |
| Figura 31. | Resultados de la medición en el pozo de la finca Chiguata | 78 |
| Figura 32. | Pozo central del pueblo de Tibaná | 80 |
| Figura 33. | Resultados de la medición en el pozo central del pueblo de Tibaná Boyacá | 80 |
| Figura 34. | Mensaje de alerta de mala calidad del agua. | 82 |

LISTA TABLAS

Pág.

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Parámetros de mayor relevancia y control de la calidad del agua según la resolución 2115 de 2007..... | 24 |
| Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos totales para medición de calidad del agua.. | 25 |
| Tabla 3. Patógenos importantes en los abastecimientos de consumo de agua. . | 34 |
| Tabla 4. Características Químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana. | 37 |
| Tabla 5. Características químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana. 37 | 37 |
| Tabla 6. Clasificación de los componentes químicos en función de su origen | 38 |
| Tabla 7. Puntaje de riesgo..... | 38 |
| Tabla 8. Clasificación del nivel de riesgo según el IRCA mensual y el IRCA por muestra. 40 | 40 |
| Tabla 9. Cuadro comparativo entre Arduino Uno, Raspberry Pi 2 y ESP32..... | 48 |
| Tabla 10. Características técnicas del ESP32. | 66 |
| Tabla 11. Características del sensor de temperatura DS18B20. | 68 |
| Tabla 12. Características del sensor DFRobot pH..... | 69 |
| Tabla 13. Características Sensor CNY70. | 70 |
| Tabla 14. Características del sensor Oxígeno Disuelto SEN0237-A..... | 72 |
| Tabla 15. Características técnicas del sensor DFR0300 | 73 |

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la investigación de los parámetros que determinan de la calidad del agua, los tipos de instalaciones de captación de aguas subterráneas, que es y el uso que se le da al Internet de las cosas, con el fin de diseñar un prototipo que permita realizar la medición de pH, turbidez y temperatura en pozos, aljibes o manantiales que se encuentren en la zona rural del municipio de Tibaná Boyacá y que comúnmente son usados por la comunidad campesina para su consumo, el de sus animales o el riego de sus cultivos, pero que actualmente no tienen ningún método de supervisión, control o alerta y esto puede ocasionar problemas de salud o grandes pérdidas de alimentos.

Asimismo, con la implementación de dicho sistema de monitoreo se genera una alerta en tiempo real por medio de un aplicativo web que le permite a los campesinos saber el estado del agua de sus pozos o cualquier instalación de captación.

ABSTRACT

In the present work was carried out the investigation of the parameters that determine the quality of the water, the types of installations of capture of underground waters, that is and the use that is given to the Internet of things, in order to design a prototype that allows the measurement of pH, turbidity and temperature in the wells, reservoirs or manuals that are in the rural area of Tibaná, and that the employees of the peasant community for their consumption, the your animals or the irrigation There is no method of supervision, control or warning. This can cause health problems or large food losses.

Likewise, with the implementation of said monitoring system, an alert is generated in real time for a web application that allows farmers to know the status of water from their wells in any collection facility.

0 INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años el agua ha sido el epicentro para lograr el desarrollo sostenible, así como también en el desarrollo socioeconómico, la producción de alimentos, energía, ecosistemas saludables y lo más importante la supervivencia de los seres humanos. [1] Es primordial tener acceso al agua ya sea para su uso doméstico, para beber, para fines recreativos o para la producción de alimentos, pero para lograr esto se debe mejorar el abastecimiento de agua, el saneamiento y la gestión de los recursos hídricos.

Aunque en el año 2010 la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció el derecho humano al abastecimiento del agua y al saneamiento¹, este derecho no se le ha podido otorgar a toda la población Colombiana, como la Guajira siendo hoy en día uno de los departamentos más afectados por la falta de acueducto y los pocos pozos de agua, manantiales, aljibes y demás abastecimientos de agua que se pueden encontrar en su territorio no se encuentran en las mejores condiciones pues no hay entidades comprometidas para mantenerlos con una calidad de agua aceptable. [2]

Además de la Guajira hay muchos otros lugares que pasan por este mismo problema como es el caso de Tibaná Boyacá. En las zonas rurales de este municipio se viene presentando una problemática alrededor de criaderos de cerdos que están causando problemas ambientales y esto está afectando a las fincas que se encuentran cercanas a estos establecimientos no solo por el mal olor que se puede presentar si no por la contaminación de las instalaciones de captación de aguas subterráneas para el consumo de personas, animales y para el riego de los cultivos.

De acuerdo a la OMS el saneamiento deficiente y la contaminación se encuentran directamente relacionadas con la transmisión de enfermedades como la hepatitis A, cólera, diarreas, fiebre tifoidea y poliomielitis, entre otras². Por esta razón es importante mantener los pozos o cualquier tipo de instalación de captación en constante limpieza y así poder mantener los parámetros como el pH y turbidez, entre otros parámetros, en los niveles aceptables para su consumo.

En el presente trabajo se realizó la investigación para llevar cabo un prototipo de bajo costo que permita determinar la calidad del agua en instalaciones de captación de aguas subterráneas como pozos, aljibes o manantiales de la zona rural de Tibaná Boyacá en donde el acceso al agua por medio del acueducto es limitado, pero día a día los campesinos necesitan de este recurso para su propio consumo o para el de sus animales y el riego de sus cultivos.

¹ Agua. Organización Mundial de la Salud. Disponible en: <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>.

² Agua. Organización Mundial de la Salud. Op, Cit.

En la primera parte del documento se encuentra el marco teórico en el cual se realiza la correspondiente investigación sobre lo que es el agua subterránea, los diferentes tipos de instalaciones de captación y su importancia. Posterior a esto se describen cada uno de los parámetros posibles de medir ya sea por medio de sensores o en laboratorio que permiten determinar la calidad del agua. La parte final del marco teórico explica lo que es el internet de las cosas, como funciona y los diferentes sistemas embebidos que podrían ser utilizados para el diseño del prototipo y así determinar cuál es el más adecuado para la implementación.

Teniendo en cuenta la investigación realizada en el marco teórico, en los posteriores capítulos se realizó la elección de los parámetros a medir de acuerdo a su importancia en la determinación de la calidad del agua y la disponibilidad y costo de estos. Enseguida se muestra el diseño del prototipo con la descripción de sus respectivos subsistemas y el circuito con cada uno de los componentes de hardware utilizados.

Después de realizado el ensamblaje y configuración del sistema de monitorio, en el capítulo de implementación se muestran las pruebas de campo realizadas en el municipio de Tibaná Boyacá y los resultados. Finalmente se encuentran las conclusiones que determinan si se llevó a cabo de forma satisfactoria el proyecto y lo que implicó y aportó a mi carrera como profesional realizar esta investigación y el prototipo de medición.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

El agua es un recurso natural esencial para el hombre y las fuentes de agua subterráneas son un recurso del subsuelo que ofrece la posibilidad de desarrollo de una gran cantidad de actividades para la comunidad, principalmente en zonas rurales donde la demanda de agua potable no es cubierta por un acueducto.

Aunque no sea visible a simple vista, el agua subterránea representa más del 97% del agua dulce disponible en el planeta teniendo en cuenta que el agua congelada en glaciares y capas de hielo no está disponible para su consumo³.

De acuerdo con el Instituto Colombiano de Geología y Minería, el agua subterránea es aquella que “se filtra a través de grietas y poros de las rocas y sedimentos que yacen debajo de la superficie de la tierra, acumulándose en las capas arenosas o rocas porosas del subsuelo. El agua se almacena y mueve en las formaciones geológicas que tienen poros o vacíos”⁴. Sus principales usos son para el consumo humano, el riego, la ganadería y el uso industrial.

Para extraer agua subterránea de los acuíferos por medios artificiales se requiere de la construcción de una estructura de almacenamiento, conocida como captación, que permite poner a disposición del usuario el agua contenida. Dichas captaciones se clasifican en pozos y aljibes. La extracción también se puede dar de manera natural a través de los Manantiales, en los cuales el agua emerge de las rocas.

A pesar de que “las aguas subterráneas de acuíferos profundos y confinados son habitualmente inocuas desde el punto de vista microbiológico y químicamente estables si no existe contaminación directa; los acuíferos poco profundos o no confinados pueden estar expuestos a contaminación por las descargas o filtraciones asociadas a las prácticas agropecuarias (por ejemplo, de agentes patógenos, nitratos y plaguicidas), las redes de saneamiento y alcantarillado locales (agentes patógenos y nitratos) y los residuos industriales”⁵. Adicionalmente, dado el difícil acceso a los acuíferos en el subsuelo, una vez contaminada la fuente de agua subterránea es extremadamente compleja su limpieza.

³ SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE. Recurso hídrico subterráneo. Disponible en: <http://ambientebogota.gov.co/aguas-subterraneas>. Consultado el 2017/10/24.

⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. Guía “Las Aguas Subterráneas un enfoque práctico”. 2011. Citado por: SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE. Recurso hídrico subterráneo. Disponible en: <http://ambientebogota.gov.co/aguas-subterraneas>. Consultado el 2017/10/24.

⁵ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice a la tercera edición. Vol. 1: Recomendaciones. Tercera edición. p 56.

Por tanto, debido a la posible contaminación de estas fuentes de agua y los serios riesgos que ello conlleva para la salud de quienes la consumen (animales y seres humanos) o quienes simplemente entran en contacto con ella por su uso en la agricultura además otros usos industriales y comerciales, “es importante conocer las características de la cuenca de captación o acuífero local, así como determinar y controlar las situaciones que pudieran dar lugar a la contaminación del agua, tanto si el agua se obtiene de fuentes superficiales como subterráneas”⁶,

En los hogares en donde el agua que se consume es obtenida a partir de pozos o agua lluvia es necesario tomar las medidas necesarias para garantizar que la captación y el almacenamiento se hacen en condiciones seguras, además de las acciones de tratamiento del agua que normalmente se realizan para garantizar su inocuidad como hervirla antes de su consumo.

Una de las medidas que permiten identificar si la calidad del agua captada es apta para el consumo humano, animal o agrícola es el análisis microbiológico y físico químico del agua para determinar la presencia o ausencia de bacterias, oxígeno, nitrógeno y elementos metálicos entre otros. Sin embargo, medir todos los parámetros para garantizar la potabilidad del agua para el consumo humano requiere de estudios especializados de laboratorio tales como aspectos microbiológicos, químicos y radiológicos, que no se pueden realizar in-situ, y que por tanto resultan complejos y costosos dado que requieren de equipos y personal especializado. Además, en lugares remotos o de difícil acceso se complica aún más la toma de las muestras para su análisis.

Sin embargo, existen parámetros que pueden ser tomados y analizados en campo y que pueden dar información valiosa para tener una idea más clara acerca de la calidad del agua. Entonces el problema a resolver está relacionado con la manera de tomar muestras en campo, de forma fácil, económica y automática por medio de sensores disponibles en el mercado diseñados para medir algunos parámetros del agua como temperatura, pH, etc. conectados a un dispositivo IoT que indique a los habitantes de la zona, de inmediato y tiempo real, la calidad del agua con respecto a los parámetros tomados y enviarlos a un servidor en la nube que recopilará la información para su posterior análisis por parte de las autoridades competentes.

De lo anterior surge la pregunta de investigación ¿De qué manera se puede efectuar de forma fácil y económica el monitoreo en campo de la calidad del agua subterránea, extraída natural o artificialmente, que permita medir los niveles de PH, Temperatura, Turbidez, Oxígeno disuelto y Conductividad, entre otros parámetros del análisis físico químico del agua, para determinar si es apta para el consumo humano, animal o agrícola?

⁶ Ibíd., p.56.

1.1 JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, el acceso al agua potable no solo es fundamental para la salud sino uno de los derechos humanos básicos. En el documento “Guías para la calidad del agua potable” esta organización afirma que “la experiencia ha demostrado asimismo que las medidas destinadas a mejorar el acceso al agua potable favorecen en particular a los pobres, tanto de zonas rurales como urbanas, y pueden ser un componente eficaz de las estrategias de mitigación de la pobreza”⁷.

De igual manera, ese mismo documento expresa que “Las enfermedades relacionadas con la contaminación del agua de consumo tienen una gran repercusión en la salud de las personas. Las medidas destinadas a mejorar la calidad del agua de consumo proporcionan beneficios significativos para la salud”⁸.

Una de estas acciones es la medición, monitoreo y control del estado de las fuentes hídricas para determinar la calidad del agua y garantizar su potabilidad para el consumo humano.

Precisamente en esta acción se centra el desarrollo del presente trabajo. Esta herramienta les permitirá conocer en tiempo real si dicha fuente es apta para el consumo humano, animal o agrícola con respecto a los parámetros del análisis físico químico susceptibles de ser medidos y monitoreados en campo a través de sensores conectados a un dispositivo IoT tales como niveles de PH, Temperatura, Turbidez, Oxígeno disuelto y Conductividad.

Con la información de dicho monitoreo se pueden tomar decisiones informadas para reducir de manera significativa los riesgos que implica el consumo de aguas contaminadas, así como potenciar las actividades productivas en el campo colombiano.

Un sistema de monitoreo de calidad del agua de bajo costo y fácil uso es un aporte significativo para las comunidades campesinas que habitan en zonas rurales donde aún no hay buen acueducto y dependen del agua subterránea para su supervivencia. De manera específica se plantea desarrollar algunas pruebas de funcionamiento del prototipo desarrollado en una localidad rural del municipio de Tibaná – Boyacá en donde el acceso a este recurso aún es limitado.

Adicionalmente, si se logra recoger dicha información, establecer su posición geográfica a través de GPS, enviarla y procesarla a través del uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones su impacto se puede multiplicar dado que permitiría conocer el estado de estas importantes fuentes

⁷ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice a la tercera edición. Vol. 1: Recomendaciones. Tercera edición. p 1.

⁸ *Ibíd.*, p. 7.

hídricas en una región para la toma de decisiones en lo que a la política pública y ambiental concierne.

1.2 OBJETIVOS

A continuación, se especifican los objetivos, general y específicos, aprobados para el presente trabajo de grado.

1.2.1 Objetivo General

Construir un prototipo de bajo costo que permita monitorear la calidad del agua subterránea en reservorios de captación de una localidad rural del municipio de Tibaná – Boyacá con respecto a los parámetros del análisis físico químico del agua susceptibles de ser medidos y monitoreados en campo a través de sensores conectados a un dispositivo IoT.

1.2.2 Objetivos Específicos

Estudiar los parámetros del análisis físico químico del agua subterránea desarrollado en campo con el fin de identificar y analizar aquellos susceptibles de ser medidos y monitoreados a través de sensores conectados a un dispositivo IoT.

Determinar y analizar los elementos que constituyen el sistema de monitoreo de calidad del agua subterránea en instalaciones de captación de zonas rurales con respecto a los parámetros identificados y la disponibilidad de los sensores.

Diseñar el sistema de monitoreo teniendo en cuenta el tipo y el costo de sensores disponibles comercialmente para medir los parámetros de calidad del agua subterránea, así como las plataformas y tecnologías apropiadas para el procesamiento y transmisión de información, a un servidor en la nube.

Implementar y probar el prototipo del sistema de monitoreo en condiciones reales de campo, incluyendo el envío de información al servidor y el reporte de la misma.

2 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS DEL AGUA

El recurso hídrico subterráneo es el que se filtra por medio de poros o grietas de las rocas o diferentes tipos de sedimentos que se encuentran debajo de la superficie de la tierra generando acumulación en las capas del subsuelo. Esta agua se mueve y se almacena en las formaciones geológicas que tienen vacíos o poros.⁹

El agua subterránea es un recurso del subsuelo que genera oportunidades de desarrollo a la sociedad, ya que le permite al ser humano tener una fuente de abastecimiento de agua adicional para su consumo o incluso para proyectos de minería, agroindustriales y de hidrocarburos. El agua es un recurso renovable e indispensable en la vida del ser humano, pero no es apreciado ni entendido correctamente. [3]

El agua subterránea está representada por más del 30% de las reservas de agua dulce del planeta, pero los glaciares y las capas de hielo no se encuentran disponibles para su uso, siendo así el agua subterránea representa alrededor de un 97% del agua dulce disponible en el planeta.¹⁰

En el país existen algunas zonas donde las aguas subterráneas son fuentes alternas a las fuentes tradicionales de abastecimiento de agua y son usadas para diferentes fines, así como en otras zonas estas son las únicas fuentes disponibles para cubrir sus necesidades.¹¹ [4]

2.1 COMPOSICIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La composición del agua subterránea depende de las características y tipos de roca (tipo de suelo), procesos químicos y microbiológicos del suelo y de la composición del agua filtrada. Enseguida se mencionarán los tipos de captación en los que se encuentra agua subterránea.

2.1.1 Tipos de captaciones

Se pueden encontrar tres tipos de captaciones que se clasifican de la siguiente manera:

- **Manantiales:** Es agua que nace de las rocas y se concentra en el área de descarga del agua subterránea, cuando esta llega a la superficie se

⁹ Las Aguas Subterráneas un enfoque práctico. Instituto Colombiano de Geología y Minería. 2011. Disponible en: <https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadadas/Documents/Aguas-subterranas-enfoque-practico.PDF>. Consultado: 10/07/2018

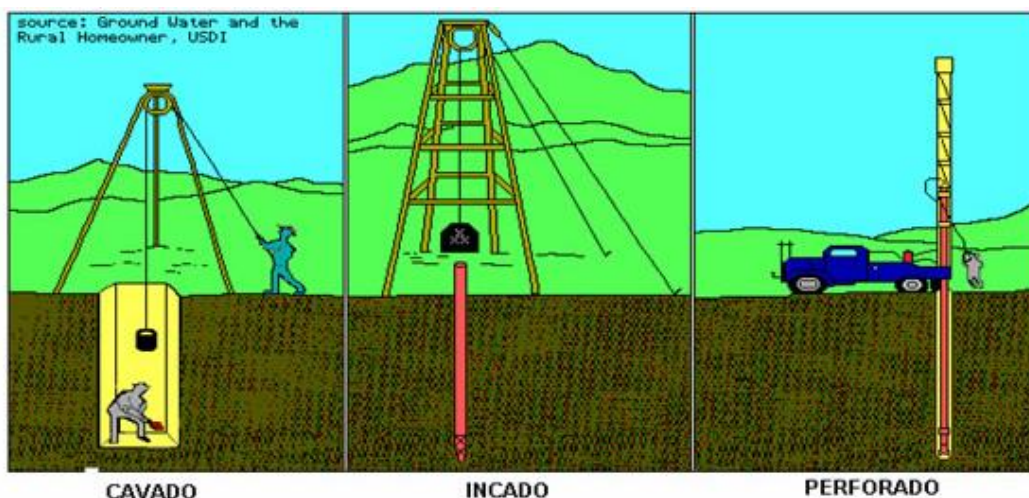
¹⁰ SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE, op. cit.

¹¹ Ministerio de Ambiente. Aguas Subterráneas. 2014. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/aguas-subterranas>. Consultado: 10/07/2018.

transforma en un afluente permanente o temporal. Normalmente se realizan perforaciones horizontales de baja pendiente de sección circular que interceptan el flujo de agua subterránea en el acuífero¹², esto permite que el agua salga a la superficie por medio de la gravedad.

- Aljibes: Los aljibes son cavidades que se hallan por medio de excavaciones, estas almacenan agua subterránea y tienen profundidades pequeñas entre los 5 a 10 metros, por lo contrario, sus diámetros son grandes y miden hasta un metro. Las paredes de estos son de ladrillo, sus tuberías de concreto o de cemento para así evitar que este se derrumbe. La extracción del agua que se encuentra en los aljibes se puede realizar por medio de sistemas de bombeo sencillos o por medio de bombas manuales.
 - Pozos: Los pozos son perforaciones verticales y que generalmente tienen forma cilíndrica, presentan un diámetro de entre 2 a 16 pulgadas, estos se encuentran cubiertos por una tubería metálica o con PVC. Existen diferentes formas de abrir los pozos y algunas de ellas son, clavando tubería y usando taladros de perforación, los sistemas de extracción de agua que se pueden usar en los pozos son compresores o electrobombas.
- [4]

Figura 1. Tipos de pozos de agua



Fuente: SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE. Recurso Hídrico Subterráneo. Obtenida de: <http://ambientebogota.gov.co/aguas-subterraneas>.

2.1.2 Contaminación del Agua Subterránea

Como se vio anteriormente las captaciones de agua subterránea son de alta importancia actualmente ya que se usan para diferentes fines como el consumo humano siendo el más importante, pero estas se están viendo afectadas por la contaminación que puede darse por diferentes orígenes, pero el más común es

¹² Las Aguas Subterráneas un enfoque práctico. Op.cit.

por aguas fecales pues es normal ver pozos sépticos que se encuentran cercanos a pozos con aguas limpias generando así la contaminación sobre estos.

Las aguas subterráneas pueden ser purificadas mediante procesos naturales, pero también es posible realizar la eliminación de bacterias peligrosas usando filtraciones mecánicas hechas por los sedimentos por los cuales se mueve el agua o por oxidaciones químicas e incluso otros microorganismos pueden hacer la eliminación de las bacterias.

Existen muchos casos en los cuales la purificación de las aguas subterráneas es más compleja, pues es necesario que estas captaciones de agua tengan la composición correcta para que se purifiquen naturalmente. Cuando los pozos están compuestos por gran cantidad de rocas fracturadas el agua contaminada va a recorrer mayores distancias sin ser purificada.¹³ Esta tarea de purificación de las aguas subterráneas también debe ser realizada por el ser humano, pues no solo las aguas fecales son las que causan la contaminación, también los elementos de aseo y cuidado personal que se usan a diario causan consecuencias, las industrias deben tomar medidas para deshacerse de los residuos tóxicos y contaminantes que generen de una manera que no vayan a afectar las aguas subterráneas. A continuación, se ven los tipos de riesgos que puede generar la contaminación de las aguas subterráneas.

1) Riesgos para la salud

La principal consecuencia que genera la contaminación de las aguas subterráneas es sobre la salud humana ya que personas y animales se encuentran en constante contacto con aguas contaminadas que les pueden ocasionar peligro, teniendo en cuenta que para la manufactura de muchos productos de consumo se usan aguas subterráneas. No solo el ser humano se ve afectado con la contaminación de estas aguas, si no que a futuro en casos industriales, agrícolas y comerciales también se van a ver las consecuencias. [4]

2) Riesgos Ambientales

La contaminación de las aguas subterráneas se puede dar por diferentes factores, como las actividades realizadas en la superficie por el ser humano, algunas de las más comunes son:

- El mantenimiento de los sistemas de extracción de los pozos no se encuentra en condiciones adecuadas.
- Sobre explotación de los acuíferos que genera riesgos en el funcionamiento del mismo.
- Urbanización, eliminación e impermeabilización en las zonas en las que se recargan los acuíferos.

¹³ Contaminación del agua subterránea. Ruta Geológica, Disponible en: https://www.rutageologica.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=393&Itemid=95&limitstart=15.

- Derrames accidentales de hidrocarburos o filtración de tanques de almacenamiento.
- Derrame de sustancias tóxicas, grasas, aceites, residuos, aguas residuales y químicos en la superficie.
- Contaminación biológica por fugas en la red alcantarillada, sobrealimentación, y fallo en el funcionamiento de los sistemas sépticos.

Realizar la limpieza del agua subterránea no es sencillo debido a el difícil acceso que se tiene a estas, así como el uso indebido del agua subterránea causa agotamiento de este recurso. [4]

2.1.3 Agua Subterránea en Colombia

En Colombia las aguas subterráneas adquieren día a día una mayor importancia ya que son fuentes alternas de abastecimiento en zonas en las que se tiene acceso limitado a las aguas superficiales, así como también por su importancia en el uso en obras civiles, proyectos mineros, carreteras, etc.¹⁴ Aunque las aguas subterráneas presentan un mayor grado de protección en cuanto a la contaminación y a las variaciones climáticas, cuando estas presentan deterioro en su calidad pueden llegar a ser más peligrosas que las aguas superficiales pues su detección es más compleja y tardía, es común darse cuenta que las aguas subterráneas tienen problemas en su calidad cuando estas ya han hecho daños o dejado algunas víctimas.¹⁵ [5]

Todos los años se trabaja en el desarrollo y modernización del país y el agua como recurso natural renovable indispensable debe ser manejado cuidadosamente, pero actualmente la sociedad colombiana tiene un conocimiento deficiente sobre el agua y por esta razón se da la polución y el malgasto del agua generando de alguna manera una pobreza relativa.¹⁶ Así como existen muchos lugares en los cuales no se tiene conocimiento alguno sobre cómo manejar y cuidar el agua existen muchos otros en los cuales este tema no es ignorado y el agua se utiliza racionalmente. El estado también tiene un papel importante en el estado de las aguas subterráneas en Colombia pues debido a la mala administración y la corrupción que se presenta no son aceptados los permisos ni

¹⁴ Diagnóstico de las Aguas Subterráneas. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2018. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1631:plantilla-gestion-integral-del-recurso-hidrico-37>.

¹⁵ *Ibíd.*, Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1631:plantilla-gestion-integral-del-recurso-hidrico-37>.

¹⁶ Gestión del Agua Subterránea en Colombia. SEMINARIO INTERNACIONAL AMBIENTAL DEL AGUA. UNIVERSIDAD DEL ROSARIO-EMBAJADA DE FRANCIA EN COLOMBIA.2005. Bogotá. P, 2.

peticiones para el estudio de este recurso, todas estas causas generan que Colombia no presente un buen nivel de sostenibilidad. [6]

Las captaciones de aguas subterráneas no superan en número a las superficiales, pero esto no les quita su importancia, en la Figura 2 se muestran las captaciones de aguas superficiales y subterráneas registradas actualmente en Colombia.

2.2 CALIDAD DEL AGUA

De acuerdo al decreto número 1575 de 2007 la calidad del agua se da por la comparación de las características químicas, físicas y microbiológicas que se pueden encontrar en el agua, así mismo con el contenido de las normas que regulan la materia.¹⁷ [7]

La sociedad del siglo XXI se encuentra viviendo uno de los desafíos más complejos que es el de la calidad del agua ya que esta al no estar en buenas condiciones genera amenazas sobre la salud humana, los ecosistemas no funcionarían de la mejor manera, se limitaría la producción de alimentos y el crecimiento económico se obstaculizaría. Los problemas sociales, económicos y medioambientales son los que afectan directamente la degradación de la calidad del agua. Los recursos hídricos y que se tienen hoy en día en el mundo cada vez son más escasos debido a que la contaminación de las aguas dulces sigue aumentando por causa del vertido de aguas residuales que no han sido tratadas sobre lagos, ríos, aguas costeras y acuíferos. Y no son solo estos los contaminantes si no los productos fármacos, los productos de cuidado personal, productos químicos, domésticos e industriales, los pesticidas y los cambios climáticos los que también influyen en la calidad del agua causando efectos a largo plazo en la salud humana y en los ecosistemas.¹⁸ [8]

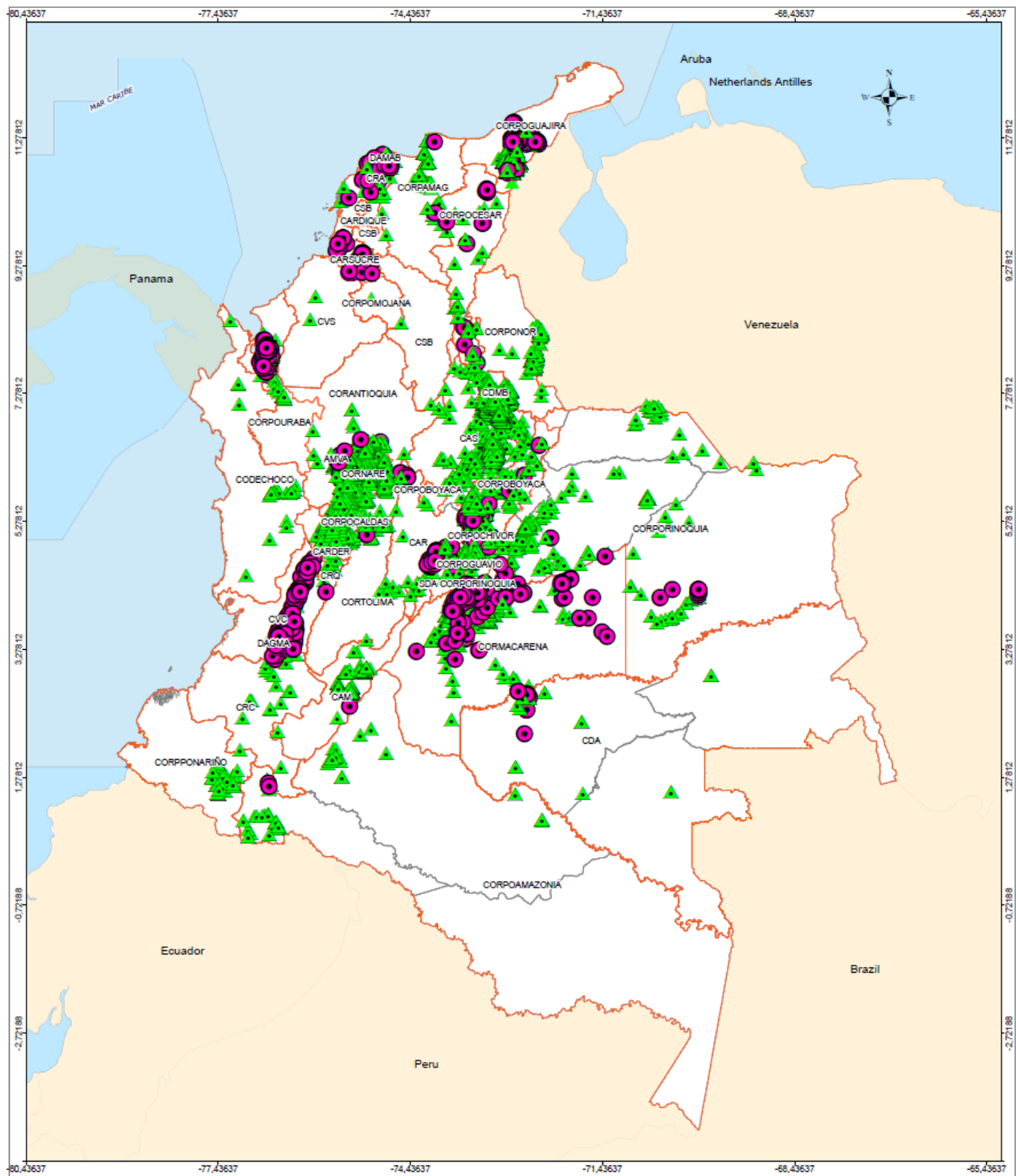
En el año 2010 la Asamblea General de las Naciones Unidas por medio de la resolución 64/292 reconoció que el acceso al agua potable segura y limpia y el saneamiento son un derecho humano fundamental para la vida y el bienestar. Durante los años 1990 y 2015 alrededor de 2.600 millones de personas tuvieron agua potable por medio de fuentes mejoradas en todo el mundo, pero quedan alrededor de 663 millones de personas sin acceso a fuentes mejoradas de agua potable.¹⁹ [9]

¹⁷ MINISTERIO DE PROTECCION SOCIAL. Decreto 1575 de 2007. Capítulo I. p. 1



¹⁸ Iniciativa Internacional sobre la Calidad del Agua. UNESCO. 2015. Francia, p. 6.

¹⁹ UNICEF y OMS 2015. Progress on Sanitation and Drinking Water - 2015 Update and MDG Assessment. Ginebra: OMS.

Figura 2. Captaciones de agua superficiales y subterráneas registradas.



Categoría de las captaciones en cuerpos de agua

-  Fuente Superficial
-  Fuente Subterránea

Convenciones

- | | |
|---|---|
| Límites | Construcciones |
|  Límite Departamental |  Centro Urbano |
|  Límite Marino | |
|  Municipio | |
|  Límite jurisdicción Autoridades Ambientales | Hidrografía |
| Transporte |  Ríos |
|  Vías |  Cuerpos de Agua |
|  Vía Ferrea |  Línea Costera |

Fuente: Sistema de Información Ambiental de Colombia. Captaciones agua superficial y subterránea – SIRH. Obtenido de: http://sig.anla.gov.co:8083/resources/DESCARGA_SIAC/IDEAM/MG_H_Captaciones_Agua_Sup_Sub_SIRH_2013.pdf.

Año tras año muere gran cantidad de personas mueren por causa de enfermedades transmitidas por el agua como la diarrea que comúnmente afectan a los más pequeños, la poca higiene, la falta de saneamiento y el agua no potable. Aunque se hacen mejoras en las fuentes de agua estas no garantizan que la calidad del agua sea la adecuada para el consumo humano. No solo se ven efectos negativos en la salud humana y los ecosistemas, el no tener agua potable limpia, asequible, segura y un propio saneamiento el desarrollo económico y social de los países se ve afectado. Por lo contrario, si se cumpliera con tener agua potable y servicios de saneamiento mejoraría en gran medida las enfermedades, salud humana, ingresos, igualdad de género, productividad económica y educación. [10] [11]

2.2.1 Datos importantes sobre la calidad del agua

- Alrededor de 2.400 millones de personas viven sin ningún tipo de estación de saneamiento y una de cada nueve personas en el mundo utilizan fuentes inseguras de agua potable.²⁰
- Más de 90% de las aguas residuales de los países en vía de desarrollo se vierte sin tratar sobre grandes masas de agua.²¹ [12]
- La industria vierte al entre 300 y 400 megatoneladas de residuos sobre grandes masas de agua cada año.²² [13]
- Debido a la degradación de los ecosistemas de agua dulce por la contaminación de los recursos hídricos y de los ecosistemas acuáticos se estima una reducción de un tercio de la biodiversidad mundial.²³

2.2.2 Degradación de los ecosistemas acuáticos y la calidad del agua

La contaminación que se da por actividades humanas no genera únicamente cambios en la estructura de los ecosistemas si no también su funcionalidad causando modificaciones en la integridad de estos. La eutrofización proviene de los nutrientes fósforo y nitrógeno que vienen de vertidos agrícolas, aguas domésticas, industriales, residuales y de emisiones atmosféricas por la quema de combustibles fósiles. Otra gran amenaza que sufren los lagos, reservas y humedales es la acidificación ya que tiene un gran impacto socioeconómico, sobre la salud humana, la biodiversidad, se reduce la funcionalidad de los ecosistemas y

²⁰ UNICEF y OMS 2015. op. cit, p.6.

²¹ WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos). 2016. Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2016: agua para un mundo sostenible. París. UNESCO.

²² van der Bliek, J., McCornick, P. and J. Clarke (eds). 2014. On Target for People and Planet. Setting and Achieving Water-related Sustainable Development Goals. Instituto Internacional de Gestión de Recursos Hídricos (IWMI): Colombo, Sri Lanka.

²³ Iniciativa Internacional sobre la Calidad del Agua. Op.cit. p,6.

la sostenibilidad del agua para todo tipo de usos. Por esta razón la contaminación de las aguas es de las mayores amenazas, no solo impide que las necesidades humanas no se puedan cubrir, sino que tampoco se podrán cubrir las necesidades de los ecosistemas ni se podrá mantener el flujo de los ecosistemas. [8]

2.2.3 Nuevos contaminantes

Debido a la gran cantidad de contaminantes emergentes que afectan el medio ambiente y la salud humana, la calidad del agua está enfrentando un reto aún mayor. Los contaminantes emergentes están los pesticidas, productos de aseo personal, fármacos, los metales, productos domésticos, químicos e industriales, disolventes y aditivos industriales que generalmente se monitorean ya que causan grandes consecuencias sobre el ser humano y el medio ambiente, muchos de estos contaminantes alteran el sistema endocrino causando efectos adversos ecológicos y sanitarios. Hoy en día no es mucha la información que se tiene sobre estos contaminantes, debido a la complejidad de sus formas, la persistencia en el medio ambiente, y mecanismos de acción, por esto es necesario promover el crecimiento de conocimientos científicos sobre estos contaminantes emergentes y como tenerlos monitoreados, controlados y evaluados. [8]

Para los países en desarrollo es una gran preocupación y un gran reto debido a que las instalaciones encargadas de la depuración del agua y el tratamiento de las aguas residuales no pueden controlar ni eliminar en su totalidad estos contaminantes, aun así, los países que tienen un gran índice en el tratamiento de aguas residuales presentan este problema.

2.3 PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

Los parámetros de calidad del agua son los indicadores que describen o proporcionan información sobre el estado del agua que se está estudiando, estos pueden variar dependiendo de los cambios en el ambiente y de las actividades humanas. La medición de los parámetros del agua puede proporcionar comparaciones internacionales y pueden ser aplicadas de forma regional o nacional. [14]

En la Tabla 1 que se encuentra a continuación se relacionan los parámetros de más importancia y mayor control en el monitoreo de calidad de agua, cada uno con su respectivo valor máximo aceptable de acuerdo a la resolución 2115 de 2007.

Tabla 1. Parámetros de mayor relevancia y control de la calidad del agua según la resolución 2115 de 2007.

| Características | Valor Máximo Aceptable |
|-----------------|------------------------|
| Color Aparente | 15 |
| Olor y Sabor | Aceptable |

| Características | Valor Máximo Aceptable |
|------------------------|------------------------|
| Turbiedad | 2 |
| pH | 6.5 a 9.0 |
| Cloro Residual | 0.3 a 2.0 |
| Carbono Orgánico Total | 5.0 |
| Nitritos | 0.1 |
| Nitratos | 10 |
| Alcalinidad Total | 200 |
| Cloruros | 250 |
| Aluminio | 0.2 |
| Dureza Total | 300 |
| Hierro Total | 0.3 |
| Sulfatos | 250 |
| Manganeso | 0.1 |

Fuente: Resolución 2115 de 2007. Obtenida de: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf.

En la Tabla 2 se ilustran la totalidad de los parámetros posibles de medir para determinar la calidad del agua según la Secretaria Distrital de Ambiente.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos totales para medición de calidad del agua

| Tipo de Parámetros | Símbolo | Unidad de Medida | Medida en campo | Medida en Laboratorio |
|-----------------------------|---------|------------------|--------------------------|-----------------------|
| PARÁMETROS GENERALES | | | | |
| Sólidos disueltos totales | T.D.S | mg /L | equipo | Si |
| pH | pH | - | papel indicador / equipo | Si |
| Conductividad Eléctrica | Ec | uS/cm | equipo | Si |
| Carbono orgánico total | TOC | - | - | Si |

| Tipo de Parámetros | Símbolo | Unidad de Medida | Medida en campo | Medida en Laboratorio |
|---------------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------------|
| Haluros orgánicos totales | TOX | - | - | Si |
| Dureza total | - | - | - | Si |
| Alcalinidad | - | - | - | Si |
| Temperatura | T | - | equipo | Si |
| Potencial Rédox | - | - | - | - |
| Oxígeno disuelto | - | - | - | - |
| ANIONES MAYORES | - | - | - | - |
| Bicarbonatos | HCO ₃ | mg/L | meq | Si |
| Carbonatos | CO ₃ | mg/L | meq | Si |
| Sulfatos | SO ₄ | mg/L | meq | Si |
| Cloruros | Cl | mg/L | meq | Si |
| Nitratos | NO ₃ | mg/L | meq | Si |
| Nitritos | NO ₂ | mg/L | meq | Si |
| Amoniaco | NH ₃ | mg/L | meq | Si |
| Fosfatos | PO ₄ | mg/L | meq | Si |
| CATIONES MAYORES | | | | |
| Calcio | Ca | mg/L | meq | Si |
| Magnesio | Mg | mg/L | meq | Si |
| Sodio | Na | mg/L | meq | Si |
| Potasio | K | mg/L | meq | Si |
| IONES MENORES | | | | |
| Boro | B | mg/L | meq | Si |
| Arsénico | As | mg/L | meq | Si |
| Sílice | SiO ₂ | mg/L | meq | Si |

| Tipo de Parámetros | Símbolo | Unidad de Medida | Medida en campo | Medida en Laboratorio |
|----------------------|---------|------------------|-----------------|-----------------------|
| Fluoruros | F | mg/L | meq | Si |
| Loduros | I | mg/L | meq | Si |
| Bromuros | Br | mg/L | meq | Si |
| METALES TRAZA | | | | |
| Litio | Li | - | - | - |
| Aluminio | Al | - | - | - |
| Estroncio | Sr | - | - | - |
| Zinc | Zn | - | - | - |
| Rubidio | Rb | - | - | - |
| Bario | Ba | - | - | - |
| Vanadio | V | - | - | - |
| Cromo | Cr | - | - | - |
| Molibdeno | Mo | - | - | - |
| Manganeso | Mn | - | - | - |
| Hierro | Fe | - | - | - |
| Níquel | Ni | - | - | - |
| Cobre | Cu | - | - | - |
| Cadmio | Cd | - | - | - |
| Mercurio | Hg | - | - | - |
| Plomo | Pb | - | - | - |
| ISOTOPOS | | | | |
| Tritio | - | - | - | - |
| Carbono 13 | - | - | - | - |
| Carbono 14 | - | - | - | - |
| Oxígeno 18 | - | - | - | - |
| Deuterio | - | - | - | - |

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente. Recurso Hídrico Subterráneo. Análisis fisicoquímico.

2.3.1 Características Físicas

El agua es la única sustancia que puede encontrarse en los tres estados de la materia, sólido, líquido y gaseoso, esta no tiene color ni sabor, pero esto puede variar dependiendo de diferentes parámetros que se puedan llegar a encontrar en el agua e influir sobre estos. El calor es otro indicador relevante en las características físicas ya que el agua posee la capacidad de absorción del calor antes de que aumente la temperatura, por esta razón este recurso es muy importante durante las estaciones del año debido a que regula los cambios de temperatura y en las industrias tiene gran importancia ya que cumple la función de enfriador. [15]

A continuación, se describen los parámetros que forman parte de las características físicas del agua.

1) pH

El pH es una unidad de medida como el metro para la longitud y el litro para el volumen, pero esta es una medida de la acidez o de la alcalinidad de cualquier tipo de sustancia.

Las bases y los ácidos tienen una característica en común la cual permite la medición y es la concentración de los iones de hidrógeno. Los ácidos fuertes presentan grandes concentraciones de hidrógeno y los ácidos débiles presentan concentraciones bajas, esto quiere decir que el pH es el valor numérico que muestra la concentración de iones de hidrógeno.

El pH posee su propia escala, esta va desde 0 a 14, el 0 es el indicador de máxima acidez, y el 14 es la mínima acidez, también existe un punto neutral y este es el intermedio es decir el número 7 en la escala.

Algunos ejemplos de ácidos son las bacterias, la lluvia ácida, jugo de limón y café, algunos ejemplos de sustancias neutras puede ser la leche y la sangre, y algunos ejemplos de sustancias base son la leche de magnesia y el cloro. [16]

El valor promedio de potencial de hidrógeno del agua para consumo humano debe estar en un rango de 6,5 y 9,0. [14]

2) Turbidez

La turbidez es un término que se usa para describir el material suspendido en el agua, y mide el efecto de dispersión que tienen los sólidos suspendidos sobre la luz es decir si la luz dispersada tiene una mayor intensidad mayor va a ser la turbidez.

La turbidez se puede medir aplicando luz a través del agua. La dispersión de la luz se expresa por una medida que se conoce como unidad de turbidez nefelométrica (NTU). Las muestras de agua que presentan menos de 10 NTUs son consideradas como turbidez baja. Para considerar agua potable el rango debe ser de 1 a 5 NTUs.

¿Cuáles son las causas que generan la turbidez? Puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas, dependiendo del grado de turbulencia. En lagos, la turbiedad es debida a dispersiones extremadamente finas y coloidales. En los ríos, es debido a dispersiones normales.

La turbiedad es importante en el agua para abastecimiento público por tres razones:

- Estética: Cualquier turbiedad en el agua para beber, produce en el consumidor un rechazo inmediato y pocos deseos de ingerirla y utilizarla en sus alimentos.
- Filtrabilidad: La filtración del agua se vuelve más difícil y aumenta su costo al aumentar la turbiedad.
- Desinfección: Un valor alto de la turbidez, es una indicación de la probable presencia de materia orgánica y microorganismos que van a aumentar la cantidad de cloro u ozono que se utilizan para la desinfección de las aguas para abastecimiento de agua potable [17].

3) Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto o DO es uno de los parámetros más importantes para poder medir la calidad del agua, este es un parámetro químico fundamental. El nivel que presente el oxígeno disuelto es un indicador de que tan contaminada se encuentra el agua, y que tanto soporte puede dar el agua en la vida animal y vegetal. Cuando el nivel de oxígeno es bajo esto indica que hay contaminación con materia orgánica.

El oxígeno que se encuentra presente en el agua puede proceder de la disolución de oxígeno atmosférico o de la fotosíntesis de los organismos acuáticos, también existen diferentes factores ambientales abióticos que condicionan la cantidad de oxígeno que se encuentra en el agua, como lo son la temperatura, (cuanto más fría se encuentra el agua más cantidad de oxígeno va a presentar), la altura sobre el nivel del mar (mientras la altura asciende los gases disueltos en el agua son menores), cantidad de sales disueltas (a mayor salinidad, será menor la capacidad del agua para disolver gases) [18].

Si el agua está demasiado caliente no habrá suficiente oxígeno en el agua. Cuando hay muchas bacterias o minerales acuáticos en el agua, forman una sobrepoblación, usando el oxígeno disuelto en grandes cantidades.

El oxígeno también puede ser reducido debido a la sobre fertilización de las plantas que se encuentren a los alrededores, debido a que estos fertilizantes presentan nitratos y fosfatos, debido a estos la cantidad de plantas acuáticas aumenta en gran cantidad [18].

4) Conductividad

La conductividad es un parámetro de medición que se controla en diferentes sectores como la industria química y la agricultura. Esta propiedad depende de la cantidad de sales disueltas en líquidos y es inversamente proporcional a la resistividad. Los líquidos con conductividad alta producen grandes cantidades de corriente [19].

El agua es considerada un disolvente polar, esto quiere decir que las moléculas de agua presentan distribuciones desiguales de electrones, esto proporciona una parte la molécula positiva y otra negativa. Las moléculas de agua no pueden ser cargadas eléctricamente, esto quiere decir que el agua no es un buen conductor de corriente eléctrica, para que esto se dé es necesaria la presencia de sustancia disueltas o impurezas [20].

El calor máximo aceptable de conductividad puede ser hasta 1000 microsiemens/cm. El valor puede ser modificado y ajustado según el mapa de riesgo de la zona y los promedios habituales. Si los valores habituales aumentan en un 50% esto indica que hay un cambio sospechoso de sólidos disueltos y su procedencia se debe investigar de forma inmediata por las autoridades pertinentes.

5) Color

Este parámetro puede encontrarse ligado a la turbidez o también puede estar de manera independiente a este. Las estructuras químicas responsables del color y que actualmente han sido consideradas las especies responsables del color son la lignina, taninos, ácidos húmicos, ácidos fulvicos, ácidos grasos. El color natural del agua se puede presentar por la descomposición de la materia, la presencia de manganeso, hierro entre otros compuestos metálicos y la materia orgánica del suelo.

En la constitución del color del agua participan factores como el pH, temperatura, materia disponible, solubilidad de los compuestos, y el tiempo de contacto [15].

6) Olor y Sabor

Esta es la principal característica que puede causar un rechazo por parte de los consumidores. La presencia de olor indica una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua, por otro lado, la falta de olor indica la inexistencia de contaminantes, como lo son los compuestos fósforos.

El sabor y el olor suelen ser generados por sustancias o compuestos orgánicos derivados de microorganismos, algas, o desechos industriales [15].

7) Temperatura

Este es considerado uno de los parámetros más importantes debido a que influye en la aceleración o retardo de la actividad biológica, precipitación de compuestos, absorción de oxígeno, formación de depósitos, procesos de mezcla, desinfección, sedimentación, filtración y floculación. Los factores ambientales también son una causa principal por la que la temperatura del agua puede variar [15].

2.3.2 Características Químicas

Los compuestos químicos que se encuentran en el agua pueden ser de origen industrial o natural, estos pueden ser dañinos beneficiosos dependiendo de su concentración y composición [15].

1) Mercurio

Es considerado un contaminante no deseable del agua, debido a que es un metal tóxico para el ser humano. Es normal encontrarlo en el agua de forma inorgánica, este puede pasar a compuestos orgánicos por medio de los microorganismos que se encuentran presentes en los sedimentos, como puede hacerlo el plancton y trasladarse a las algas y hacerlo sucesivamente hasta llegar a organismos de niveles tróficos como aves rapaces, peces y el hombre [15].

2) Aluminio

Este es un componente que forma parte de la estructura de las arcillas, por tal razón es un componente natural del agua. El aluminio puede estar presente en sistemas coloidales o en formas solubles, los cuales son los responsables de la turbidez que pueda presentar el agua. Las aguas que presentan mayores porcentajes de aluminio son las que pueden presentar mayores problemas debido a que esto causara niveles de pH bajos [15].

3) Plomo

Esta característica normalmente no se encuentra en las aguas superficiales, pero si se encuentra presente en las aguas subterráneas. Cuando el plomo se encuentra en aguas superficiales es por causa de vertidos industriales. Es común encontrar plomo en el agua de instalaciones antiguas, las uniones de plomo y las tuberías de abastecimiento son las causantes de este problema. Cuando el agua es ácida se libera abundante cantidad de plomo de las tuberías, esto sucede generalmente en las que el agua ha estado estancada por un largo tiempo [15].

4) Fluoruro

El fluoruro es esencial en la nutrición del ser humano, cuando este se encuentra en niveles adecuados en el agua que consume el hombre genera beneficios para el cuidado dental, pero cuando sus niveles son elevados puede llegar a generar fluorosis lo cual causa daños en la estructura ósea, para que pueda llegar a causar efectos tóxicos este se debe encontrar en niveles de concentraciones extremadamente elevados [15].

5) Hierro

Cuando este elemento se encuentra en aguas naturales, generalmente no produce consecuencias para la salud. El hierro es uno de los elementos que afectan el sabor del agua, así mismo también puede formar depósitos y ocasionar obstrucciones generando alteraciones en el color del agua y en su turbidez. Este elemento presenta gran influencia en el ciclo de los fosfatos lo cual le da una gran importancia en un punto de vista biológico [15].

6) Cobre

Es común encontrar cobre en el agua por causa de corrosión en tuberías y cañerías de viviendas, percolado de conservantes de madera, erosión de depósitos naturales, sulfato de cobre usado para controlar algas en plantas de potabilización. Los niveles elevados de cobre pueden generar un sabor desagradable en el agua [15].

7) Cloruro

La presencia de cloruro en aguas potables es debida a la agregación de cloro que se da en las estaciones de tratamiento como un desinfectante. Este elemento en forma de ion Cl^- es de los aniones inorgánicos más importantes que tiene el agua. Cuando la concentración de cloruro es muy alta esto genera un sabor salado y fácil de identificar si se encuentra asociado con los cationes potasio y sodio, el sabor salado no se podría apreciar si la sal que se encuentra disuelta es cloruro de magnesio o calcio, dependiendo de la concentración de cloruro que se presente esta puede generar acciones corrosivas y erosionantes especialmente si se tiene un pH bajo. [15]

8) Sulfatos

El sulfato es un componente de las aguas superficiales y se da de forma natural, este elemento no se encuentra en niveles de concentración que puedan llegar a afectar su calidad y comúnmente proviene de la oxidación que se da de los sulfuros que puedan existir en el agua.

Existen sulfatos e magnesio y de calcio los cuales cooperan con la dureza del agua, este elemento en gran cantidad puede generar un sabor amargo en el agua, y si se encuentra presente el magnesio puede tener un efecto laxante, en niveles excesivos de concentraciones puede generar acciones corrosivas. [15]

9) Nitritos y Nitratos

Los nitritos y nitratos se pueden llegar a encontrar en concentraciones altas en zonas rurales debido a la descomposición de la materia orgánica y los fertilizantes que se utilizan. Cuando en un recurso hídrico se reciben descargas de agua residuales domésticas se puede encontrar la presencia de nitrógeno orgánico amoniacal, el cual al tener contacto con el oxígeno disuelto se convertirá en nitritos y nitratos debido a la oxidación. Este proceso tiene dependencia de la temperatura, el pH del agua y el oxígeno disuelto.

El nítrico como ion es menos estable que el de nitrato, este es muy reactivo y actúa como agente reductor y oxidante. En condiciones de baja oxigenación es posible encontrar cantidades apreciables de este elemento, por esta causa es que los nitritos se transforman tan rápido en nitratos, y se pueden encontrar generalmente en las aguas subterráneas y superficiales. La reacción de oxidación se puede dar por factores abióticos y por sistemas biológicos. [15]

2.3.3 Características Biológicas

En el agua se pueden encontrar gran variedad de elementos biológicos como peces y microorganismos. Los microorganismos que se encuentran en el agua se pueden originar de maneras naturales o de contaminantes provenientes de vertidos industriales o por los existentes en el suelo y son arrastrados por la lluvia.

Los microorganismos se encuentran acompañados de características químicas y físicas del agua, cuando el agua presenta temperaturas templadas y la presencia de materia orgánica, la población de microorganismos se diversifica y crece. La biodiversidad que se encuentra en el agua natural indica que tiene poca probabilidad de estar contaminada. Para que esta pueda considerarse potable es necesario que sea tratada para eliminar los elementos biológicos que pueda contener. [15]

1) Bacterias

Se pueden encontrar géneros numerosos de bacterias en el agua, las bacterias patógenas para el ser humano son las coliformes y estreptococos debido a que son usadas como índice de contaminantes fecales. [15]

El E-coli es un Bacilio aerobio Gram Negativo no esporulado el cual tiene enzimas específicas como la β glucoronidasa y β galactosidasa. Este parámetro es el indicador biológico de contaminación fecal que se presenta en el agua para el consumo humano. [14]

2) Algas

Esta característica tiene la presencia de clorofila la cual es fundamental para las actividades fotosintéticas, es decir que necesitan la presencia de la luz solar para vivir y su reproducción. La mayor concentración de algas se puede presentar en lagunas, lagos, remansos de agua, embalses, y corrientes de agua superficiales, así mismo esta puede generar pigmentos de color en el agua. [15]

3) Hongos, mohos y levaduras

Estas bacterias no tienen presencia de clorofila y generalmente no presentan color, son organismos heterótrofos y como consecuencia tienen dependencia de la materia orgánica para nutrirse. [15]

2.4 ANÁLISIS DEL AGUA

El análisis del agua es un proceso indispensable para conocer las características de calidad de agua y permite determinar si esta es apta para el consumo humano o dependiendo de su calidad puede ser empleada para diferentes usos. Existen diferentes tipos de análisis en el agua de acuerdo a la resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Ambiente y Protección Social y estos serán mencionados a continuación.

2.4.1 Análisis Microbiológico del agua

Procedimientos realizados en laboratorio sobre una muestra de agua para el consumo humano y así evaluar la ausencia y presencia, cantidad y los tipos de microorganismos.

Los riesgos más comunes para la salud humana que tienen relación con el consumo de agua normalmente son las enfermedades que se ocasionan por agentes patógenos como los parásitos, virus y bacterias. Los fallos en el sistema de protección de la seguridad del abastecimiento de agua puede generar contaminación a gran escala y epidemias, incluso cuando la contaminación es leve se puede ocasionar con gran frecuencia la presencia de brotes esporádicos que ocasionan enfermedades, pero las autoridades de vigilancia de la salud pública no caen en cuenta que este problema viene de las fuentes de abastecimiento de agua de consumo.²⁴ [21] En la Tabla 3 se muestra información sobre los patógenos más importantes en los abastecimientos de consumo de agua.

Tabla 3. Patógenos importantes en los abastecimientos de consumo de agua.

| Agente patógeno | Importancia para la salud | Persistencia en los sistemas de abastecimiento de agua | Resistencia al cloro | Infectividad relativa | Fuente animal importante |
|------------------------------|---------------------------|--|----------------------|-----------------------|--------------------------|
| Bacterias | | | | | |
| Burkholderia pseudomallei | Baja | Puede | Baja | Baja | no |
| Campylobacter jejuni, C.coli | Alta | Prolifera | Baja | Moderada | si |
| Escherichia coli patógena | Alta | Moderada | Baja | Baja | si |
| E.coli enterohemarragia | Alta | Moderada | Baja | Alta | si |
| Legionella ssp | Alta | Moderada | Baja | Moderada | no |
| Micobacterias no tuberculas | Baja | Prolifera | Alta | Baja | no |
| Pseudomonas aeruginosae | Moderada | Prolifera | Moderada | Baja | no |
| Salmonella typhi | Alta | Puede | Baja | Baja | no |
| Otras salmonelas | Alta | Prolifera | Baja | Baja | si |
| Shigella spp | Alta | Moderada | Baja | Moderada | no |
| Vibrio chocerae | Alta | Puede | Baja | Baja | no |
| Yersinia enterocolitica | Alta | Prolifera | Baja | Baja | si |
| Virus | | | | | |
| Adenovirus | Alta | Larga | Moderada | Alta | no |
| Enterovirus | Alta | Larga | Moderada | Alta | no |
| Virus de la hepatitis A | Alta | Larga | Moderada | Alta | no |

²⁴ Guías para la calidad del agua potable. Organización Mundial de la Salud. 2006,p. 105.

| Agente patógeno | Importancia para la salud | Persistencia en los sistemas de abastecimiento de agua | Resistencia al cloro | Infectividad relativa | Fuente animal importante |
|-------------------------|---------------------------|--|----------------------|-----------------------|--------------------------|
| Virus de la hepatitis E | Alta | Larga | Moderada | Alta | potencialmente |
| Norovirus y sopovirus | Alta | Larga | Moderada | Alta | potencialmente |
| Rotavirus | Alta | Larga | Moderada | Alta | no |
| Protozoos | | | | | |
| Acanthamoeba ssp | Alta | Larga | Alta | Alta | no |
| Cryptosporidium parvum | Alta | Larga | Alta | Alta | si |
| Cyclospora cayetanensis | Alta | Larga | Alta | Alta | no |
| Entamoeba histolyca | Alta | Moderada | Alta | Alta | no |
| Giardia intestinalis | Alta | Moderada | Alta | Alta | si |
| Naegleria fowleri | Alta | Puede | Alta | Alta | no |
| Toxoplasma gondii | Alta | Prolifera | Alta | Alta | si |
| Helmintos | | | | | |
| Dracunculus medinensis | Alta | Moderada | Moderada | Alta | no |
| Schistosoma ssp | Alta | Corta | Moderada | Alta | si |

Fuente: Organización Mundial de la Salud. Obtenida de: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf.

Los agentes patógenos presentes en el agua pueden variar dependiendo de la cantidad de personas y de animales, así como también puede cambiar por el incremento del uso de las aguas residuales y cambios en los hábitos de la población, generando agentes patógenos nuevos o recombinaciones de los patógenos ya existentes. Gran cantidad de personas tienen inmunidad a los patógenos, pero esto depende de la edad, el contacto que se tiene con el patógeno, el sexo, la condición de vida y el estado de salud.

Los agentes patógenos que se transmiten por vía fecal-oral no solo se transportan por el agua de consumo también por alimentos contaminados, la ropa, las manos y más que todo cuando el aseo doméstico es deficiente. Para reducir en un gran porcentaje las enfermedades por la vía oral-fecal es importante mejorar la disponibilidad del agua, su calidad, los métodos de eliminación de excrementos y mejorar la higiene de forma general.

Los agentes patógenos que se transmiten por el agua tienen la capacidad de sobrevivir en el agua, pero en su mayoría no crecen si se proliferan en el agua. El Campylobacter y el E-coli son microorganismos que se pueden acumular en los sedimentos y se movilizan cuando el caudal del agua aumenta²⁵. Cuando los microorganismos abandonan a sus hospedados, la capacidad de infección de estos patógenos disminuye de forma gradual y después de transcurrido un tiempo este no podrá detectarse en el agua. La temperatura es el factor más importante

²⁵ Guías para la calidad del agua potable. op. cit, p. 108.

en la persistencia de los patógenos en el agua, ya que cuando esta se encuentra a temperaturas altas los patógenos que se encuentran presentan disminuyen con mayor rapidez. [21]

Los virus y los parásitos como huevos, quistes y oosquistes no se pueden multiplicar en el agua, pero cuando se encuentran cantidades altas de carbono orgánico biodegradable, condensaciones residuales bajas de cloro y temperaturas cálidas se pueden proliferar *V. cholerae*, *Legionella* y *Naegleria fowleri*. La calidad microbiológica del agua puede variar en gran medida y de forma rápida ya que pueden aparecer agentes patógenos de forma repentina y en grandes cantidades aumentado así los riesgos de enfermedades transmitidas por el agua.

2.4.2 Análisis Básico

Este procedimiento se lleva a cabo para determinar la turbiedad, pH, color aparente, cloro residual libre o usado, *Escherichia coli* y coliformes totales.²⁶ Como se vio anteriormente algunos de estos parámetros son medidos en laboratorio y por tal razón no podrán ser medidos en el presente trabajo, se realizará un análisis básico teniendo en cuenta los parámetros más importantes en la medición de la calidad del agua, así como disponibilidad y costo de los sensores.

2.4.3 Análisis Complementarios

Este análisis es realizado para las determinaciones químicas, físicas y microbiológicas que no se contemplan en el análisis básico.²⁷

2.4.4 Análisis Físico y Químico del agua

En este análisis se llevan a cabo los procedimientos de laboratorio que se realizan a una muestra de agua y así evaluar sus características físicas y químicas.²⁸

De acuerdo a la resolución 2115 de 2007 los plaguicidas son un compuesto químico adverso para la salud humana, pero existen otras características químicas de sustancias que también presentan un efecto adverso sobre la salud humana, estas sustancias presentan valores que sobrepasan el valor máximo aceptable.²⁹

[14]

Las sustancias químicas excepto el nitrato que se encuentran en el agua de consumo humano por un largo tiempo (años) tienen un alto porcentaje de peligro para la salud. La calidad del agua presenta sus variaciones de forma progresiva,

²⁶ Ibid.,p.1.

²⁷ Ibid.,p.1.

²⁸ Ibid.,p.1.

²⁹ Ibid.,p.3.

excepto cuando sobre las aguas subterráneas se vierten de forma esporádica sustancias o elementos contaminantes.

A continuación, se muestran dos tablas (Tabla 4 y Tabla 5) en las que se muestran las características químicas que tienen efectos adversos e implicaciones sobre la salud humana y su respectivo valor máximo aceptable.

Tabla 4. Características Químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana.

| Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias | Expresados como | Valor máximo aceptable (mg/L) |
|---|-----------------|-------------------------------|
| Antimonio | Sb | 0,02 |
| Arsénico | As | 0,01 |
| Bario | Ba | 0,7 |
| Cadmio | Cd | 0,003 |
| Cianuro libre y disociable | CN ⁻ | 0,05 |
| Cobre | Cu | 1,0 |
| Cromo total | Cr | 0,05 |
| Mercurio | Hg | 0,001 |
| Níquel | Ni | 0,02 |
| Plomo | Pb | 0,01 |
| Selenio | Se | 0,01 |
| Trihalometanos Totales | THMs | 0,02 |
| Hidrocarburos Aromáticos Poli cíclicos (HAP) | HAP | 0,01 |

Fuente: Resolución 2115 de 2007. Obtenida de: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf.

Tabla 5. Características químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana.

| Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana | Expresados como | Valor máximo aceptable (mg/L) |
|--|-----------------|-------------------------------|
| Carbono Orgánico Total | COT | 5,0 |
| Nitritos | NO ₂ | 0,1 |
| Nitratos | NO ₃ | 10 |
| Fluoruros | F | 1,0 |

Fuente: Resolución 2115 de 2007. Obtenida de: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf.

A continuación, se presenta la Tabla 6 en la que se muestra la división de las sustancias químicas en función de su origen.

Tabla 6. Clasificación de los componentes químicos en función de su origen

| Origen de componentes químicos | Ejemplos de orígenes |
|--|---|
| Origen natural | Rocas, suelos y efectos del marco geológico y el clima |
| Fuentes industriales y núcleos habitados | Minería (industrias extractivas) e industrias de fabricación y procesamiento, aguas residuales, residuos sólidos, escorrentía urbana, fugas de combustibles |
| Actividades agropecuarias | Estiércoles, fertilizantes, prácticas de ganadería intensiva y plaguicidas |
| Tratamiento del agua o materiales en contacto con el agua de consumo | Coagulantes, SPD, materiales de tuberías |
| Plaguicidas añadidos al agua por motivos de salud pública | Larvicidas utilizadas en el control de insectos vectores de enfermedades |
| Cianobacterias | Lagos eutróficos |

Fuente: Organización Mundial de la Salud. Obtenida de: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowsres.pdf.

En el capítulo IV de la resolución 2115 de 2007 del ministerio de ambiente se hace referencia al índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA), para realizar el cálculo del IRCA cada una de las características físicas, químicas y microbiológicas tiene un puntaje de riesgo cuando no se cumple con los valores aceptables mencionados anteriormente.³⁰ A continuación se encuentra la Tabla 7 con los puntajes de riesgo correspondientes.

Tabla 7. Puntaje de riesgo.

| Características | Puntaje de riesgo |
|-----------------|-------------------|
| Color aparente | 6 |
| Turbiedad | 15 |
| pH | 1.5 |

³⁰ MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL., op. cit, p. 7

| Características | Puntaje de riesgo |
|---------------------------------|-------------------|
| Cloro residual libre | 15 |
| Alcalinidad total | 1 |
| Calcio | 1 |
| Fosfatos | 1 |
| Manganeso | 1 |
| Molibdeno | 1 |
| Magnesio | 1 |
| Zing | 1 |
| Dureza total | 1 |
| Sulfatos | 1 |
| Hierro total | 1.5 |
| Cloruros | 1 |
| Nitratos | 1 |
| Nitritos | 3 |
| Aluminio | 3 |
| Fluoruros | 1 |
| COT | 3 |
| Coliformes totales | 15 |
| Escherichia coli | 25 |
| Sumatoria de puntajes asignados | 100 |

Fuente: Resolución 2115 de 2007. Obtenida de: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf.

Cuando se cumple con los valores aceptables en todas las características químicas, físicas y microbiológicas el valor del IRCA será 0, pero por lo contrario si los valores aceptables no se cumplen en ninguna de las características el valor del IRCA será de 100.

Enseguida se verán las ecuaciones que deben usarse para el cálculo del IRCA en una muestra, o calculándolo de forma mensual.

- IRCA por muestra:

$$IRCA(\%) = \frac{\sum \text{puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\sum \text{puntajes de riesgo asignados a todas las características analizadas}} \times 100$$

- IRCA mensual:

$$IRCA(\%) = \frac{\sum \text{de los IRCAs obtenidos en cada muestra realizada en el mes}}{\text{Número total de muestras realizadas en el mes}}$$

En la Tabla 8 se encuentra la clasificación del nivel de riesgo en la salud según el IRCA mensual y el IRCA por muestra, con las respectivas medidas y acciones que se deben tomar dependiendo el porcentaje.

Tabla 8. Clasificación del nivel de riesgo según el IRCA mensual y el IRCA por muestra.

| Clasificación IRCA (%) | Nivel de Riesgo | IRCA por muestra (Notificaciones que adelantara la autoridad sanitaria de manera inmediata) | IRCA mensual (Acciones) |
|------------------------|-------------------------|--|--|
| 80.1-100 | INVIABLE SANITARIAMENTE | Informar a la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General. | Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional. |
| 35.1-80 | ALTO | Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD. | Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos. |
| 14.1–35 | MEDIO | Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde y Gobernador. | Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora. |
| 5.1-14 | BAJO | Informar a la persona prestador a y al COVE. | Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento. |
| 0-5 | SIN RIESGO | Continuar el control y la vigilancia. | Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia. |

Fuente: Resolución 2115 de 2007. Obtenida de: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf.

3 INTERNET DE LAS COSAS (IOT)

De acuerdo a la recomendación de la UIT-T Y .2060 IoT se considera un concepto ambicioso que tiene repercusiones sociales y tecnológicas. Desde la perspectiva de la normalización técnica, el Internet de las cosas puede ser concebido como una infraestructura global de la sociedad de la información, el cual permite ofrecer servicios avanzados por medio de la conexión de objetos virtuales y físicos gracias a la interoperabilidad de tecnologías TIC presentes y futuras. IoT utiliza plenamente los “objetos” para ofrecer servicios a todo tipo de aplicaciones, aprovechando las capacidades de identificación, procesamiento, adquisición de datos y comunicación para garantizar el cumplimiento de requisitos como privacidad y seguridad.³¹

Los objetos usados en el contexto de IoT pueden ser físicos o virtuales y tienen la posibilidad de ser conectados e identificados en redes de comunicaciones y estos pueden contener información conexas que puede ser dinámica o estática. Los objetos físicos se pueden detectar, actuar sobre ellos y conectarlos un ejemplo de ellos son los robots industriales y equipos electrónicos. Los objetos virtuales son los que existen en el mundo de la información y pueden ser almacenados, procesados y se puede acceder a ellos mismos, un ejemplo son el software de aplicaciones y los contenidos multimedia.³² [22]

3.1 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE IOT

Los objetos físicos se pueden representar por uno o varios objetos virtuales en el mundo de la informática, en el grafico esto es representado como la correspondencia, por lo contrario, un objeto virtual puede existir sin tener que estar asociado a uno físico. Los dispositivos tienen la capacidad de comunicación, pero como forma opcional tienen capacidades de accionamiento, detección, almacenamiento, adquisición y procesamiento de información. Los dispositivos pueden obtener diferentes tipos de información y la suministran para las redes de la información y las comunicaciones para su posterior procesamiento o por lo contrario pueden realizar alguna acción de acuerdo a la información recibida de las redes de la información y comunicaciones.

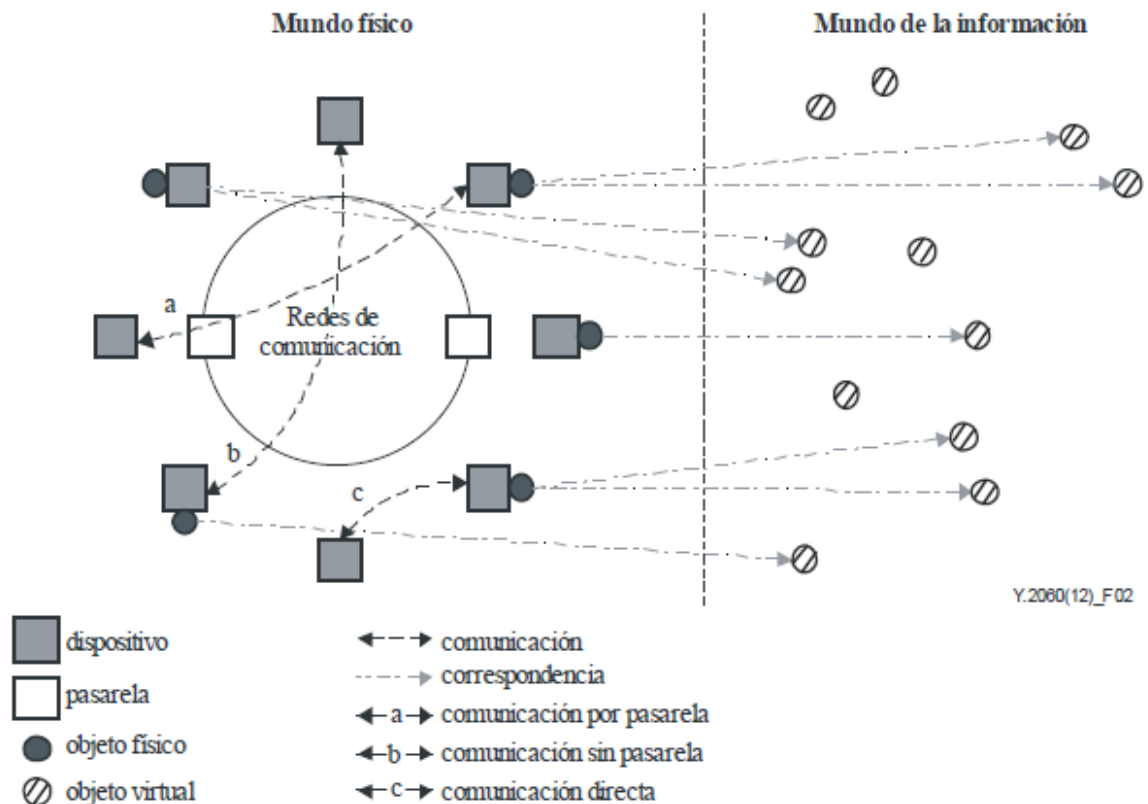
La comunicación entre los dispositivos se realiza por medio de una pasarela en la red de comunicaciones (caso a), una red sin pasarela (caso b) o directamente es decir sin usar una red de comunicación (caso c). Estos tres casos pueden ser combinados de diferentes maneras como por ejemplo se puede realizar la

³¹ RECOMENSACION UIT-T Y .2060. Unión Internacional de Telecomunicaciones. Descripción general de Internet de los objetos. 2012. p.8.

³² RECOMENSACION UIT-T , op. CIT, p.9.

conexión entre dispositivos usando una red local es decir como una conexión ad-hoc que ofrece conectividad local entre dispositivos y pasarelas o solo dispositivos y posterior a esto se comunican mediante la red de comunicación a través de pasarela de red local.³³ En la Figura 3 muestra la descripción técnica del Internet de las cosas. [22]

Figura 3. Descripción técnica de IoT



Fuente: Recomendación UIT-T Y.2060. Descripción general de Internet de los objetos.

Las aplicaciones IoT pueden ser de diferentes tipos como “red de suministro eléctrico”, “sistemas de transporte inteligente”, “cibersalud” y “hogar inteligente”, estas aplicaciones se pueden basar en plataformas de aplicaciones patentadas o en plataformas de aplicaciones/servicios comunes que tienen capacidades genéricas como gestión de dispositivos, autenticación, contabilidad y tasación.

Los datos que se adquieren en los dispositivos son transferidos a aplicaciones y a otros dispositivos. Las redes de comunicaciones brindan capacidades de transferir datos eficientes y fiables. La infraestructura de la red IoT se puede crear por medio de redes ya existentes como las convencionales que están basadas en el

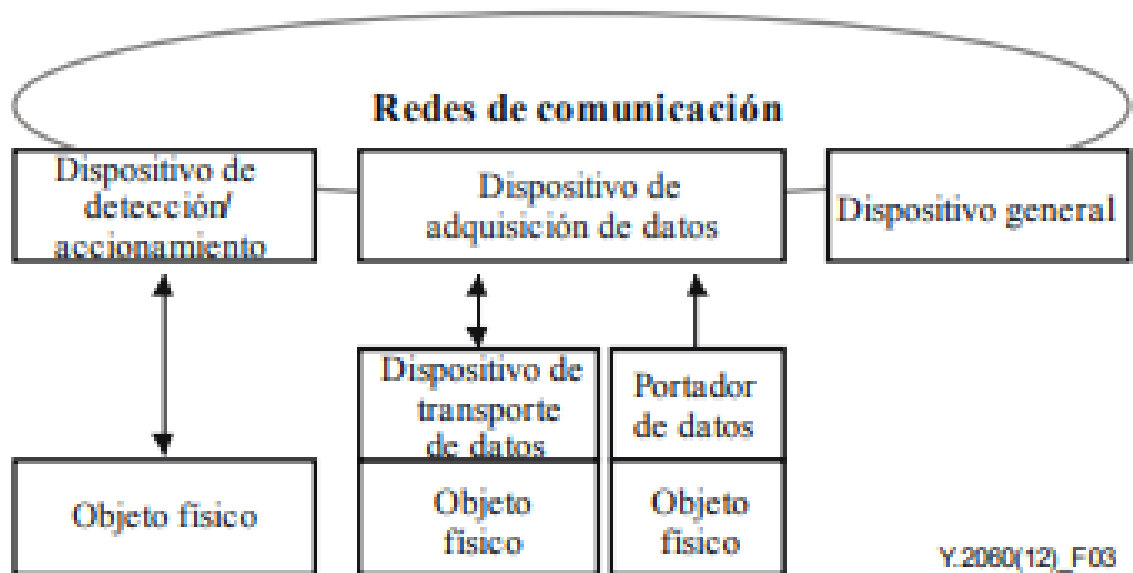
³³ RECOMENSACION UIT-T, op. CIT, p.10.

protocolo TCP/IP, o con redes evolutivas como las redes NGN (Redes de Próxima Generación). [22]

3.2 TIPOS DE DISPOSITIVOS Y SU RELACIÓN CON OBJETOS FÍSICOS

Los dispositivos IoT deben cumplir con un requisito mínimo y es que deben disponer de la capacidad de comunicación. Los dispositivos se clasifican de diferentes maneras como dispositivos de transporte de datos, de detección y accionamiento, adquisición de datos, y dispositivos genéricos.

Figura 4. Tipos de dispositivos y su relación con objetos físicos



Fuente: Recomendación UIT-T Y.2060. Descripción general de Internet de los objetos.

- Dispositivo de transporte de datos: El dispositivo de transporte se encuentra anexo a un objeto físico para conectar de forma indirecta el objeto físico con la red de comunicaciones.
- Dispositivo de detección y accionamiento: Este dispositivo mide o detecta información de su entorno y la transforma en señales electrónicas digitales, también convierte señales electrónicas digitales que proceden de las redes de información en operaciones. Comúnmente estos dispositivos crean redes locales que se comunican entre sí por medio de tecnologías de comunicación inalámbricas o alámbricas y por medio de uso de pasarelas para realizar conexión con las redes de comunicación.
- Dispositivo de adquisición de datos: Dispositivo de lectura y escritura que tiene la capacidad de interactuar con objetos físicos, esta interacción se puede dar de forma indirecta por medio de dispositivos de transporte de

datos, o de manera directa uniendo el dispositivo de transporte de datos con un objeto físico.

- **Dispositivo Genérico:** Este dispositivo es un conjunto de objetos físicos y cuenta con capacidades de procesamiento y de comunicación y puede realizar la comunicación por medio de tecnologías inalámbricas y alámbricas. Estos dispositivos tienen equipos y aplicaciones para distintos tipos de aplicaciones IoT, como electrodomésticos, maquinas industriales y teléfonos inteligentes. [22] En la Figura 4 muestran los diferentes tipos de dispositivos y la relación que tienen con los objetos físicos.

3.3 SISTEMAS EMBEBIDOS

Los sistemas embebidos son sistemas de computación diseñados para realizar tareas en sistemas operativos en tiempo real, a diferencia de los ordenadores como una computadora personal o un PC que realizan un rango de tareas mucho mayor los sistemas embebidos realizan tareas específicas. Los componentes de un sistema embebido comúnmente se encuentran incluidos en la placa base, componentes como la tarjeta de video, modem, audio, etc. Normalmente el dispositivo resultante no tiene un aspecto similar al de una computadora.³⁴

Los sistemas embebidos tienen diferentes posibilidades para su programación, se puede sobre el lenguaje ensamblado del microprocesador o micro controlador que se encuentra incorporado sobre él, o usando un compilador específico, como el lenguaje C, C++ o JAVA.³⁵ [23] Enseguida se hablará sobre los dos sistemas embebidos de mayor relevancia y más apropiados para llevar a cabo este proyecto.

3.3.1 Arduino Uno

Arduino es una plataforma de código abierto (open-source) que se basa en software y hardware flexible y es fácil de usar. Este dispositivo es muy usado por diseñadores, artistas, o para cualquier persona interesada en la creación de objetos o de entornos interactivos. Por medio de la entrada de información por una variedad de sensores, el arduino puede “sentir” su entorno y puede afectar su entorno por medio del control de luces, motores, etc. El arduino es programado con Arduino Programming Language y con Arduino Development Environment. Los proyectos que se realizan en este hardware pueden ser autónomos y tienen la posibilidad de comunicarse con software en ejecución en un ordenador.³⁶ [24]

Es posible realizar el ensamble de las placas a mano o pueden encargarse ya pres ensambladas y su software se descarga de forma gratuita. Existen diseños

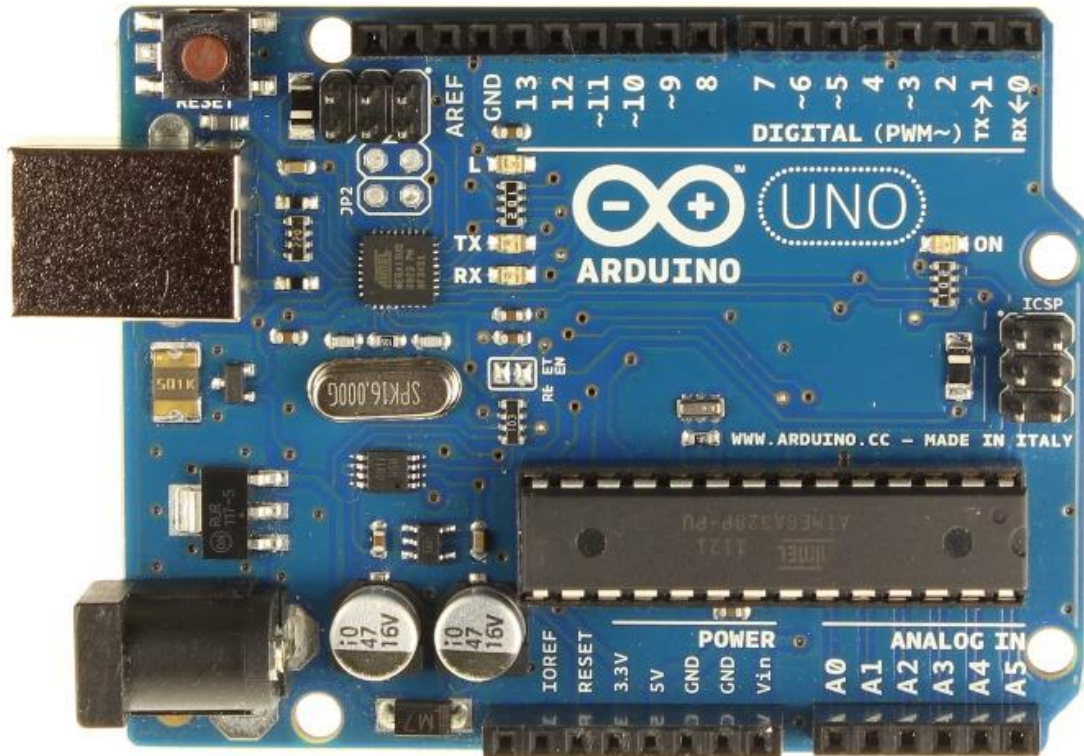
³⁴ Sistemas Embebidos (ES). UNED.2011.p.4.

³⁵ Ibid.p,4.

³⁶ Rafael Enríquez Herrador. Guía de Usuario de Arduino. Universidad de Córdoba. 2009. p,8.

de referencia del hardware que se encuentran disponibles por licencia open-source y esto permite que sean adaptados para sus necesidades. Hoy en día existen muchos microcontroladores y plataformas microcontroladoras para la computación física algunas de ella son Parallax basic Stamp, Phidgets, Netmedia's y Handyboard. Estas plataformas lo que permiten es tomar los desordenados detalles de la programación de microcontrolador y la encierran en un paquete sencillo de usar³⁷.

Figura 5. Arduino Uno



Fuente: Raspberry Pi, Arduino y Beaglebone Black Comparación y Aplicaciones. Obtenida de: <http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/MiniPCs.pdf>.

Lo que hace arduino es simplificar el proceso de trabajo con los microcontroladores y ofrece las siguientes ventajas:

- Económico: Comparadas con otras plataformas microcontroladoras las placas arduino son relativamente económicas. La placa más económica del arduino puede ser ensamblada a mano y las que se consiguen ya pre ensambladas pueden tener un costo muy bajo.
- Multiplataforma: El software que utiliza arduino se ejecuta en el sistema operativo Windows, GNU/Linux y Macintosh OSX, mientras que la mayoría de los microcontroladores se limitan a Windows.

³⁷ Ibid.,p.8.

- Entorno de programación simple y claro: Para los principiantes en programación el entorno que se usa en arduino es bastante fácil y los programadores avanzados también pueden provecharlo.
- Código abierto y software extensible: El software se encuentra publicado como código abierto, tiene la disponibilidad de extensión para programadores avanzados. El lenguaje en arduino se puede extender por medio de las librerías C++, y cuando se desee extender los detalles técnicos se puede hacer el salto desde arduino a la programación en lenguaje AVR-C. Se puede adicionar código AVR-C directamente en los programas arduino.
- Código abierto y hardware extensible: El arduino se basa en microcontroladores AT-MEGA8 Y ATMEGA168 de Atmel. Los planos de los módulos se encuentran publicados con licencia Creative Commons, esto permite que los diseñadores de los circuitos puedan hacer una extensión y mejora de su propia versión del módulo. Inclusive los usuarios que no tengan mucha experiencia pueden realizar una versión propia de la placa del módulo para ahorrar dinero y aprender cómo funciona.³⁸ [24]

3.3.2 Raspberry Pi 2

La raspberry Pi es un ordenador de bajo costo y un tamaño reducido, está constituido por una placa base en la que se monta el procesador, una memoria RAM y un chip gráfico. La diferencia que tiene con un ordenador normal es que no tiene disco duro, pero en este caso se usa una tarjeta SD. El sistema operativo que utilizan las raspberry pueden ser varios, la mayoría de estos son basados en el kernel de Linux, hoy en día los más conocidos son Firefox OS, Android, OpenWebOS, Raspbian o Unix.³⁹ [25]

Para trabajar con la raspberry es necesaria una tarjeta SD, el cable de alimentación y un cable de red. Para realizar la primera instalación se necesita de un monitor y de un teclado. La tarjeta SD va a actuar como el disco duro y se debe instalar sobre ella el sistema operativo, para esto desde la página oficial de Raspberry Pi se deben seguir los pasos para hacerlo de forma correcta. Cuando la tarjeta SD finalice la instalación y esté listo se debe conectar el teclado y el monitor y por último se conectar el cable de alimentación. Se realiza la configuración de una dirección ip estática en la raspberry así cuando se conecte nuevamente ya dispondrá de la misma dirección ip.⁴⁰ [26]

³⁸ Rafael Enríquez Herrador. op. CIT, p.9.

³⁹ Gabriel Escalas Rodríguez. Diseño y desarrollo de un prototipo de riego automático controlado con Raspberry Pi y Arduino. 2014, p.31.

⁴⁰ Gabriel Escalas Rodríguez, op. cit, p.33.

Figura 6. Raspberry Pi 2



Fuente: Raspberry Pi 2. Raspberry Pi. Obtenida de: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-2-model-b/>.

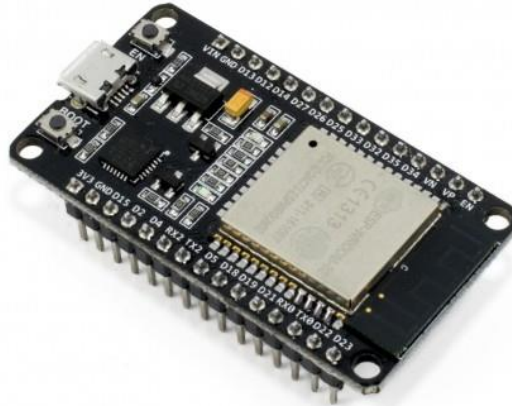
3.3.3 ESP32

El ESP32 es una placa SoC “System on Chip”, está integrada por un chip de procesador Tensilica Xtensa de doble núcleo de 32BITS A 160Mhz⁴¹, pero puede llegar hasta una capacidad de 240Mhz. La placa ESP32 se destaca por la capacidad de conectividad Bluetooth y WiFi y presenta muchas mejoras respecto al ESP8266 que es la placa que estaba anteriormente, pues presenta mayor potencia, encriptación de datos, Bluetooth 4.0, sensor de temperatura, reloj de tiempo real, más buses, más puertos, entre otras.

Se presentan varias opciones en cuanto al lenguaje de programación como IDE Arduino, RTOS, MicroPython, Espruino y Mongoose OS. Con todas las ventajas que ofrece esta placa es posible desarrollar cualquier tipo de proyecto, en los que se destacan las aplicaciones IoT debido a su capacidad de comunicación. En la Figura 7 se muestra la placa ESP32.

⁴¹ ESP32, El “Hermano mayor” del ESP8266 con Wifi y Bluetooth, Luis Llamas. 2018. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/esp32/>.

Figura 7. Placa ESP32



Fuente: Naylamp Mechatronics. Obtenida de: <https://naylampmechatronics.com/inalambrico/384-placa-de-desarrollo-para-esp32-nodemcu-32.html>.

3.3.4 Comparación entre Arduino Uno, Raspberry Pi 2 y ESP32

A continuación, se presenta una tabla comparativa con las características más importantes del Arduino y la Raspberry Pi.

Tabla 9. Cuadro comparativo entre Arduino Uno, Raspberry Pi 2 y ESP32

| Características | Arduino Uno | Raspberry Pi 2 | ESP32 |
|-------------------|-------------------|---|------------------------|
| Precio | \$23.500 | \$130.500 | \$39.000 |
| Tamaño | 7.6 X1.9 X 6.4 cm | 85,6 mm x 56 mm | 68x53 mm |
| Memoria | 2 KB SRAM | 1 GB SDRAM | 250 KB SRAM |
| Sistema Operativo | No tiene | Android, Raspbian, IoT Core, Windows 10 | No tiene |
| Entradas IO | 19 Pines GPIO | 40 Pines | 32 Pines GPIO |
| Velocidad | 16 MHz | 700 MHz | 60Mhz (máximo 240 Mhz) |

Fuente: Autor

De acuerdo al cuadro comparativo mostrado en la Tabla 9 se puede ver que la Raspberry Pi 2 presenta mejora en algunas características respecto a los otros dos sistemas embebidos, como la velocidad, la cantidad de pines y la memoria. Para la elección del sistema embebido se debe tener en cuenta cada una de las características y los beneficios que estas le darían el proyecto para así definir cuál es el más indicado.

Aunque el precio del Arduino uno es inferior al de los demás y se puede hacer la implementación y conexión de los sensores con este sistema operativo será necesario el uso de un módulo WiFi o un Adafruit FONA 3G para la conectividad con el repositorio en la nube, esto implica una configuración y un gasto adicional. Lo mismo pasa con la Raspbery Pi 2, es necesario el uso de un módulo adicional para realizar la conexión, y será necesario un conversor análogo/digital para la conexión de los sensores.

La placa ESP32 presenta un precio moderado y accesible, su tamaño es reducido al igual que las otras placas lo cual facilita su manipulación, presenta un conversor análogo/digital ya incorporado, su capacidad de memoria y velocidad permitirán realizar la implementación de todo el sistema y lo más importante para una aplicación IoT que es la conectividad, trae incorporado un módulo WiFi que facilitara la conectividad. Por esta razón el ESP32 es el sistema embebido más adecuado para realizar el prototipo para la medición de la calidad del agua.

4 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS PARA MONITOREAR LA CALIDAD DEL AGUA A TRAVÉS DE UN DISPOSITIVO IOT

Además de la información obtenida con base en la investigación desarrollada en los capítulos anteriores, se presentan a continuación algunos proyectos de referencia que también fueron fuente importante de información para el presente proyecto con el fin de determinar los parámetros fisicoquímicos del agua susceptibles de ser medidos y monitoreados a través de un dispositivo IoT, teniendo en cuenta la disponibilidad, precisión y costo de los sensores requeridos para tal fin.

4.1 COLOMBIA

- *Sistema de monitorización de ph y capacidad de pozos subterráneos en zonas rurales de Colombia, usando esquemas de internet de las cosas*

Este proyecto se basa en un sistema de monitorización que permite medir el ph y el volumen de los pozos subterráneos en zonas rurales de Colombia, para que los habitantes de estas zonas tengan el control y monitoreo en tiempo real de la calidad del agua de sus pozos subterráneos. La implementación de este proyecto buscaba la mejora en los procesos de riego y consumo de los agricultores.

El sistema de monitorización desarrollado constaba de diferentes componentes los cuales se encontraban en comunicación y así aseguraban el funcionamiento del mismo, cada uno de esos componentes cumplía una función específica en el sistema.

Se usó un sensor de pH el cual se ubicaba dentro del pozo en el momento de la medición y un sensor de ultrasonido en la parte superior del pozo, se realizan las capturas de los datos y estos eran enviados a una Raspberry Pi la cual se encargaba de analizar procesar y almacenar la información, a su vez la información era almacenada en un repositorio en la nube para que el dispositivo embebido no se saturara y se pudiera almacenar grandes cantidades de información, de esta manera el cliente podía ver una representación gráfica del estado de los pozos facilitando así la lectura de la información. [27]

- *Desarrollo de librería en python para control de instrucciones sobre el módulo de comunicaciones sim5320a*

En este proyecto se realiza la implementación de una solución de software frente a la no existencia de una librería en Python para gestionar un el módulo sim5320a, en carreras como Ingeniería de Telecomunicaciones se realizan aplicaciones que necesitan del uso de módulos de telefonía y comunicaciones y dentro de ese proceso se aprenden a usar diferentes protocolos y comandos para gestionar dichos dispositivos, con este proyecto se redujo la dificultad de ingresar comandos

repetitivos en la configuración y evitar la gestión tediosa y poco útil que esto conlleva.

El módulo Adafruit FONA 3G presenta características que normalmente cualquier celular puede tener y por esta razón las funcionalidades que se escogieron en este proyecto para ser abstraídas e implementadas fueron consumir servicios JSON-RESTful que soporte métodos HTTP GET, POST, PUT y DELETE, retornar mensajes de texto a una línea celular y obtener el IMEI del equipo. Con esta solución los proyectos que se basan en la recolección e información en campo y envió de la información por internet presentan una gran reducción en mano de obra en la configuración de la conexión a internet.

4.2 ESPAÑA

- *Desarrollo de un sistema de sensores para la detección de sustancias peligrosas*

En este proyecto se estudió, diseñó y evaluó un sistema de detección de sustancias peligrosas de bajo coste por medio de comunicación inalámbrica. Se desarrolló usando una plataforma de hardware Arduino, junto con software de código abierto, y esto generó una reducción considerable en los costos.

Se estudió el tipo de sustancias de riesgo que se pueden presentar en cualquier tipo de entorno, tanto laboral como doméstico y los sensores que actualmente se encuentran en el mercado, así como el tipo de hardware que ofrecen los Arduino.

Se realizó la implementación de tres subsistemas diferentes en los cuales se midieron tres parámetros diferentes que fueron amoníaco, dióxido de carbono y oxígeno.

Se creó una comunicación inalámbrica por medio de la cual un centro de control recibirá todos los datos medidos. Posterior a esto se realizó una adaptación en conjunto de todo el sistema, pero así mismo manteniendo la independencia en sus diferentes partes para que fuese posible adaptarse a diferentes parámetros de medición y poder trabajar en diferentes entornos.

Se comprobó el funcionamiento de los subsistemas del proyecto, y se verificó la comunicación inalámbrica durante el envío de los tres parámetros. El proyecto concluyó con la implementación y el diseño de una interfaz de tiempo real para la estación de control, mostrando esta información a los usuarios. [28]

Este proyecto aportó una forma de hacer la comunicación inalámbrica y él envió de la información de los parámetros.

4.3 ÁFRICA

- *Diseño e implementación de un sistema distribuido de IoT para el monitoreo de la calidad del agua en acuicultura*

Por medio de la universidad de Pretoria realizaron el diseño y desarrollo de un sistema de monitoreo de la calidad del agua con el objetivo de notificar al usuario los parámetros de calidad del agua en tiempo real. El sistema es capaz de medir los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua, tales como el flujo, la temperatura, el pH, la conductividad y el potencial de reducción de la oxidación. Estos parámetros fisicoquímicos se utilizan para detectar contaminantes del agua. Los sensores, que están diseñados desde los primeros principios e implementados con circuitos de acondicionamiento de señales, están conectados a un nodo de medición basado en micro controladores, el cual procesa y analiza los datos. En este diseño, los módulos de receptor y transmisor ZigBee se utilizan para la comunicación entre los nodos de medición y notificación. El nodo de notificación presenta la lectura de los sensores y emite una alerta de audio cuando los parámetros de calidad del agua alcanzan niveles inseguros. Se realizaron varias pruebas de calificación para validar cada aspecto del sistema de monitoreo. Se mostró que los sensores funcionan dentro de los rangos de precisión deseados. [29]

El proyecto aporta información sobre parámetros fundamentales en el monitoreo de la calidad del agua y el tipo de sensores que pueden ser usados para la implementación en el prototipo de medición.

4.4 CHINA

- *Investigación sobre la colocación del sensor de calidad del agua en sistemas de distribución de agua.*

La colocación del sensor de calidad del agua se refiere a la disposición de los sensores de calidad del agua en los sistemas de distribución de agua para probar el contaminante. El problema de optimización es esencialmente un tipo de problema de optimización combinatoria a gran escala. En la actualidad, muchos proyectos se reducen al problema de cubrimiento del conjunto o cobertura máxima. En este trabajo se consideró de manera exhaustiva la característica de cubrimiento y el problema de cubrimiento máximo del conjunto. El objetivo de optimización fue maximizar la probabilidad de detección y su disposición óptima y minimizar el número de sensores de calidad de agua en la red. Se dio la relación entre la probabilidad de detección y el número de sensor de calidad del agua para proporcionar algún soporte técnico para el sistema de alerta temprana y monitoreo. [30]

El proyecto aportó la información sobre cómo se debe realizar la medición de los parámetros, y como se debe ubicar el prototipo al momento de realizar las mediciones para así obtener buenos resultados en el momento de la medición.

4.5 DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS A MEDIR

Después de realizada la investigación pertinente sobre los parámetros más importantes en la determinación de la calidad del agua, la disponibilidad de los sensores y las características del sistema embebido para el diseño del dispositivo IoT, se definió que los parámetros a medir serán: Temperatura, pH, turbidez, oxígeno disuelto y conductividad.

El pH es considerado el parámetro más importante para la medición de la calidad del agua pues este indica el nivel de acidez que tiene el agua, la turbidez por su parte indica la cantidad de material suspendido que se encuentra en el agua y la temperatura que aunque puede considerarse un parámetro que no es necesario en la medición de la calidad del agua es uno de los más importantes ya que cuando el agua no se encuentra en niveles de temperatura adecuados se pueden presentar aceleraciones o retardos en la actividad biológica es decir que pueden llegar a aparecer bacterias que pueden generar consecuencias en la calidad que va a presentar el agua.

Los sensores considerados para realizar la medición serán DS18D20, DFROBOT PH, CNY70 ya que son accesibles por su precio y se encuentran disponibles en el mercado.

No obstante, en el caso del oxígeno disuelto y la conductividad solo se incluirán en el diseño dado el costo de los sensores para el desarrollo del prototipo inicial, por lo cual queda descartada su implementación en la fase actual del desarrollo del proyecto.

5 DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO

En el presente capítulo se describen las características, diseño e implementación de los diferentes sistemas que hacen parte del sistema de monitoreo.

5.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE MONITOREO

El sistema de monitoreo consta de diferentes componentes los cuales se encuentran en comunicación entre sí para así asegurar el funcionamiento del sistema. Cada uno de estos componentes cumple con una tarea y rol específico en el sistema teniendo en cuenta la especialidad que estos tengan.

Los sensores usados en el sistema se encuentran ubicados dentro de la instalación de captación escogida para la medición. Los sensores de turbidez, pH y temperatura se encuentran en contacto con el agua, estos realizan la captura de los datos y posterior a esto pasan por el ESP32 para que finalmente la información se visualice en un repositorio en la nube por medio de la comunicación entre internet y el módulo ESP32.

El sistema cuenta con un módulo GPS el cual indica las coordenadas (latitud y longitud) para saber la posición exacta del pozo al cual se le está realizando la medición, y así como los sensores esta información también es visualizada en el repositorio en la nube.

La finalidad de visualizar los datos en un repositorio en la nube es para permitir darle un mejor análisis a la información ya que la lectura de los datos por parte del campesino va a ser más sencilla.

En la Figura 8 se puede observar el escenario en el que será usado el sistema de monitoreo.

Figura 8. Escenario del sistema de monitoreo



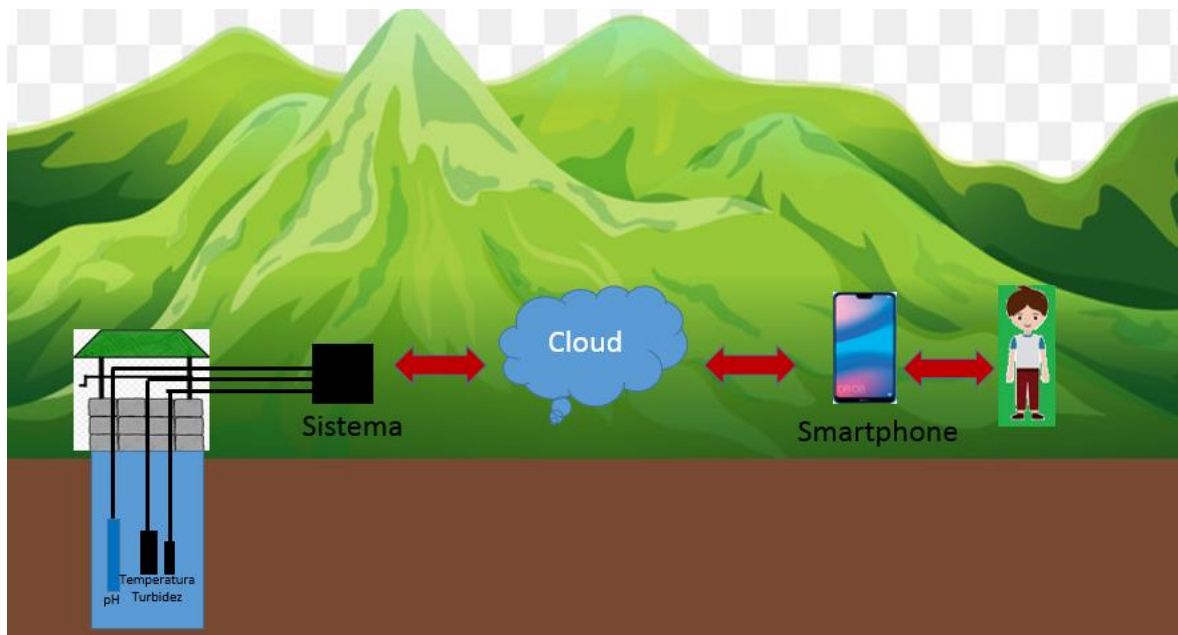
Fuente: Autor

Enseguida se explicará a detalle los diferentes subsistemas que conforman el sistema de monitoreo. Como se vio anteriormente existen diferentes sistemas embebidos que tienen sus características correspondientes para determinados usos. El ESP32 Arduino es el sistema embebido usado en el proyecto y por su arquitectura orientada a objetos permite la inclusión de los sensores de pH, turbidez, temperatura como también permite la implementación del GPS, ya que se utiliza un sistema operativo adaptable para todos los requisitos.

5.2 SISTEMA DE MONITOREO

El sistema de monitoreo propuesto en el presente proyecto cuenta con un subsistema de captura el cual es el encargado de recolectar los datos obtenidos dentro del pozo por los sensores de pH, turbidez y temperatura en un tiempo de 5 a 10 segundos. El ESP32 permite que los datos obtenidos sean enviados de manera inmediata a un repositorio en la nube por medio del protocolo MQTT para posteriormente ser tratados y así evitar la saturación del sistema embebido. El sistema finalmente cuenta con un componente del usuario que se basa en el análisis de la información por medio de la visualización de los datos en una interfaz web. En la Figura 9 se muestra el sistema propuesto.

Figura 9. Sistema de Monitorio



Fuente: Autor

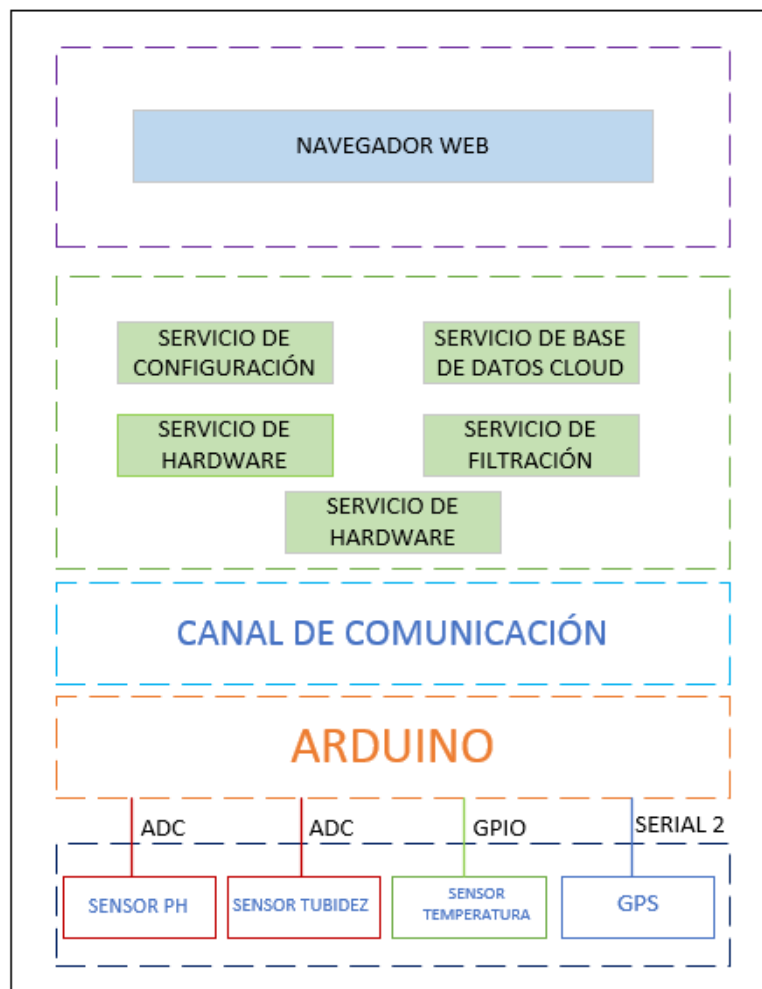
Ya que la comunicación del sensor se basa en internet, el sistema cuenta con un módulo WiFi integrado al sistema embebido que permite la entrada y salida de información del sistema, y gracias a las conexiones de hardware en el sistema embebido y las respectivas configuraciones realizadas dentro del sistema operativo es posible esta comunicación.

5.2.1 Subsistema de Captura

En este subsistema se encuentra la implementación física de cada uno de los sensores y la programación requerida para obtener los datos en tiempo real de una manera eficiente. Cada uno de los sensores usados en la conexión del sistema cuenta con un programa para medir y obtener los valores de temperatura, turbidez, pH y las coordenadas del GPS.

En la Figura 10 se puede observar la arquitectura del sistema de captura.

Figura 10. Arquitectura subsistema de sensores



Fuente: Autor

La arquitectura de captura de datos por parte de los sensores consta de cinco niveles que se explican a continuación.

- Hardware: En esta primera capa se encuentran los sensores de pH, turbidez, temperatura y el GPS que se encuentran comunicados con la capa

superior por medio de los pines análogos y digitales que presenta el sistema embebido.

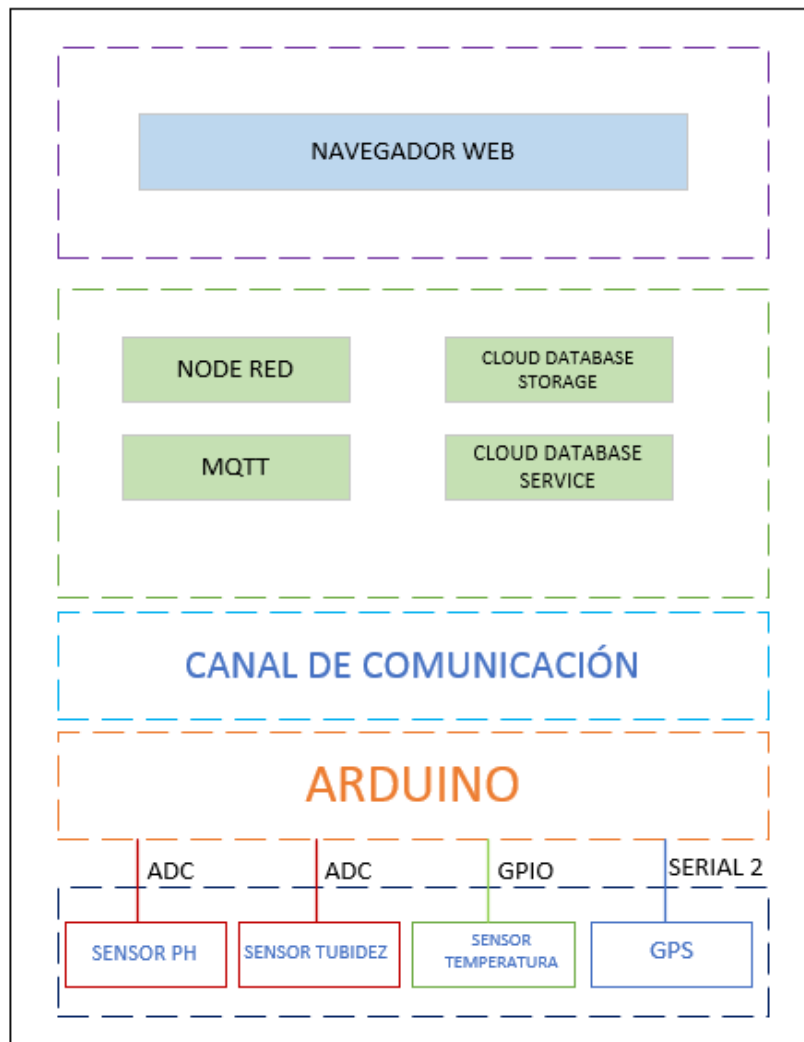
- Sistema Operativo: Se usó el software Arduino que se puede ejecutar en sistemas operativos como Windows, GNU/Linux y Macintosh OSX, en este caso fue sobre Windows.
- Canal de Comunicación:
- Servicios: En esta capa se encuentra la programación que se requirió para todo el sistema y los diferentes servicios que hacen parte de este que son:
 - ✓ Servicio de configuración: Es el encargado de verificar la configuración del sistema embebido.
 - ✓ Servicio de Hardware: Verifica que los sensores se encuentren correctamente conectados.
 - ✓ Base de datos Cloud: Es el servicio encargado de validar la conexión entre el sistema embebido y el repositorio en la nube en el cual se inserta la información que capturan los sensores.
 - ✓ Filtración de la Información: Este servicio realiza la filtración de los datos capturados de acuerdo a los rangos establecidos para el consumo humano, animal y riego de cultivos.
 - ✓ Servicio de Alerta: Este servicio permite enviar el mensaje de alerta al cliente, para ser visualizado posteriormente en una interfaz web.
- Aplicación: Navegador web.

5.2.2 Subsistema Cloud

En este subsistema se usó MQTT que es un protocolo usado para la comunicación en IoT, este protocolo se basa en la comunicación de sensores ya que consume poco ancho de banda. La comunicación se basa en “Topics” que son las variables que se miden en el sistema embebido, en este caso fueron Prueba/Temperatura, Prueba/PH, Prueba/GPS y Prueba/Turbidez, en este subsistema se almacenan los datos obtenidos por medio de los sensores para posteriormente ser visualizados en la interfaz web.

En la Figura 11 se observa la arquitectura del sistema Cloud. El subsistema Cloud presenta en su arquitectura niveles que anteriormente fueron mencionados como el de Hardware, Sistema Operativo y Canal de Comunicación, en el nivel de servicios se encuentran servicios como el MQTT y NODE RED que serán descritos a continuación.

Figura 11. Arquitectura del subsistema Cloud



Fuente: Autor

- MQTT: Este es el protocolo Message Queue Telemetry Transport que es usado para la comunicación con el repositorio y posibilita la posterior visualización de los datos por medio del servidor IBM Bluemix.
- NODE RED: Esta herramienta permite crear el flujo de todo el servicio por medio del protocolo MQTT, además es una hermanita visual y ligera programada en NodeJS y ejecutada en la plataforma IBM Bluemix.
- Lectura y escritura en base de datos Cloud: Este servicio inserta y lee los registros de los datos capturados para poder ser manejados posteriormente por otros servicios.

En la Figura 12 se ilustra un ejemplo de la configuración de la conexión WiFi y la configuración de la cuenta MQTT Cloud.

Figura 12. Ejemplo configuración del sistema Cloud

```
//CONFIGURACION WIFI -----  
const char* ssid = "Angee";  
const char* pass = "123456789";  
  
//const char* ssid = "Daniel";  
//const char* pass = "20nov2004";  
  
//const char* ssid = "ALIENWARE";  
//const char* pass = "Udistrital2018";  
//CONFIGURACION BROKER -----  
  
// configuracion de la cuenta de cloud MQTT  
const char* mqtt_server = "m13.cloudmqtt.com";  
const uint16_t mqtt_port = 12631;  
const char *mqtt_user = "kfzdittr";  
const char *mqtt_pass = "p_Gdp0DzAwvK";  
  
//-----
```

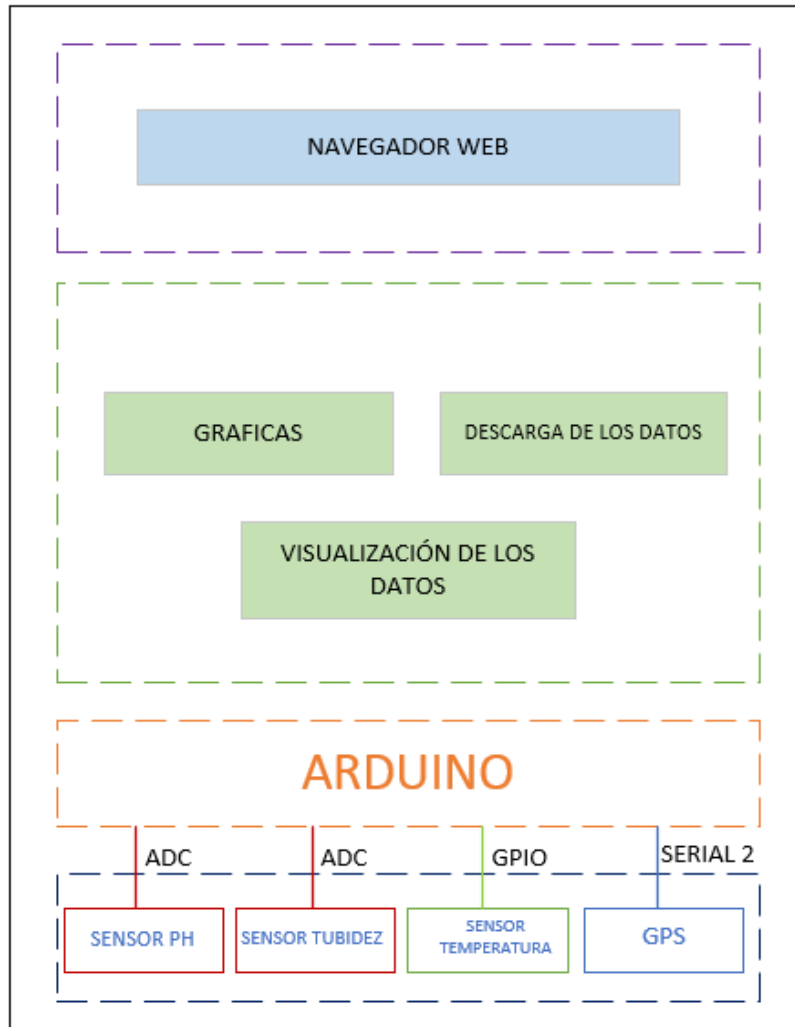
Fuente: Autor

5.2.3 Subsistema de Visualización

Por medio del programa Node-Red se realizó el flujo para visualizar, tratar y posteriormente leer las variables, este flujo se realizó de forma local y posteriormente se debe alojar en la nube “IBM Bluemix” que es un servidor que ofrece diferentes editores y se encuentra incluido Node-Red, de esta manera se sube el flujo realizado anteriormente de forma local. El servidor IBM Bluemix nos habilita un Dashboard con su respectiva URL que será la interfaz en la que se visualizará de forma gráfica los datos capturados por los sensores. En la Figura 13 se puede observar la arquitectura del sistema de visualización.

El subsistema de visualización es el encargado de graficar y reportar en tiempo real los datos capturados por los sensores.

Figura 13. Arquitectura del sistema de visualización



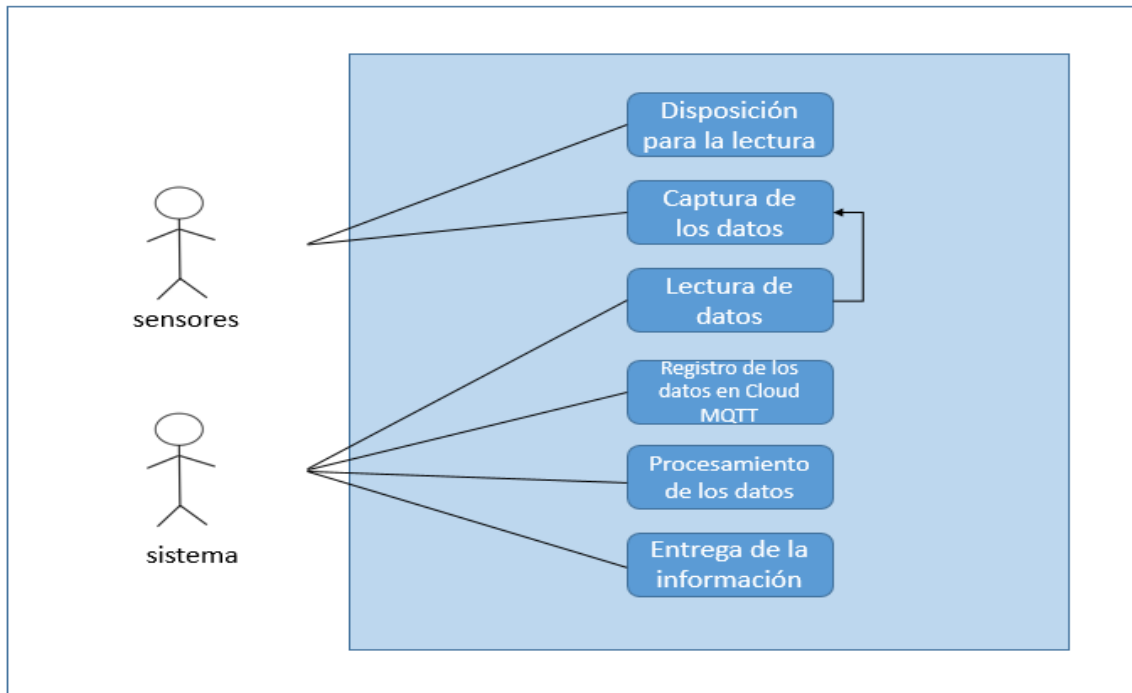
Fuente: Autor

5.3 INTERACCIONES DEL SISTEMA CON EL USUARIO

En el presente numeral se describirá e ilustrará el funcionamiento y las actividades paso a paso que tiene el sistema de monitoreo.

En la Figura 14 se ilustrarán los casos de uso de las posibles interacciones que tenga el sistema de captura.

Figura 14. Casos de uso del sistema de captura



Fuente: Autor

El siguiente esquema permite ver el paso a paso o flujo que tiene el sistema de monitoreo permitiendo comprender el funcionamiento completo de este y la interacción que tienen cada uno de los subsistemas para finalmente lograr el reporte de la información.

En la Figura 15 se ilustra el diagrama de flujo que explica el funcionamiento del sistema de monitoreo.

Figura 15. Diagrama de Flujo del Sistema de Monitoreo



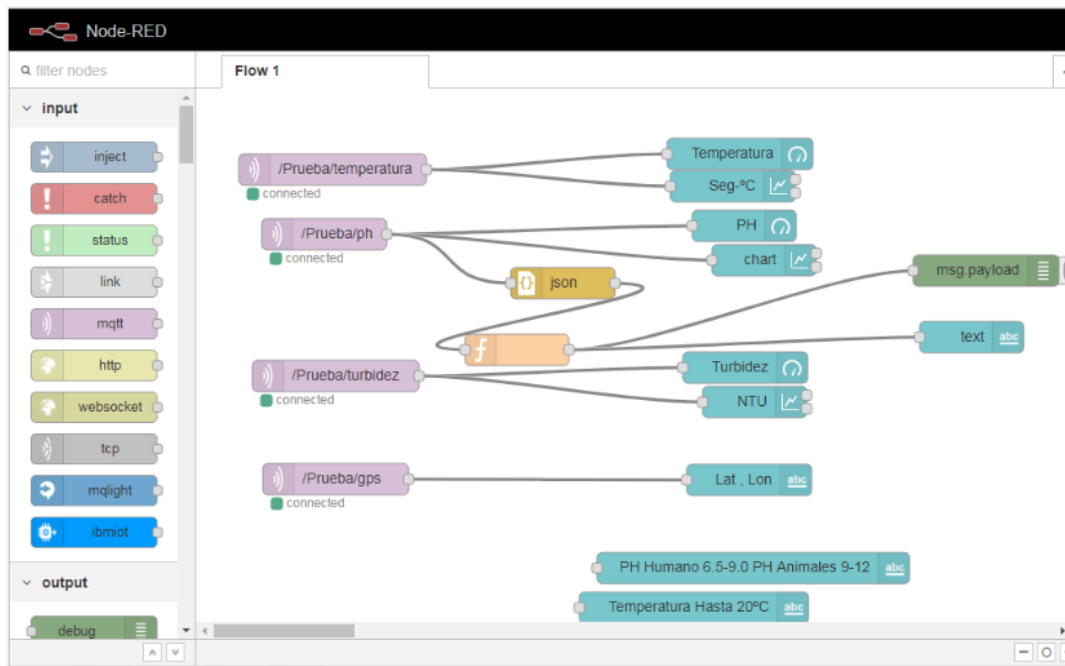
Fuente: Autor

5.4 FLUJO DEL SISTEMA CON NODE-RED

NODE RED es una herramienta de código abierto desarrollada por IBM que permite la creación del flujo del sistema de monitoreo por medio de protocolos

estándares como el MQTT.⁴² Se trabaja sobre una interfaz HTML que facilita la conexión entre nodos y así definir el flujo de un servicio, así mismo permite la conexión de dispositivos hardware, API's y servicios en línea. En la Figura 16 se muestra un ejemplo del flujo del sistema.

Figura 16. Flujo del Sistema



Fuente: Autor

⁴² NODE-RED. Ricardo Vega. 2015. Disponible En: <https://ricveal.com/blog/node-red-construye-el-internet-de-las-cosas/>

6 ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS A USAR EN EL SISTEMA DE MONITOREO

En el presente capítulo se especificarán y analizarán los elementos a usar en el sistema de monitoreo teniendo en cuenta los parámetros posibles a medir y la disponibilidad de sensores para realizar la medición.

6.1 PROS Y CONTRAS DE UN SISTEMA DE MONITOREO FIJO Y UNO MÓVIL

| Sistema de Monitoreo Fijo | Sistema de Monitoreo Móvil |
|---|---|
| Pros | Pros |
| <ul style="list-style-type: none"> • El usuario no tiene que acercarse al pozo para realizar la medición. • El monitoreo se realiza de forma constante. • El usuario puede ingresar a la interfaz web en el momento que lo desee para visualizar el estado del pozo. | <ul style="list-style-type: none"> • El usuario podrá utilizar el dispositivo de medición en diferentes pozos sin la necesidad de tener uno para que realice la medición en cada uno de los pozos que se tengan en la finca. • La fuente de energía del dispositivo se puede cargar fácilmente como un celular ya que es una fuente portátil. • El usuario puede realizar la medición de la calidad del agua en el momento que él lo necesite. |
| Contras | Contras |
| <ul style="list-style-type: none"> • Aunque la fuente de energía del dispositivo tiene una vida más larga, en el momento que esta termine debe cambiarse la fuente de forma completa. | <ul style="list-style-type: none"> • El usuario deberá acercarse al pozo para poder realizar la medición. |

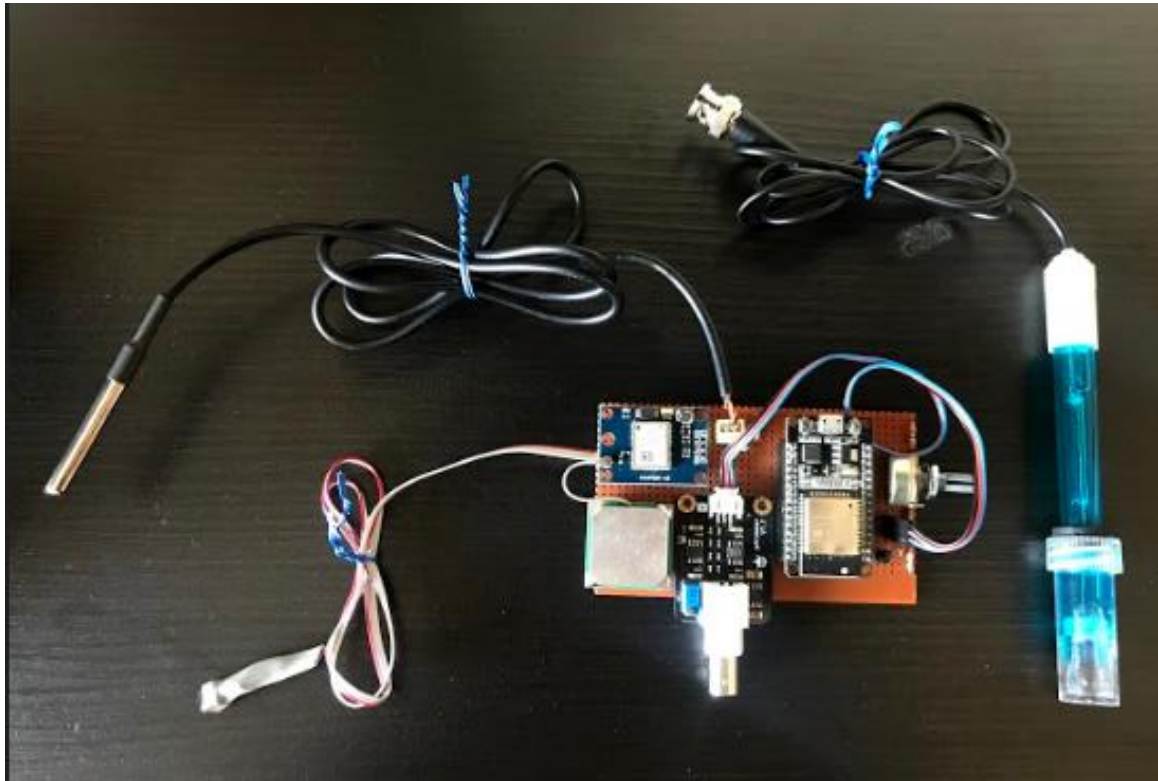
Fuente: Autor

La elección para este proyecto fue el dispositivo móvil ya que les permitirá a los campesinos usar un único dispositivo para medir la calidad del agua de diferentes pozos sin la necesidad de tener un dispositivo de medición para cada uno de ellos y la forma sencilla de cargar la fuente de poder portátil del dispositivo le permite al cliente cargarlo desde su casa cada vez que sea necesario.

6.2 HARDWARE UTILIZADO EN EL SISTEMA DE MONITOREO

En la Figura 17 se ilustran los requerimientos de hardware que se requieren para el sistema de monitoreo, como el sistema embebido ESP32, sensores de turbidez, pH, temperatura y modulo GPS.

Figura 17. Hardware requerido para el sistema de monitoreo



Fuente: Autor

En seguida se especificada uno a uno los sensores seleccionados para usar en el sistema de monitoreo, para su elección se tuvo en cuenta sus características, disponibilidad y precio.

6.2.1 ESP32 Arduino

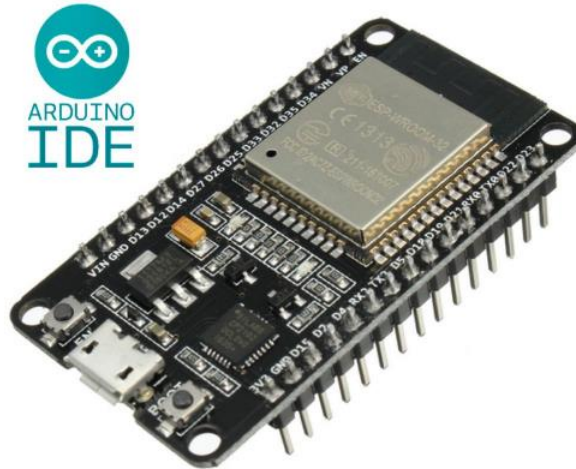
ESP32 es un sistema de bajo costo y bajo consumo de energía en un microcontrolador chip con Bluetooth de modo dual y Wi-Fi integrado, presenta la inclusión de un segundo procesador, esto quiere decir que tiene dos núcleos. ESP32 ofrece la posibilidad de utiliza Bluetooth Low Energy lo que lo hace atractivo para los proyectos de IoT.⁴³ Presenta una expansión en el número de GPIOs lo cual brinda mayor cantidad de pines de lecturas digitales y análogas e

⁴³ Novedades Arduino. Aprendiendo Arduino. 2016. Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/esp32/>.

incluye dos pines de salida digital y análoga que son muy útiles para realizar proyectos con audio. [31]

Poseer un segundo núcleo le permite manejar por defecto los eventos de WiFi sin tener que detener otras actividades, y también brinda la ventaja de poder utilizar mayor cantidad de sensores de lectura análoga sin necesidad del uso de multiplexores.⁴⁴ En la Figura 18 se ve una imagen del ESP32.

Figura 18. ESP32



Fuente: Playing with the ESP32 on Arduino IDE. Obtenida de: <https://www.instructables.com/id/IOT-Made-Simple-Playing-With-the-ESP32-on-Arduino-/>.

En la Tabla 10 se ven las especificaciones técnicas del ESP32.

Tabla 10. Características técnicas del ESP32.

| Características | ESP32 |
|------------------------------|--|
| Procesador | Tensilica Xtensa LX6 32 bit DualCore a 160 MHz (hasta 240 MHz) |
| Memoria RAM | 520 KB |
| Memoria Flash | Hasta 16 MB |
| ROM | 448 KB |
| Alimentación | 2.2 a 3.6 V |
| Consumo de Corriente | -40°C a 125°C |
| Coprocesador de bajo consumo | Si, consumo inferior a 150µA. |
| WiFi | 802.11 b/g/h (hasta+20 dBm) WEP, WPA |
| Bluetooth | Si |
| GPIO | 11 |
| PWM | 16 |
| ADC | 18 (12 bit) |
| ADC con preamplificador | Si, bajo ruido, hasta 60 dB. |
| DAC | 2 (8 bit) |

⁴⁴ Ibid.

| Características | ESP32 |
|--------------------------|-------------------------|
| I2S | 2 |
| CAN bus | 1 x 2.0 |
| Ethernet | 10/100 Mbps MAC |
| Temporizadores | 4 (64 bits) |
| Encriptación de hardware | Si (AES, SHA, RSA, ECC) |
| Arranque seguro | Si |
| Precio | |

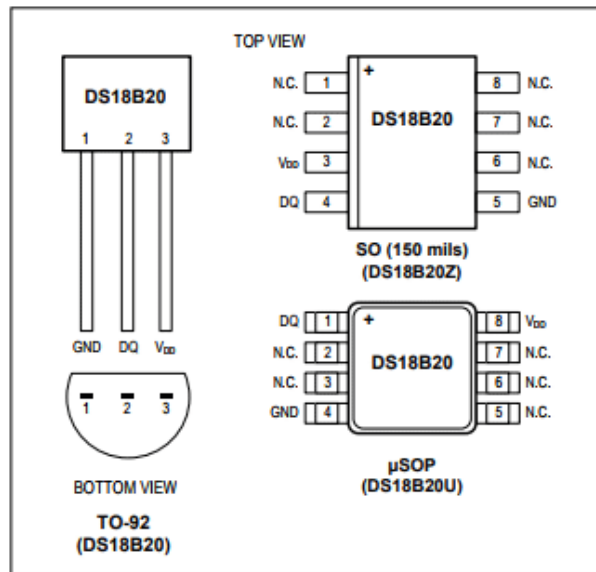
Fuente: Playing with the ESP32 on Arduino IDE. Obtenida de: <https://www.instructables.com/id/IOT-Made-Simple-Playing-With-the-ESP32-on-Arduino-/>.

6.2.2 Sensor de Temperatura DS18B20

El sensor DS18B20 es uno de los más versátiles que hay en el mercado actualmente, es el sensor idóneo para medir la temperatura dentro del agua o en ambientes húmedos debido a que cuenta con una sonda impermeable que permite que sea sumergido. El sensor cuenta con librerías que permiten una programación sencilla.

Este sensor cuenta con diferentes formas que dependen de donde se vayan a usar, estas formas o encapsulados son TO-92, μ SOP y SO, la usada para el arduino y la TO-92 ya que permite una facilidad en la conexión. En la Figura 19 se pueden observar las configuraciones de los pines. [32]

Figura 19. Configuración de los pines



Fuente: DS18B20 sensor de temperatura para líquidos con Arduino. Programarfácil. Obtenida de: https://programarfácil.com/blog/arduino-blog/ds18b20-sensor-temperatura-arduino/#Caracteristicas_tecnicas_del_sensor_DS18B20.

Enseguida se ven en la Tabla 11 las principales características del sensor DS18B20.

Tabla 11. Características del sensor de temperatura DS18B20.

| Característica | VALOR |
|-------------------------|--|
| Sensor de temperatura | DS18B20 |
| Voltaje de alimentación | 3V a 5,5V |
| VDD | voltaje de alimentación |
| GND | Tierra |
| DQ | Datos |
| Rango de temperaturas | -55°C a 125°C |
| Error (-10°C a 85°C) | ±0,5°C |
| Error (-55°C a 125°C) | ±2°C |
| Resolución programable | 9-bit, 10-bit, 11-bit o 12-bit (default) |
| Precio | 15.000 |

Fuente: DS18B20 sensor de temperatura para líquidos con Arduino. Programarfacil. Obtenida de: https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ds18b20-sensor-temperatura-arduino/#Caracteristicas_tecnicas_del_sensor_DS18B20.

En la Figura 20 se ve la ilustración del sensor DS18B20.

Figura 20. DS18B20



Fuente: Autor

6.2.3 Sensor DFROBOT PH

Este es un sensor diseñado para ser usado en líquidos que consta de un módulo conector el cual indica el nivel de energía que tiene el sensor por medio de diodos led, el funcionamiento de este sensor se da por medio de electrodos. En la Tabla 12 que se encuentra a continuación se muestran las características del sensor DFRobot pH.

Tabla 12. Características del sensor DFRobot pH

| Característica | Valor |
|---------------------|----------------|
| Tiempo de respuesta | Hasta 1 minuto |
| Error | ± 0.01 pH |
| VCC | 5V |
| Alcance | 0-14 |
| Dimensiones | 43mmx32mm |
| Precio | 150.000 |

Fuente: Autor.

En la Figura 21 se muestra la ilustración del sensor DFRobot pH.

Figura 21. Sensor DFRobot pH



Fuente: Analog pH Sensor Meter Kit For Arduino.DFROBOT. Obtenida de: <https://www.dfrobot.com/product-1025.html>.

6.2.4 Sensor Infrarrojo CNY70

Es una solución compacta en la que la fuente de luz (diodo emisor) y el detector (fototransistor) se montan en la misma dirección. La detección de los objetos se da por medio de la reflexión del haz infrarrojo en la superficie de los objetos. Puede utilizarse como entrada analógica o digital. [33] En la Tabla 13 se presentan las características del sensor CNY70.

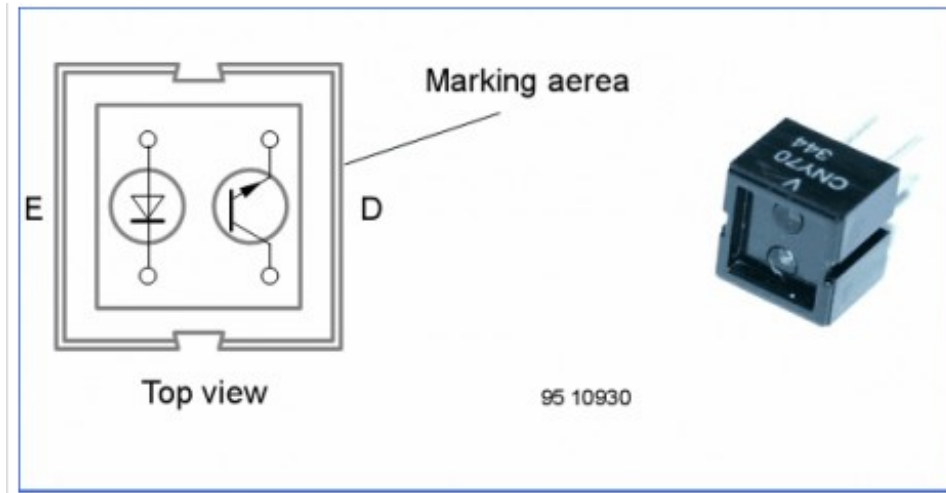
Tabla 13. Características Sensor CNY70.

| CARACTERÍSTICAS | VALOR |
|-----------------------------|----------------|
| Método de censado | Reflectivo |
| Voltaje | 5V |
| Corriente del colector (Ic) | 50 mA |
| Tipo de salida | Fototransistor |
| Temperatura de Operación | -40 °C a 85 °C |
| Consumo aproximado | 200 mW |
| Precio | 20.000 |

Fuente: Autor

En la Figura 22 se muestra la imagen y el datasheet del sensor CNY70.

Figura 22. Sensor Infrarrojo CNY70



Fuente: Sensor Infrarrojo CNY70. MIT MOVILTRONICS. Obtenida de: <https://moviltronics.com.co/sensores/95-sensor-cny70.html>.

6.2.5 GPS GY-GPS6MV2

Este módulo GPS consta de un módulo U-Blox NEO 6M, una EEPROM, una pila de botón que permite mantener los datos de configuración en la memoria EEPROM, una antena cerámica y un LED indicador. Presenta cuatro pines o conectores que son Rx, Tx, Vcc y Gnd que permite la conexión con un microcontrolador por medio de una interfaz serial, es muy útil en usar en ambientes abiertos por la correcta recepción de la señal.⁴⁵ [34] En la Figura 23 se muestra la imagen del GPS GY-GPS6MV2.

⁴⁵ Tutorial Modulo GPS con Arduino. Naylamp Mechatronics. Disponible en: https://naylampmechatronics.com/blog/18_Tutorial-M%C3%B3dulo-GPS-con-Arduino.html.

Figura 23. GPS GY-GPS6MV2



Fuente: Guide to NEO-6M GPS Module with Arduino. RANDOM NERD TUTORIALS. Disponible en: <https://randomnerdtutorials.com/guide-to-neo-6m-gps-module-with-arduino/>.

6.2.6 Sensor de oxígeno disuelto SEN0237-A

Este es un sensor compatible con el microcontrolador Arduino, se diseñó para ser utilizado en la medición de oxígeno disuelto en el agua y es usado en aplicaciones como monitoreo ambiental, acuicultura y ciencias naturales. La sonda permite tomar los datos de forma inmediata y la señal de salida del sensor es fácil de acoplar a sistemas de control o detección.⁴⁶ [35] En la Figura 24 se ilustra el sensor SEN0237-A.

Figura 24. Sensor SEN0237-A



Fuente: Sensor SEN0237-A. Sigma Electrónica. Obtenida de: <https://www.sigmaelectronica.net/producto/sen0237-a/>.

⁴⁶ SEN0237. Sigma Electrónica. Disponible en: <https://www.sigmaelectronica.net/producto/sen0237-a/>.

En la Tabla 14 se especifican las características del sensor de oxígeno disuelto SEN0237-A.

Tabla 14. Características del sensor Oxígeno Disuelto SEN0237-A

| CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS |
|---|
| Sonda de calidad que no necesita tiempo de polarización |
| Solución química reemplazable en el cabezal de bajo mantenimiento |
| Compatible con voltajes de 3.3-5V presente en la mayoría de Arduinos y microcontroladores |
| Salida análoga de 0~3V para acoplar con todo tipo de conversores A/D |
| Interface Plug and Play |
| Vida útil del electrodo: 1 Año en uso normal |
| Longitud del cable: 2 metros |
| Conector de la sonda tipo BNC |
| Rango de presión máxima de trabajo 50PSI |
| Precio: 750.000 |

Fuente: Autor

6.2.7 Sensor de conductividad DFR0300

Medidor analógico de conductividad eléctrica en soluciones acuosas, es usado en monitoreo de calidad del agua, cultivos de peces y cultivos hidropónicos. Este sensor soporta un voltaje de alimentación de 3 a 5 VDC lo cual lo hace un sensor compatible con gran cantidad de microcontroladores. En la Figura 25 se ilustra el kit del sensor DFR0300. [36]

Figura 25. Sensor DFR0300



Fuente: Sensor DFR0300. Sigma Electrónica. Obtenida de: <https://www.sigmaelectronica.net/producto/dfr0300/>.

En la Tabla 15 se especifican las características técnicas del sensor DFR0300.

Tabla 15. Características técnicas del sensor DFR0300

| CARACTERÍSTICA | VALOR |
|----------------------------------|-------------|
| Voltaje de Operación | 3.0 ~ 5VDC |
| Voltaje de salida | 0~3.4V |
| Rango de medición | 0~20ms/cm |
| Rango de detección recomendado | 1~15ms/cm |
| Temperatura de operación | 0 a 40°C |
| Precisión | ±5% |
| Longitud del cable del Electrodo | 100cm aprox |
| Precio | 340.000 |

Fuente: Autor

Con la finalización de este capítulo, se procede a la implementación y prueba del sistema en el municipio de Tibaná Boyacá.

7 IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA DE MONITOREO

En el presente capítulo se mostrarán los recursos necesarios para la implementación del sistema, como las librerías usadas para la captura de la información, el circuito completo del sistema de monitoreo, y las pruebas realizadas en zona rural del municipio de Tibaná Boyacá.

En la Figura 26 se encuentran las librerías usadas en el sistema que permitieron la captura de los parámetros, la conectividad del mismo.

Figura 26. Librerías usadas en el Sistema

```
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <TinyGPS.h>
```

Fuente: Autor

En seguida se especifican cada una de las librerías usadas en el Sistema.

- WiFi: Permite la conexión de la placa ESP32 con Internet y puede funcionar como un servidor que acepta conexiones entrantes o por el contrario como un cliente que realiza conexiones salientes. Esta librería permite el cifrado WEB y WPA2⁴⁷ [37].
- PubSubClient: Proporciona un cliente para realizar mensajes simples de publicación/suscripción con un servidor que admite MQTT⁴⁸ [38].
- OneWire: Le permite acceder a dispositivos de 1 cable fabricados por Maxim / Dallas, como sensores de temperatura y trabajar de la mano con la librería DallasTemperature⁴⁹ [39].
- DallasTemperature: Esta librería es usada para soportar dispositivos como los DS18B20, DS18S20, DS1822, DS1820 y MAX31820 y permite que el uso de estos sensores sea más sencillo.
- SoftwareSerial: La librería SoftwareSerial permite la comunicación en serie entre pines digitales del Arduino, por medio de un software que replica la

⁴⁷ WiFi Library. Arduino. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Reference/WiFi>.

⁴⁸ Knolleary/pubsubclient. GitHub. Disponible en: <https://github.com/knolleary/pubsubclient>.

⁴⁹ OneWire Library. PJRC. Disponible en: https://www.pjrc.com/teensy/td_libs_OneWire.html.

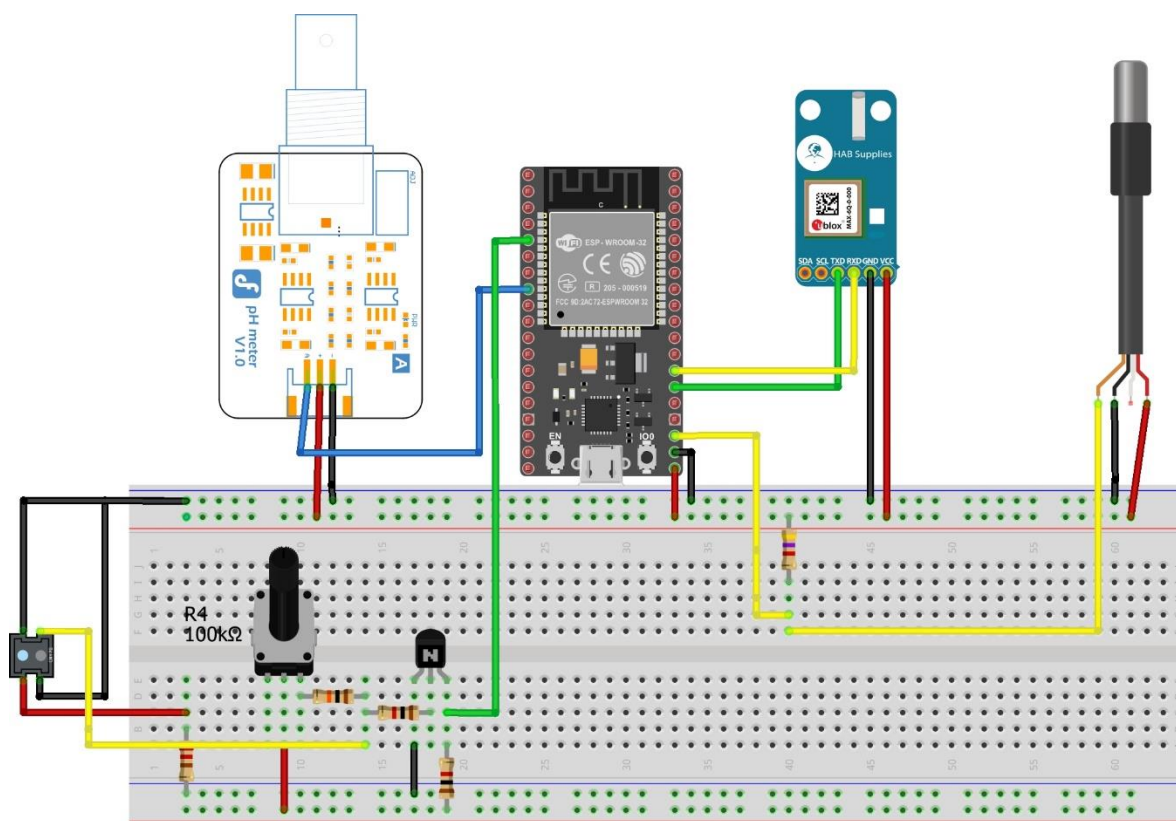
funcionalidad. Con esta librería es posible tener diferentes puertos en serie con velocidades de hasta 115200bps⁵⁰.

- TinyGPS: Esta librería le permite al usuario Arduino obtener la posición, fecha, altitud, velocidad, hora y rumbo manteniendo un bajo consumo de recursos. [40]

7.1 CIRCUITO DEL SISTEMA DE MONITOREO

En la Figura 27 se muestra el circuito con cada uno de los elementos que hacen parte del sistema.

Figura 27. Circuito



Fuente: Autor

En la imagen anterior se ilustra el montaje físico que se requirió para el sistema el cual consta del sistema embebido ESP32, sensor de temperatura DS18D20, sensor de pH DF Robot PH, sensor infrarrojo CNY70, una antena GPS GY-GPS6MV2, además de estos elementos de hardware se utilizaron elementos como resistencias, transistores, protoboard, y caudín.

⁵⁰ TinyGPS. Arduiniana. Disponible en: <http://arduiniana.org/libraries/tinygps/>.

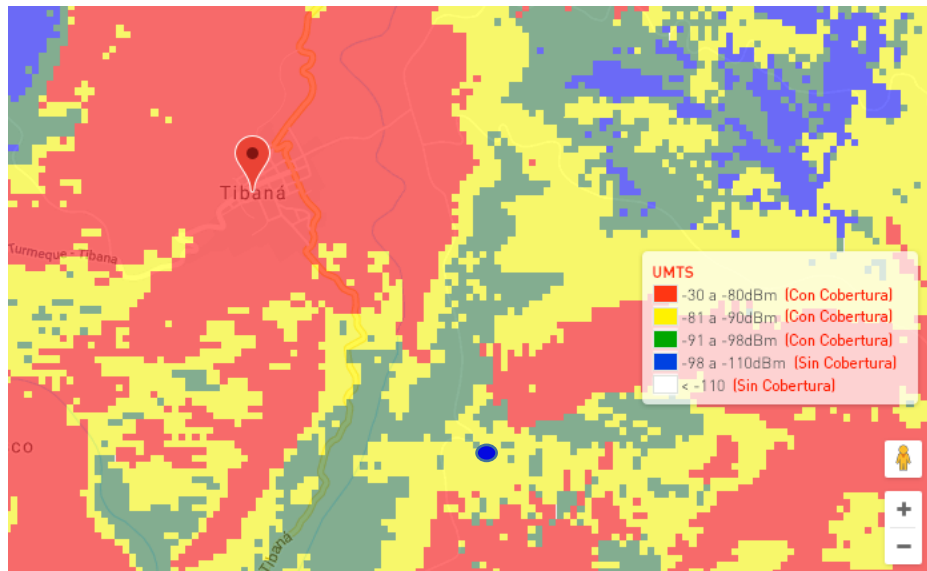
7.2 COBERTURA DE RED

Para poder realizar la implementación del sistema de medición se debía contar con cobertura del sistema de datos/Internet del operador claro en este caso en específico, ya que así se podrá realizar la conexión WiFi con el sistema embebido.

En las siguientes imágenes se podrá observar la cobertura que tiene el operador Claro en el municipio de Tibaná Boyacá con las tecnologías 3G Y 4G.

La Figura 28 ilustra la cobertura 3G que tiene el operador Claro en el municipio de Tibaná Boyacá.

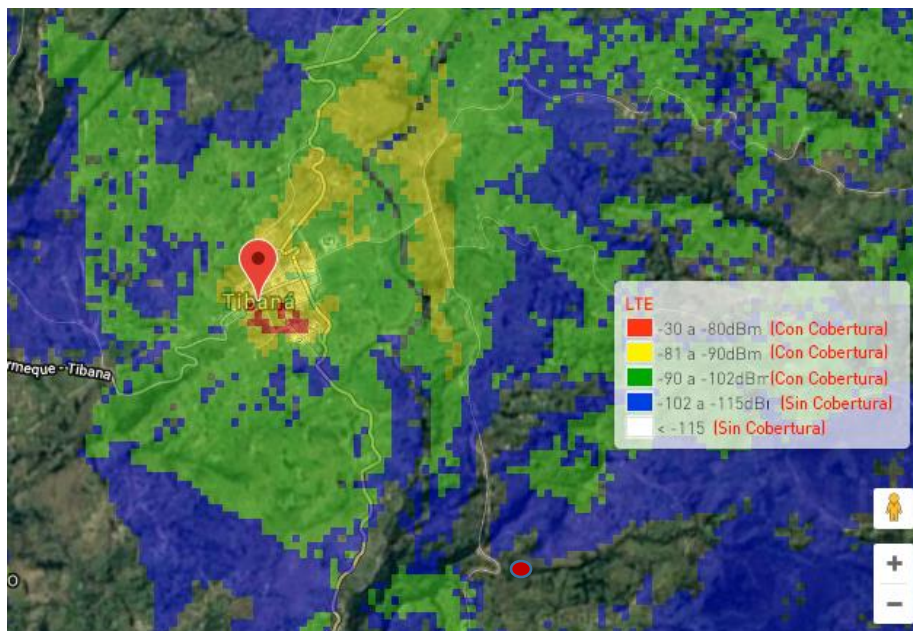
Figura 28. Cobertura 3G del Operador Claro en Tibaná Boyacá



Fuente: Cobertura soluciones Móviles. Claro. Obtenida de: <https://www.claro.com.co/personas/soporte/mapas-de-cobertura/>.

La Figura 29 ilustra la cobertura 4G del operador Claro en el municipio de Tibaná Boyacá.

Figura 29. Cobertura 4G del Operador Claro en Tibaná Boyacá



Fuente: Cobertura soluciones Móviles. Claro. Obtenida de: <https://www.claro.com.co/personas/soporte/mapas-de-cobertura/>.

De acuerdo a las imágenes se puede observar que se cuenta con la cobertura necesaria para poder realizar la conexión WiFi entre el Smartphone a usar y el sistema embebido. Pues, aunque en el centro del pueblo la cobertura es completamente satisfactoria, a sus alrededores también se cuenta con una cobertura que permite establecer la conexión.

7.3 PRUEBAS

En el presente numeral se mostrará el proceso de pruebas realizado en el municipio de Tibaná Boyacá. Las pruebas se realizaron en un pozo de la finca llamada “Chiguata” y un pozo que se encuentra ubicado en el centro del pueblo que generalmente es utilizado por los habitantes en los momentos en que el acueducto no presta un buen servicio.

7.3.1 Prueba en finca “Chiguata” del municipio de Tibaná Boyacá

Las pruebas realizadas en la finca Chiguata se hicieron en un pozo utilizado para el consumo de los animales con el fin de saber si el agua que están consumiendo si es apta para ellos y se está dando un buen uso de ella.

En la Figura 30 se muestra en pozo en el cual se realizó la primera medición.

Figura 30. Pozo de la finca Chiguata

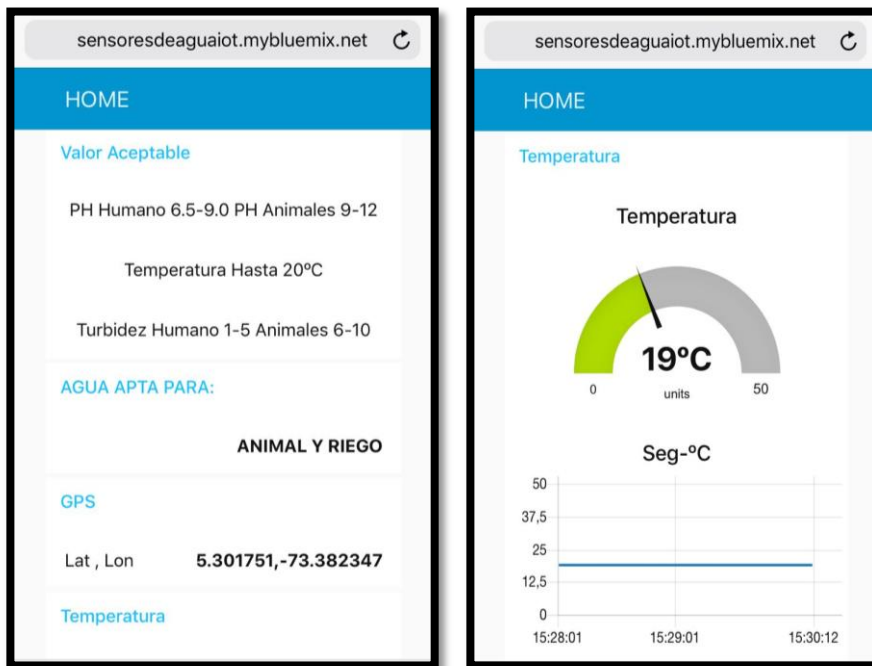


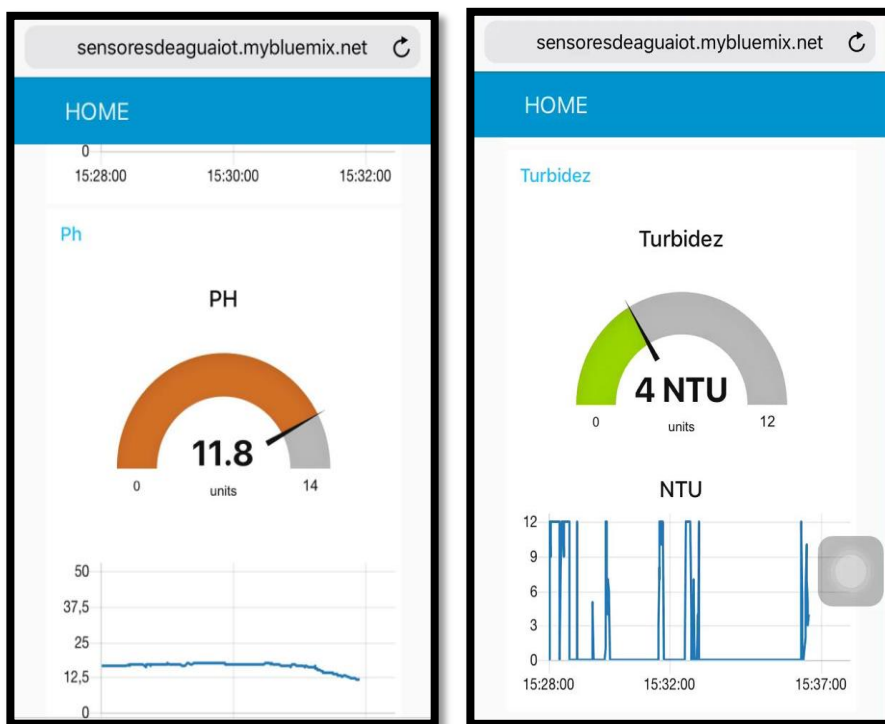
Fuente: Autor

Como se puede observar en la imagen el pozo se encontraba con algunos residuos flotantes causados por el entorno en el que se encuentra ubicado. Se procedió a iniciar la medición y el dispositivo se ubicó a un costado del pozo en él se encontrará seguro y con una distancia correcta para realizar el ingreso de los sensores al agua.

El dispositivo empezó el proceso de medición y los resultados obtenidos son los que se ilustran en la Figura 31.

Figura 31. Resultados de la medición en el pozo de la finca Chiguata





Fuente: Autor

De acuerdo con los resultados obtenidos en la medición, el resultado fue que el agua se encontraba apta para el consumo de los animales y para el riego de cultivos, aunque la turbidez y la temperatura del agua se encontraban en un nivel adecuado, el pH se encontraba superior al que es aceptable para el consumo de un humano, por esta razón el resultado de la medición dio que el agua era apta para animales y riego.

7.3.2 Prueba en pozo central del pueblo de Tibaná Boyacá

La segunda prueba se realizó en un pozo que se encuentra ubicado en la parte central del pueblo, este pozo es utilizado generalmente por los habitantes cuando el acueducto no se encuentra funcionando correctamente, de acuerdo a información presentada por parte de los habitantes, esta agua la usan para su aseo personal, así como también para su consumo.

En la Figura 32 se muestra el pozo en el que se realizó la segunda medición.

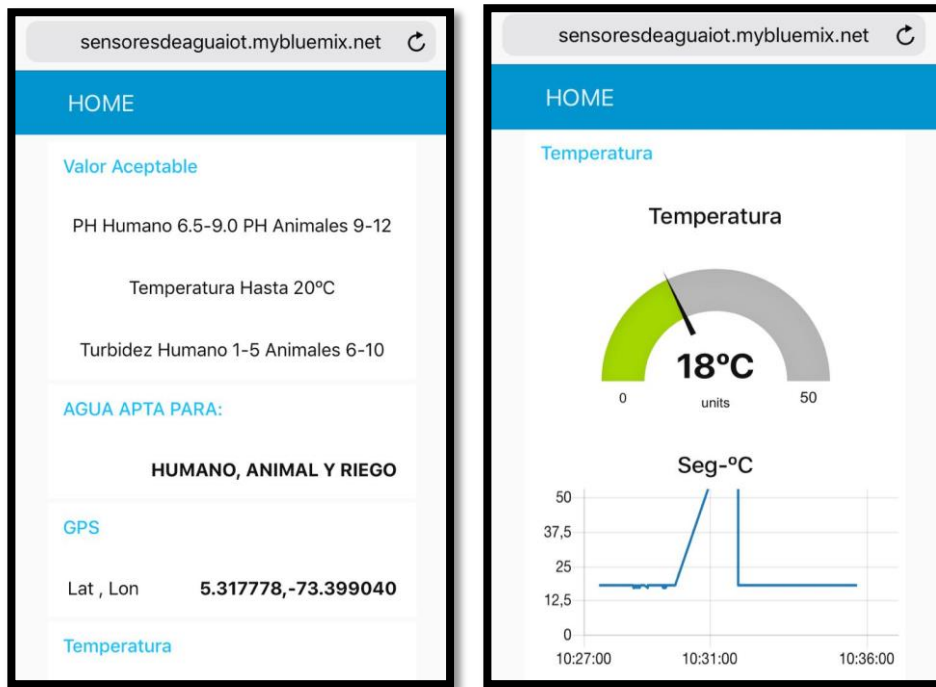
Figura 32. Pozo central del pueblo de Tibaná

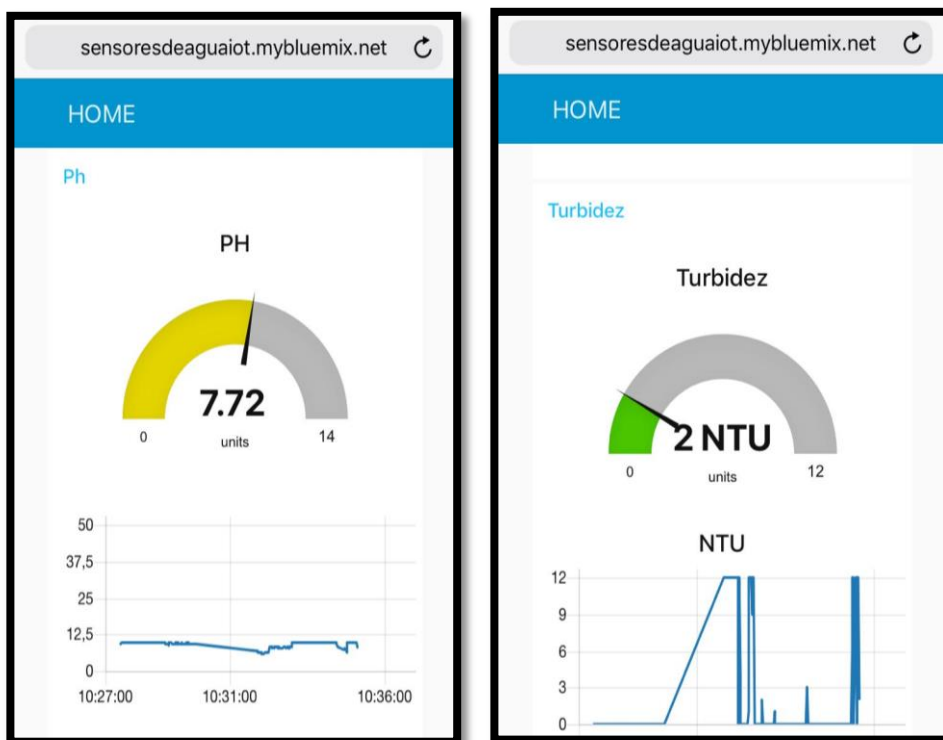


Fuente: Autor

El agua que se encuentra en el pozo nace de forma natural y se encuentra en un lote completamente solo. Para realizar la medición se ubicó el dispositivo de medición a un costado del pozo teniendo las precauciones necesarias para realizar el procedimiento. Los resultados obtenidos en la segunda medición son los que se ilustran en la Figura 33.

Figura 33. Resultados de la medición en el pozo central del pueblo de Tibaná Boyacá



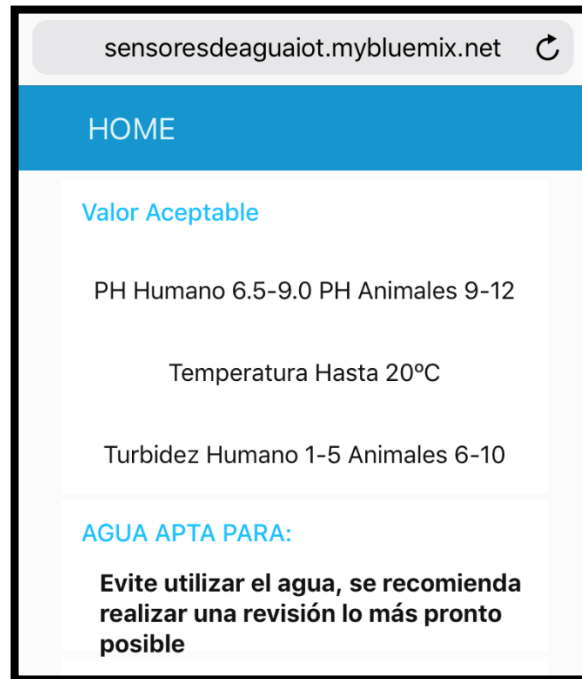


Fuente: Autor

De acuerdo a los resultados obtenidos en la medición, el agua que se encuentra en el pozo es apta para el consumo humano, animal y para el riego de cultivos, cada uno de los parámetros se encontraba en los rangos correspondientes para ser considerada apta para consumo humano, pues la temperatura se encontraba por debajo de 20°C, su pH se encontraba en el rango de 6.0 a 9.0 y la turbidez en el rango de 1 a 5 NTU.

Cabe aclarar que en caso contrario y los valores de los parámetros medidos en las pruebas de campo no cumplieran con los valores aceptables para el uso de humanos y animales, el mensaje de alerta indicara que el agua no se encuentra apta para su uso y se considera pertinente no darle uso. En la Figura 34 se muestra el mensaje de alerta que indica cuando el agua no se encuentra en buena calidad.

Figura 34. Mensaje de alerta de mala calidad del agua.



Fuente: Autor.

8 CONCLUSIONES

Después de realizado el proceso de prueba del prototipo se concluyó que el funcionamiento se dio de manera satisfactoria y es apto para su uso en zonas rurales en donde no hay acueducto o su servicio es limitado y por esta razón es común encontrar distintos tipos de instalaciones de captación de aguas subterráneas.

Con su tecnología IoT, su sencilla portabilidad y fácil manera de uso permite realizar mediciones en diferentes instalaciones de captación y saber de manera inmediata la calidad del agua y el uso que se le pueda dar a esta, pues gracias al repositorio en la nube se puede entender de forma sencilla por medio de gráficas y un mensaje de alerta en qué condiciones se encuentra el agua, ya sea para indicar si es apta para humanos, animales o riego, o por lo contrario si se debe evitar darle uso.

Algunos de los elementos usados en el proyecto pueden ser considerados de menor rendimiento, pero su elección fue hecha teniendo en cuenta el rendimiento que ofrece y el precio, pero siempre teniendo en cuenta que las características técnicas que presenten todos los elementos permitieran cumplir a cabalidad con el objetivo planteado.

Conforme se fue realizando el proyecto se pudieron ir percatando muchas cosas que no se habían considerado o que se ignoraban, como lo son la importancia que la comunidad campesina le da a las instalaciones de captación para su uso diario, los diferentes tipos de parámetros que se pueden encontrar en el agua y que pueden llegar a causar graves consecuencias sobre la salud humana cuando no se encuentran en los niveles correctos, así como también todos los beneficios que ofrece la tecnología IoT hoy en día.

Profesionalmente este proyecto deja muchas enseñanzas gracias al proceso de investigación y pruebas de campo realizadas en Tibaná Boyacá pues genero grandes conocimientos en el “Internet of Things” y la importancia que se le da hoy en día debido a que es una tecnología usada por muchas empresas de distintos sectores como también por gran cantidad de personas en el mundo que la usan en su vida cotidiana.

9 REFERENCIAS

- [1 Naciones Unidas, «Agua,» [En línea]. Available:
] <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>.
- [2 Organizacion Mundial de la Salud, «Agua,» [En línea]. Available:
] <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>.
- [3 Ministerio de Ambiente, «Aguas Subterráneas,» [En línea]. Available:
] <http://www.ideam.gov.co/web/agua/aguas-subterranas>. [Último acceso: 2018].
- [4 Secretaria Distrital de Ambiente, «Recurso hídrico subterráneo,» 2011. [En
] línea]. Available: <http://ambientebogota.gov.co/aguas-subterranas>. [Último
acceso: 24 10 2017].
- [5 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, «Diagnóstico de las Aguas
] Subterráneas,» 2018. [En línea]. Available:
[http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1631:pl-
antilla-gestion-integral-del-recurso-hidrico-37](http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1631:pl-antilla-gestion-integral-del-recurso-hidrico-37). [Último acceso: Julio 2018].
- [6 A. L.-G. Uscátegui, «GESTION DEL AGUA SUBTERRÁNEA,» 2005. [En línea].
] Available:
[http://www.logemin.com/eng/Download/pdf/20_Gestion_Agua_Subterranea_en_
Colombia.pdf](http://www.logemin.com/eng/Download/pdf/20_Gestion_Agua_Subterranea_en_Colombia.pdf). [Último acceso: Julio 2018].
- [7 MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL, «DECRETO NÚMERO 1575 DE
] 2007,» 09 Mayo 2007. [En línea]. Available:
[http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Di-
sponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf). [Último acceso:
Junio 2018].
- [8 Organizacion de las Naciones Unidas para la Educacion la Ciencia y la Cultura,
] «Iniciativa Internacional sobre la Calidad del Agua,» 2015. [En línea]. Available:
<http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002436/243651s.pdf>. [Último acceso:
2018].
- [9 UNICEF, «Progress on Sanation and Drinking Water,» 2015. [En línea].
] Available:
[http://files.unicef.org/publications/files/Progress_on_Sanitation_and_Drinking_W-
ater_2015_Update_.pdf](http://files.unicef.org/publications/files/Progress_on_Sanitation_and_Drinking_Water_2015_Update_.pdf). [Último acceso: 06 2018].
- [1 Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura,
0] «Gestion sobre la Calidad del Agua,» [En línea]. Available:
<http://www.fao.org/home/es/>. [Último acceso: 2018].
- [1 M. Prieto-Celi, «Gestión de la Calidad del Agua,» [En línea]. Available:

- 1] http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/docrep/RLC1026s/rlc1026s.002.pdf. [Último acceso: 2018].
- [1 UNESCO, «Informe de las Naciones Unidas Sobre el Desarrollo de los
2] Recursos Hídricos en el Mundo 2016,» 2016. [En línea]. Available:
<http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002441/244103s.pdf>. [Último acceso:
06 2018].
- [1 I. W. M. Institute, «ON TARGET FOR PEOPLE AND PLANET,» 2014. [En
3] línea]. Available:
http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/Books/PDF/setting_and_achieving_water-related_sustainable_development_goals.pdf. [Último acceso: 07 2018].
- [1 M. D. L. P. SOCIAL, «RESOLUCIÓN NÚMERO 2115,» 22 Junio 2007. [En
4] línea]. Available:
http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf.
- [1 B. Pradillo, «iagua,» [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/blogs/beatriz-5-pradillo/parametros-control-agua-potable>.
- [1 «Conceotdefinicion.de,» 2014. [En línea]. Available:
6] <http://conceotdefinicion.de/ph/>. [Último acceso: junio 2017].
- [1 aguayambiente, «agua&ambiente,» 10 01 2016. [En línea]. Available:
7] <https://aguayambiente.com/2016/01/10/turbiedad-del-agua/>. [Último acceso:
junio 2017].
- [1 O. DISUELTO, «OXIGENO DISUELTO,» 2017. [En línea]. Available:
8] <http://www.lenntech.es/por-que-es-importante-el-oxigeno-disuelto-en-el-agua.htm>.
- [1 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, «IDEAM,» 12 07
9] 2006. [En línea]. Available:
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+EI%C3%A9ctica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>.
- [2 HACH COMPANY, «Latam,» [En línea]. Available: https://latam.hach.com/cms-0-portals/hach_mx/cms/documents/Que-s-la-conductividad-Final.pdf. [Último
acceso: 2018].
- [2 Organización Mundial de la Salud, «Guías para la calidad del agua potable,»
1] [En línea]. Available:
http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf.
[Último acceso: 2017].
- [2 Union Internacion de Telecomunicaciones, «UIT-T Y.2060,» [En línea].
2] Available: <file:///C:/Users/usuario/Downloads/T-REC-Y.2060-201206-I!!PDF->

S.pdf.

- [2 UNED, «Sistemas Embebidos (E,» [En línea]. Available:
3] http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE5_3_1.pdf. [Último acceso: 2018].
- [2 R. E. Herrador, «Guía de Usuario de Arduino,» 13 Noviembre 2009. [En línea].
4] Available: http://www.uco.es/aulasoftwarelibre/wp-content/uploads/2010/05/Arduino_user_manual_es.pdf. [Último acceso: 2018].
- [2 G. Escalas, « Diseño y desarrollo de un prototipo de riego automático
5] controlado con Raspberry Pi,» 06 Febrero 2014. [En línea]. Available:
6] <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/25074/memoria.pdf?sequence=4&isAllowed=y>. [Último acceso: 2018].
- [2 J. C. Marco Salcedo, «USO DEL MINICOMPUTADOR DE BAJO COSTO
6] “RASPERRY PI” EN ESTACIONES METEOROLÓGICAS,» 28 Enero 2016.
7] [En línea]. Available: <http://www.redalyc.org/html/784/78445977004/>.
- [2 M. A. Arevalo, *Sistema de monitorizacion de ph y capacidad de pozos
7] subterranos en zonas rurales de Colombia, usando esquemas de internet de las cosas*, Bogota, 2017.
- [2 A. d. P. Menéndez, «UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID,» 06 2015. [En
8] línea]. Available: <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20150625AlmudenaDePazMenendez.pdf>.
- [2 Niel Andre Cloete, Reza Malekian, Lakshmi Nair, «IEEE Xplore,» 19 Julio 2016.
9] [En línea]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7516589/>. [Último acceso: 29 Noviembre 2017].
- [3 Chengyu Hu, Dijun Tian, Xuesong Yan, «IEEE Xplore,» 25 Marzo 2015. [En
0] línea]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7053312/>. [Último acceso: 29 Noviembre 2017].
- [3 Aprendiendo Arduino, «Novedades Arduino,» 2016. [En línea]. Available:
1] <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/esp32/>. [Último acceso: 2018].
- [3 Programarfácil, «DS18B20 sensor de temperatura para líquidos con Arduino,»
2] 2018. [En línea]. Available: https://programarfácil.com/blog/arduino-blog/ds18b20-sensor-temperatura-arduino/#Caracteristicas_tecnicas_del_sensor_DS18B20. [Último acceso: 2018].
- [3 MIT MOVILTRONICS, «Sensor Infrarrojo CNY70,» [En línea]. Available:
3] <https://moviltronics.com.co/sensores/95-sensor-cny70.html>.
- [3 Naylamp Mechatronics, «Tutorial Modulo GPS con Arduino,» [En línea].

- 4] Available: https://naylampmechatronics.com/blog/18_Tutorial-M%C3%B3dulo-GPS-con-Arduino.html.
- [3 Sigma Electronica, «SEN0237-A,» [En línea]. Available:
5] <https://www.sigmaelectronica.net/producto/sen0237-a/>. [Último acceso: Agosto 2018].
- [3 Sigma Electronica, «DFR0300,» [En línea]. Available:
6] <https://www.sigmaelectronica.net/producto/dfr0300/>. [Último acceso: Agosto 2018].
- [3 Arduino, «WiFi Library,» [En línea]. Available:
7] <https://www.arduino.cc/en/Reference/WiFi>. [Último acceso: 2018].
- [3 GitHub, «Knolleary/pubsubclient,» [En línea]. Available:
8] <https://github.com/knolleary/pubsubclient>. [Último acceso: 2018].
- [3 PJRC, «OneWire Library,» [En línea]. Available:
9] https://www.pjrc.com/teensy/td_libs_OneWire.html. [Último acceso: 2018].
- [4 Arduiniana, «TinyGPS,» [En línea]. Available:
0] <http://arduiniana.org/libraries/tinygps/>. [Último acceso: 2018].