



Sistema WaterAlert para el monitoreo del agua basado en el paradigma de internet de las cosas (IoT) y la tecnología de comunicación LoRa

Guevara Jiménez, Lizeth Carolina y Suntaxi Quishpe, Henry Mauricio

Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Ingeniería de Sistemas e Informática

Trabajo de titulación, previo la obtención del título de Ingeniero en Sistemas e informática

Dr. Fonseca Carrera, Efraín Rodrigo

18 de diciembre del 2020



Document Information

Analyzed document	Tesis-Guevara-Suntaxi-L00356219-L00356227-URKUND.docx (D89765428)
Submitted	12/16/2020 10:39:00 PM
Submitted by	Efrain R. Fonseca C.
Submitter email	erfonseca@espe.edu.ec
Similarity	0%
Analysis address	erfonseca.espe@analysis.arkund.com

Sources included in the report



URL: <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>
Fetched: 12/17/2020 5:22:00 AM



1

Firma:

Dr. Efrain R. Fonseca C.



Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, "Sistema WaterAlert para el monitoreo del agua basado en el paradigma de internet de las cosas (IoT) y la tecnología de comunicación LoRa" fue realizado por la señorita Guevara Jiménez, Lizeth Carolina y el señor Suntaxi Quishpe, Henry Mauricio; el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 25 de enero del 2021

Firma:

Dr. Efraín Rodrigo Fonseca Carrera

CC: 1710979574



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Guevara Jiménez, Lizeth Carolina** y **Suntaxi Quishpe, Henry Mauricio**, con cédulas de ciudadanía N° 1725243313 y N° 1721126207 declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Sistema WaterAlert para el monitoreo del agua basado en el paradigma de internet de las cosas (IoT) y la tecnología de comunicación LoRa”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requerimiento teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 18 de diciembre del 2020

Guevara Jiménez
Lizeth Carolina
C.C. 1725243313

Suntaxi Quishpe
Henry Mauricio
C.C. 1721126207



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA

Autorización de publicación

Nosotros, **Guevara Jiménez, Lizeth Carolina** y **Suntaxi Quishpe, Henry Mauricio**, con cédulas de ciudadanía N° 1725243313 y N° 1721126207, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, publicar el trabajo de titulación: **"Sistema WaterAlert para el monitoreo del agua basado en el paradigma de internet de las cosas (IoT) y la tecnología de comunicación LoRa"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 18 de diciembre del 2020

Guevara Jiménez
Lizeth Carolina
C.C. 1725243313

Suntaxi Quishpe
Henry Mauricio
C.C. 1721126207

Dedicatoria

Quiero dedicar la tesis a mi familia; mis padres Cecilia y Angel, mis hermanos Adrian y Johanna, mi hijita Domenica y a Henry quienes han sido mi fuerza y mi motivación en todo momento pues en los días más oscuros ellos estuvieron ahí para apoyarme y animarme.

A mi amigo ingeniero Paúl Díaz que ha sido esa persona incondicional y me ha brindado su apoyo en todo momento.

A mis compañeros de universidad los cuales me han permitido conocer más de la vida y disfrutar de la universidad

"Nuestra mayor debilidad radica en renunciar. La forma más segura de tener éxito es siempre intentarlo una vez más". Thomas Edison

Lizeth Guevara

Dedicatoria

Esta tesis se la dedico a Dios por permitirme cumplir mi primer objetivo, por guiarme por el camino bueno, a mi abuelita de que desde el cielo me cuida me dio fuerza para salir adelante y lograr una de mis metas.

A mi hija Domenica que es mi fuerza mi aliento que me motiva superarme cada día a ser una mejor persona que me ha estado acompañando durante todo este proceso.

A Lizeth que es mi motor que me impulsa a alcanzar lo que me proponga, a mis padres y mi hermana que son mi apoyo que han estado presentes en los momentos difíciles.

Henry Suntaxi

Agradecimiento

En primer lugar, quiero agradecer a Dios y a la Virgen del Cisne por cada una de las bendiciones que he recibido a lo largo de mi vida, a mi mami Cecilia, mi padre Angel y mis hermanos Adrian y Johanna que siempre han estado a mi lado a pesar de cualquier dificultad, a los abuelitos paternos de mi hija: Janeth y Patricio además de Brithany que han sido un apoyo incondicional.

Agradecer a mi hijita Domenica Anahí quien ha sido mi motor y fuerza para seguir luchando por mis sueños, su paciencia y amor ha hecho que este proceso sea más alegre. A Henry mi colega de tesis, amigo y compañero de vida quien ha sido mi guía y apoyo en todo este tiempo.

Un agradecimiento especial al ingeniero Rodrigo Fonseca por su guía, comprensión y el tiempo invertido en el desarrollo de este proyecto, gracias a su apoyo se logró finalizar con éxito.

Gracias a mi alma mater mí querida universidad de las Fuerzas Armadas ESPE mi segundo hogar, quien me abrió las puertas para formarme como profesional y ayudo a formar mi carácter.

Finalmente quiero agradecer a todos quienes de una u otra manera me ayudaron a llegar a esta gran meta, sobre todo a mis compañeros que se convirtieron en familia.

Lizeth Guevara

Agradecimiento

Primero agradezco a Dios por brindarme la fuerza necesaria para lograr finalizar mis estudios universitarios y por la salud de mis familiares.

A mi hija Domenica Sntaxi que es un pilar muy importante en mi vida que me inspira a seguir adelante gracias por todo el cariño por el amor por la paciencia y comprender todo este proceso difícil que hemos pasado juntos.

A Lizeth Guevara por ser mi guía mi compañera quien a pesar de todos los problemas logramos juntos alcanzar nuestro primer objetivo gracias por todo el apoyo por los consejos tus palabras de aliento brindado durante todo este tiempo.

A mis padres quienes hicieron un gran esfuerzo, sacrificio para que no me falte nada en mi carrera universitaria a mi hermana Brithany por el apoyo y por cuidarle a mi hija durante este tiempo.

A la empresa donde trabajo gracias por la confianza por el apoyo que me brindaron para poder culminar la carrera.

Al ingeniero Rodrigo Fonseca por su ayuda por guiarnos de la mejor manera en el proceso de titulación

Henry Sntaxi

Índice de contenidos

Análisis de Urkund	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	8
Índice de tablas	12
ÍNDICE DE FIGURAS	14
Resumen	16
Abstract.....	17
Capítulo I.....	18
Introducción.....	18
Antecedentes.....	18
Problemática.....	18
Justificación.....	23
Objetivos.....	24
Objetivo General (OG)	24
Objetivos Específicos (OE).....	24
Alcance.....	24
Hipótesis	26
Capítulo II.....	27
Marco Metodológico.....	27
Estado del Arte.....	27
Enfoque de la revisión	27
Planificación de la revisión.....	27
Selección de estudios	30
Extracción de información	31
Características del Estado del Arte	43
Metodología.....	44
Ciclo del Diseño e Ingeniería	45
Design Science aplicado.....	49
Marco Teórico	50
Señalamiento de variables.....	50

Fundamentación de la Variable Independiente.....	51
Fundamentación de la Variable Dependiente.....	65
Capítulo III.....	78
Construcción de la Solución.....	78
Introducción.....	78
Factores Químicos:	79
Parámetros físicos:	80
Planteamiento de los Casos de Estudio	81
Agua contaminada por actividades de ganadería y uso de plaguicidas	81
Contaminación del agua por minas de carbón o escombreras.....	82
Contaminación del agua por detergentes aniónicos.....	82
Agua contaminada por agua residuales de viviendas	83
Agua contaminada por hidrocarburos.....	83
Construcción del Prototipo	83
Subsistemas de WA - Descripción del flujo de información	84
Diagrama general de la arquitectura WaterAlert.....	86
Desarrollo de los subsistemas.....	87
SCRUM	110
Arquitectura del sistema WEB	124
Interfaz de usuario.....	128
Capítulo IV.....	133
Validación del prototipo.....	133
Investigaciones para validar los casos de estudio	133
Agua contaminada por actividades de ganadería y uso de plaguicidas	133
Contaminación del agua por minas de carbón o escombreras.....	137
Contaminación del agua por detergentes aniónicos (fincas florícolas).....	141
Agua contaminada por aguas residuales de viviendas	145
Agua contaminada por hidrocarburos.....	148
Capítulo V.....	152
Conclusiones, Recomendaciones y trabajos futuros.....	152
Conclusiones	152
Recomendaciones	153
Trabajos futuros.....	153
Referencias.....	154

Índice de tablas

Tabla 1. Preguntas de investigación	25
Tabla 2. Grupo de control.....	28
Tabla 3. Iteraciones de la cadena de búsqueda.....	30
Tabla 4. Estudios por cada cadena búsqueda	30
Tabla 5. Design Science aplicado	49
Tabla 6. Comparativa de tecnologías de IoT	62
Tabla 7. Categorías según el tipo de contaminación y contaminante	69
Tabla 8. Valores del TDS.....	80
Tabla 9. Dispositivos del subsistema de recopilación de datos	89
Tabla 10. Características del sensor PH-4502C	90
Tabla 11. Calibración del sensor de PH	91
Tabla 12. Características del sensor de TDS	94
Tabla 13. Características del sensor DS18B20.....	97
Tabla 14. Características del sensor de turbidez	100
Tabla 15. Historia de usuario 1	110
Tabla 16. Historia de usuario 2.....	110
Tabla 17. Historia de usuario 3.....	111
Tabla 18. Historia de usuario 4.....	112
Tabla 19. Historia de usuario 5.....	112
Tabla 20. Historia de usuario 6.....	113
Tabla 21. Historia de usuario 7.....	113
Tabla 22. Requisito funcional 1	114
Tabla 23. Requisito funcional 2	115
Tabla 24. Requisito funcional 3	116
Tabla 25. Requisito funcional 4	117
Tabla 26. Requisito funcional 5	118
Tabla 27. Requisito no funcional 1.....	119
Tabla 28. Requisito no funcional 2.....	119
Tabla 29. Requisito no funcional 3.....	120
Tabla 30. Requisito no funcional 4.....	120
Tabla 31. Parámetros del agua contaminada por actividades de ganadería y uso de plaguicidas	133
Tabla 32. Medias obtenidas por WA en el agua potable	135
Tabla 33. Resultados obtenidos por Ecofluidos y por Water Alert	137
Tabla 34. Parámetros del agua contaminada por actividades de minas de carbón o escombreras	137
Tabla 35. Medidas obtenidas por WA en el agua potable	139
Tabla 36. Resultados obtenidos por el estudio de Osvaldo Aduvire y por Water Alert.....	140
Tabla 37. Parámetros del agua contaminada por detergentes.....	141
Tabla 38. Medidas obtenidas por WA en el recipiente de agua potable	143
Tabla 39. Resultados obtenidos en el estudio de William pacheco y Water Alert.....	144
Tabla 40. Parámetros del agua contaminada por aguas residuales de viviendas	145
Tabla 41. Resultados obtenidos por Water Alert en el recipiente que contiene agua potable ...	146
Tabla 42. Resultados obtenidos por CIDTA y Water Alert	148
Tabla 43. Parámetros del agua contaminada por hidrocarburos	148

Tabla 44. <i>Resultados obtenidos por Water Alert en el recipiente que contiene agua potable ...</i>	150
Tabla 45. <i>Resultados obtenidos en el estudio de Juan Álava y Water Alert.....</i>	151

Índice de figuras

Figura 1. <i>Causa 1: Carencia de tecnologías</i>	20
Figura 2. <i>Problema secundario: riesgo en la salud de las personas</i>	20
Figura 3. <i>Causa 2: no existen redes de comunicación tradicional</i>	21
Figura 4. <i>Problema: desperdicio del líquido vital</i>	21
Figura 5. <i>Causa 2: escaso control y monitoreo de la calidad del agua dulce</i>	22
Figura 6. <i>Consecuencia: no se puede tomar decisiones en beneficio a la comunidad</i>	22
Figura 7. <i>Fases del mapeo sistemático de la literatura (mejorado)</i>	27
Figura 8. <i>Diseño e Ingeniería de Design Science</i>	45
Figura 9. <i>Red de categorías</i>	50
Figura 10. <i>Estructura de las Tics</i>	51
Figura 11. <i>La industria 4.0</i>	56
Figura 12. <i>Operación de las redes con LoRa</i>	64
Figura 13. <i>Parámetros de calidad del agua</i>	75
Figura 14. <i>Escala de pH</i>	79
Figura 15. <i>Subsistema de recolección de datos</i>	84
Figura 16. <i>Subsistema de monitoreo WA</i>	85
Figura 17. <i>Subsistema de gestión de la información</i>	86
Figura 18. <i>Subsistema de monitoreo y control exterior</i>	86
Figura 19. <i>Arquitectura de WA</i>	86
Figura 20. <i>Diagrama de conexión</i>	87
Figura 21. <i>PBC de Water Alert</i>	88
Figura 22. <i>Sensor de pH</i>	90
Figura 23. <i>Diagrama de bloque</i>	91
Figura 24. <i>Esquema de conexión</i>	92
Figura 25. <i>Diagrama de flujo (pH)</i>	93
Figura 26. <i>Sensor de TDS</i>	93
Figura 27. <i>Diagrama de bloque</i>	94
Figura 28. <i>Esquema de conexión</i>	95
Figura 29. <i>Diagrama de flujo</i>	95
Figura 30. <i>Sensor de temperatura</i>	96
Figura 31. <i>Diagrama de bloque</i>	98
Figura 32. <i>Diagrama de conexión</i>	98
Figura 33. <i>Diagrama de flujo</i>	99
Figura 34. <i>Sensor de turbidez</i>	99
Figura 35. <i>Diagrama de bloque</i>	101
Figura 36. <i>Diagrama de conexión</i>	101
Figura 37. <i>Diagrama de flujo</i>	102
Figura 38. <i>Batería de polímero de litio</i>	102
Figura 39. <i>Datasheet del ESP32 (HELTEC V2)</i>	103
Figura 40. <i>Código para la obtención de datos</i>	104
Figura 41. <i>Código para el envío de paquetes lora al Gateway</i>	104
Figura 42. <i>Código para validar los casos de estudio</i>	105
Figura 43. <i>Gateway LoRa</i>	107
Figura 44. <i>Receptor del paquete LoRa</i>	108
Figura 45. <i>Cliente MQTT</i>	108

Figura 46. <i>Prototipo WA</i>	109
Figura 47. <i>Casos de uso</i>	120
Figura 48. <i>Modelo conceptual</i>	121
Figura 49. <i>Diagrama lógico</i>	122
Figura 50. <i>Modelo físico</i>	123
Figura 51. <i>Arquitectura del sistema web</i>	124
Figura 52. <i>Ingresar al sistema</i>	128
Figura 53. <i>Ingresar nuevo usuario</i>	128
Figura 54. <i>Eliminar usuario</i>	129
Figura 55. <i>Editar usuario</i>	129
Figura 56. <i>Análisis y tiempo real</i>	130
Figura 57. <i>Posible peligro de contaminación</i>	131
Figura 58. <i>Water Alert fuera del agua</i>	132
Figura 59. <i>Datos históricos de Water Alert</i>	132
Figura 60. <i>Recipiente de agua</i>	133
Figura 61. <i>Water Alert en el recipiente de agua potable</i>	134
Figura 62. <i>Water Alert fuera del agua</i>	135
Figura 63. <i>Alerta de contaminación</i>	136
Figura 64. <i>Recipiente de agua</i>	138
Figura 65. <i>Water Alert en el recipiente de agua potable</i>	138
Figura 66. <i>Water Alert fuera del agua</i>	139
Figura 67. <i>Alerta de contaminación</i>	139
Figura 68. <i>Recipientes de agua</i>	142
Figura 69. <i>Water Alert en el recipiente que contiene agua potable</i>	142
Figura 70. <i>Water Alert fuera del agua</i>	143
Figura 71. <i>Alerta de contaminación</i>	144
Figura 72. <i>Recipientes de agua</i>	145
Figura 73. <i>Water Alert en el recipiente de agua potable</i>	146
Figura 74. <i>Water Alert fuera del agua</i>	147
Figura 75. <i>Alerta de posible contaminación</i>	147
Figura 76. <i>Recipientes de agua</i>	149
Figura 77. <i>Water Alert en el recipiente de agua potable</i>	149
Figura 78. <i>Water Alert fuera del agua</i>	150
Figura 79. <i>Alerta de posible contaminación</i>	150

Resumen

El agua potable es un derecho humano, fundamental para la salud y subsistencia de los seres vivos. Sin embargo, esta agua llega a ser contaminada en zonas rurales por diferentes factores tales como: la explotación petrolera, actividades mineras, contaminación por heces, entre otras; lo cual afecta su calidad. El desconocimiento de las personas sobre la calidad del agua dulce en zonas rurales conlleva a contraer enfermedades afectando a los más vulnerables (niños y adultos mayores).

En consecuencia, se desarrolló un sistema de monitoreo basado en la tecnología de comunicación LoRa que permite determinar la calidad del agua dulce que se consume en zonas rurales.

La metodología utilizada para realizar la investigación fue Design Science donde se aplicó las actividades de investigación–diseño–validación–implementación–evaluación. Además, se utilizó la metodología SCRUM para desarrollar el prototipo ya que permite el trabajo colaborativo. Como resultado se obtuvo un sistema que permite diagnosticar la calidad del agua dulce en zonas rurales que no disponen de tecnologías tradicionales, por ello se utiliza la tecnología de comunicación LoRa.

Al finalizar la investigación se pudo concluir que el prototipo Water Alert permite notificar y alertar al usuario de los posibles factores de contaminación; mostrando un análisis de datos que se basan en los parámetros más importantes para la calidad del agua dulce según la Organización Mundial de la Salud; por ende, el prototipo determina si el agua es apta o no apta para el consumo.

Palabras Clave:

- IOT
- LORA
- CALIDAD DEL AGUA
- MONITOREO
- TIEMPO REAL

Abstract

Drinking water is a human right, essential for the health and the subsistence of living beings. However, this water becomes contaminated in rural areas, by different factors such as oil drilling, mining activities, contamination by stools, etc., which would be affecting the quality. The lack of knowledge of people about the quality of fresh water in rural areas leads to contracting diseases affecting the most vulnerable people (children and the elderly).

Consequently, a monitoring system was developed based on LoRa communication technology that allows determining the quality of fresh water consumed in rural areas.

The methodology, which was used to carry out the research, was Design Science, where the research-design-validation-implementation-evaluation activities were applied. Furthermore, the SCRUM methodology was used to develop the prototype because it allows collaborative work. The result is a system that allows determining the quality of fresh water in rural areas that do not have traditional technologies, which is why LoRa communication technology is used.

At the end of the research development, it was possible to conclude that the Water Alert prototype has the benefit of notifying and alerting the user of the possible factors of water contamination, providing an analysis of the data based on the most important parameters according to the World Organization of the Health; for this reason, the prototype determines whether or not the water is fit for human consumption.

Keywords:

- **IOT**
- **LORA**
- **WATER QUALITY**
- **CHECKING SYSTEM**
- **REAL TIME**

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el agua dulce en la tierra es limitada (Organización Mundial de la Salud, 2020). Se conoce que el 97.5% del agua del planeta es salada y el 2.5% restante representa la porción de agua dulce (Jumapan, 2015). Del total de agua dulce el 69% se localiza en los polos y montañas en estado sólido, el 30% está en humedales y acuíferos, finalmente el 1% representa a las fuentes más comunes que incluye ríos, arroyos, lagos, lagunas y estanques (Jumapan, 2015).

Las fuentes de agua dulce más comunes son utilizadas para la crianza de especies acuáticas, la agricultura, creación de espacios recreativos, etc. (Camargo & Camacho, 2019), es decir, el agua es indispensable en la vida de las personas, animales y plantas ya que permite el sostenimiento y la continuidad de la vida (Paredes, 2013). No obstante, existe una amenaza latente en la calidad del agua dulce, debido a la presencia de factores contaminantes (Organización Mundial de la Salud, 2020), además por consecuencia al cambio climático y los patrones de migración de la población los recursos de agua dulce se ven afectados tanto en adaptación como urbanización sostenible, por ello es importante garantizar la calidad, disponibilidad y accesibilidad del recurso para asegurar el bienestar humano, el desarrollo socioeconómico y el mantenimiento de los ecosistemas (IUCN, 2020).

Problemática

En diferentes partes del mundo, sobre todo en sectores rurales de países en desarrollo, la población se ve obligada a consumir agua no potabilizada sin conocer si es apta para su consumo. Por ejemplo, en el informe "Progress on household drinking

water, sanitation and hygiene 2000-2017” (World Health Organization, 2019) se indica que 435 millones de personas usaron fuentes de agua no mejoradas, 144 millones todavía usaron agua superficial e incluso más de la mitad de estos aún recolectan agua directamente de ríos, lagos y estanques (World Health Organization, 2019). Otro ejemplo a resaltar es el de Sylvia Becerra en su libro “Nuestro vivir en la Amazonía ecuatoriana” (Becerra, Maurice, & Desprats-Bologna, 2018), donde indica que la población local tiene cuatro tipos de fuentes de agua como: lluvia, pozos subterráneos artesanales, ríos cercanos y agua de redes de distribución local; no obstante, la población prefiere beber agua de la lluvia en lugar de agua de río, dado el potencial riesgo de contaminación debido al crudo de petróleo (Becerra, Maurice, & Desprats-Bologna, 2018).

Para definir la problemática del presente trabajo se ha realizado un análisis exploratorio mediante una entrevista a moradores de sectores rurales en Loja - Ecuador debido a que varios residentes de estas zonas no cuentan con un suministro de agua potable constante, además se realizó una investigación literaria preliminar.

El problema que se aborda en esta investigación es: ***Desconocimiento de la calidad de agua dulce que se consume en zonas rurales***; por ello se ha estructurado un árbol de problemas en base al estudio de la situación actual de la problemática identificada.

Una de las causas primordiales que conlleva al desconocimiento de la calidad del agua dulce en zonas rurales es la: ***Carencia de tecnologías o herramientas que permitan determinar la calidad del agua dulce que proviene de fuentes no potables*** (ver figura 1).

Figura 1.

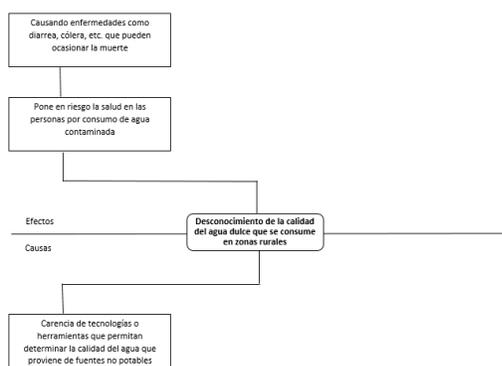
Causa 1: Carencia de tecnologías.



Al no contar con herramientas o tecnologías que permitan informar sobre la calidad del agua dulce la población se ve obligada a consumir agua sin conocer su procedencia, generando un nuevo problema ya que: ***Se pone en peligro la salud de las personas ya que el consumo de agua contaminada puede generar enfermedades como: diarrea, cólera, disentería, etc.*** (Organización Mundial de la Salud, 2019); ***incluso estas enfermedades pueden provocar la muerte*** (ver figura 2).

Figura 2.

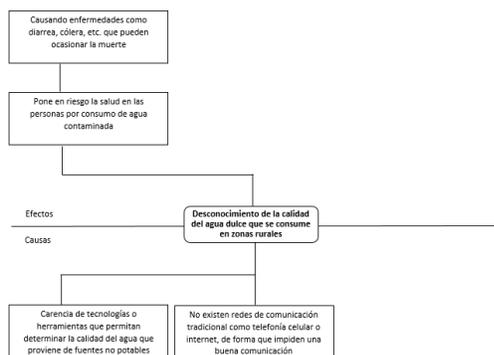
Problema secundario: riesgo en la salud de las personas



Al realizar la entrevista se pudo constatar que al ser una zona rural y sobre todo un sitio rústico: ***No existen redes de comunicación tradicional como telefonía celular o internet, de forma que impiden una buena comunicación*** (ver figura 3).

Figura 3.

Causa 2: no existen redes de comunicación tradicional



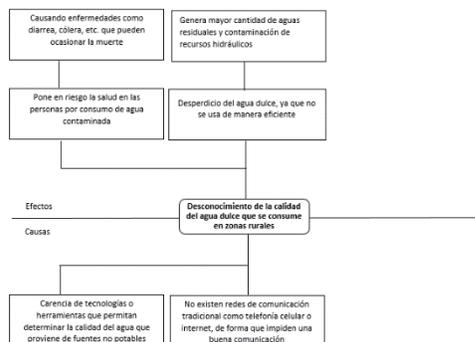
El desconocimiento de la calidad del agua dulce en zonas rurales conlleva a que:

Las personas desperdician el líquido vital, ya que no la usan de manera eficiente y esto genera mayor cantidad de aguas residuales y la contaminación de recursos hídricos

(ENCA, 2016) (ver figura 4).

Figura 4.

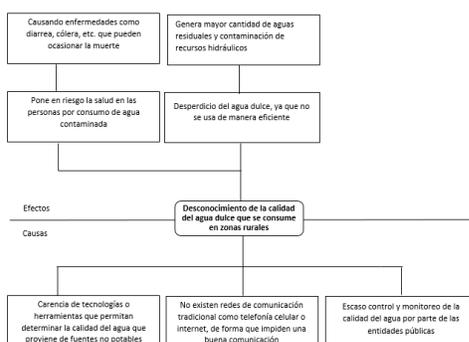
Problema: desperdicio del líquido vital



En varias zonas rurales del mundo existe **Escaso control y monitoreo de la calidad del agua dulce de parte de las entidades públicas** y esto no permite detectar a tiempo la posible contaminación (ENCA, 2016) (ver figura 5).

Figura 5.

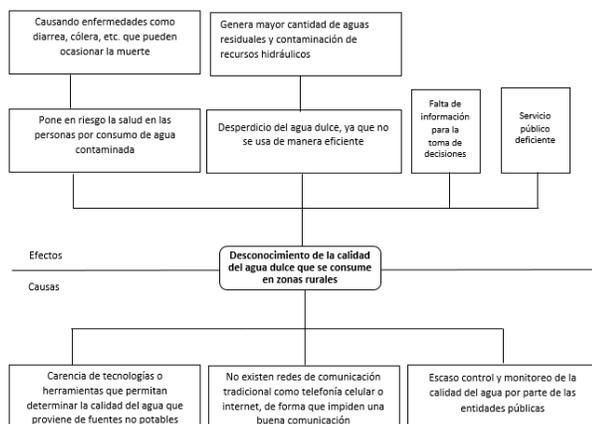
Causa 2: escaso control y monitoreo de la calidad del agua dulce.



Al no contar con reportes sobre la calidad del agua dulce; **se dificulta tomar decisiones en beneficio a la comunidad** además eso implica **un servicio público deficiente** (ENCA, 2016) (ver figura 6).

Figura 6.

Consecuencia: no se puede tomar decisiones en beneficio a la comunidad.



Nota: después de la investigación realizada, la figura 6 muestra el resultado del árbol de problemas.

Con lo antes mencionado, está claro que se precisa contar con un mecanismo que permita determinar la calidad del agua dulce, además de un canal de comunicación para informar a la población de los posibles cambios en el agua.

Justificación

Según el informe publicado por La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO): “Las infraestructuras de agua siguen siendo sumamente escasas en las áreas rurales pobres” (WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO), 2019), es decir, millones de personas en zonas rurales no disponen de una cobertura completa para el suministro de agua potable.

El agua saludable y de fácil acceso es muy importante para garantizar la salud de las personas; sin embargo, alrededor de 2000 millones de personas en el mundo a pesar de contar con suministro de agua bebible, esta se encuentra contaminada con heces debido a un saneamiento deficiente, provocando enfermedades como cólera, disentería, hepatitis A, diarreas que incluso pueden provocar la muerte; se dice que al menos 842000 personas por año mueren de diarrea (Organización Mundial de la Salud, 2019).

Según la OMS en caso de que exista un control de los factores de contaminación del agua se lograría prevenir y disminuir las muertes de 361000 niños menores de 5 años (Organización Mundial de la Salud, 2019) ya que por falta de conocimiento y la desinformación hace que obviemos la calidad de este líquido, además la necesidad

obliga a la población usar el agua dulce sin conocer las características que la hacen útil para el consumo humano.

Por ende, se justifica la investigación para desarrollar un prototipo de monitoreo que permita determinar la calidad del agua y los posibles factores de contaminación.

Objetivos

Objetivo General (OG)

Desarrollar un sistema de monitoreo basado en la tecnología de comunicación LoRa para determinar la calidad del agua dulce que se consume en zonas rurales.

Objetivos Específicos (OE)

- i. Realizar un estudio de la situación actual en torno al desconocimiento de la calidad de aguadulce que se consume en zonas rurales a través de una investigación exploratoria.
- ii. Estudiar la factibilidad de aplicación de propuestas tecnológicas de monitoreo de la calidad del agua dulce en zonas rurales a través de una revisión de literatura preliminar.
- iii. Desarrollar un prototipo de sistema de monitoreo de agua dulce basado en la tecnología de comunicación LoRa y la metodología de desarrollo de software SCRUM.
- iv. Validar el prototipo de sistema de monitoreo de agua dulce mediante pruebas de laboratorio simuladas basadas en casos de estudio reales.

Alcance

El alcance del proyecto comprende el desarrollo de un prototipo basada en IoT y la red de comunicación LoRa, el cual permite monitorear, analizar y gestionar información referente a la calidad del agua dulce.

En primer lugar, se realizó una revisión preliminar de artículos científicos los cuales exponen técnicas y tipos de tecnologías usadas para el monitoreo del agua en zonas rurales.

Después se creó una red de categorías que sustentan las variables de investigación preestablecidas, las cuales permiten obtener información científica fundamental para desarrollar el presente estudio.

Por último, se estableció el modelo del prototipo el cual será validado en el laboratorio mediante casos de estudio que se enfocan a diferentes escenarios de contaminación.

Para determinar y guiar el alcance del presente trabajo se ha planteado las siguientes preguntas de investigación, cada una asociada a los objetivos específicos antes propuestos (ver tabla 1).

Tabla 1.

Preguntas de investigación

OBJETIVO ESPECÍFICO	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN
i. Realizar un estudio de la situación actual en torno al desconocimiento de la calidad de agua dulce que se consume en zonas rurales a través de una investigación exploratoria.	<p>RQ1. ¿Cuáles son las principales fuentes de agua dulce de las cuales se abastecen las personas en zonas rurales?</p> <p>RQ2. ¿Cuáles son las consecuencias de consumir agua dulce sin conocer la procedencia?</p> <p>RQ3. ¿Qué factores de contaminación afectan la calidad del agua dulce en zonas rurales?</p>

OBJETIVO ESPECÍFICO	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN
ii. Estudiar la factibilidad de aplicación de propuestas tecnológicas de monitoreo de la calidad del agua dulce en zonas rurales a través de una revisión de literatura preliminar.	RQ4. ¿Qué tecnologías se han utilizado para monitorear la calidad del agua en áreas rurales? RQ5. ¿Qué instrumentos se utilizan para determinar e informar sobre la calidad del agua dulce a los usuarios en zonas rurales?
iii. Desarrollar un prototipo de sistema de monitoreo de agua dulce basado en la tecnología de comunicación LoRa y la metodología de desarrollo de software SCRUM.	RQ6. ¿Qué tipo de arquitecturas en cuanto a hardware o software se han planteado para el desarrollo de prototipos que permitan monitorear sobre la calidad del agua dulce en zonas rurales? RQ7. ¿Qué tecnologías de comunicación de larga distancia se han utilizado para desarrollar sistemas que midan la calidad del agua en zonas rurales? RQ8. ¿Es posible usar la metodología SCRUM para el desarrollo de prototipos?
iv. Validar el prototipo de sistema de monitoreo de agua dulce mediante pruebas de laboratorio simuladas basadas en casos de estudio reales.	RQ9. ¿Qué beneficios se tiene el disponer de un sistema de monitoreo que permita determinar la calidad del agua? RQ10. ¿Qué tan factible es simular casos de estudio en base a estudios propuestos que permitan determinar la posible contaminación del agua dulce?

Hipótesis

Un sistema de monitoreo basado en la tecnología de comunicación LoRa permite determinar la calidad del agua dulce que se consume en zonas rurales.

Capítulo II

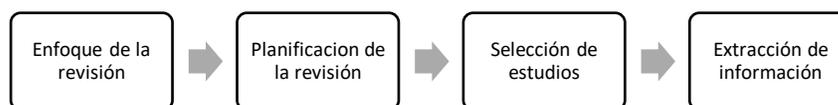
Marco Metodológico

Estado del Arte

Para realizar el estudio del estado del arte se llevó a cabo una revisión de literatura preliminar, utilizando las guías planteadas por Kitchenham (Kitchenham & Charters, 2017). Las fases consideradas para esta revisión se muestran en la figura 7 y se describen a continuación.

Figura 7.

Fases del mapeo sistemático de la literatura (mejorado).



Nota: guías planteadas por Kitchenham. Tomado de (Kitchenham & Charters, 2017).

Enfoque de la revisión

La revisión de literatura se llevó a cabo en base al objetivo de búsqueda (OE ii) y a las preguntas de investigación planteadas con el propósito de conocer el estado del arte en torno a la problemática identificada en la presente investigación.

Planificación de la revisión

Para realizar la planificación de la revisión se ha seguido los siguientes parámetros búsqueda: criterios de inclusión y exclusión, conformación del grupo de control y composición de la cadena de búsqueda. A continuación, se especifica lo antes mencionado.

Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de inclusión son aquellas características que necesariamente deben tener los estudios a tomarse en cuenta (Arias, Villasís, & Miranda, 2016).

Los criterios de exclusión son otras características de los estudios que dan a conocer sobre el tema planteado pero que no son de interés en la investigación (Arias, Villasís, & Miranda, 2016).

Criterios de inclusión

Estudios actuales basados en tecnologías actuales emergentes que se enfoquen en monitorear la calidad del agua dulce en áreas rurales.

Estudios actuales que se enfocan en soluciones de hardware y software libres y de bajo costo que permitan monitorear e informar de la calidad del agua en sitios rurales.

Estudios actuales que expongan tecnologías de bajo costo, fáciles de implementar y dedicados al monitoreo del agua dulce en zonas rurales.

Criterios de exclusión

Artículos publicados antes del año 2018 o publicados en conferencias no representativas o escritos en los idiomas distintos al inglés.

Estudios cuyo propósito es mejorar la calidad del agua dulce, pero que no incluyen o especifican elementos de monitoreo y control.

Estudios enfocados en el monitoreo del agua dulce, pero que no incluyen elementos de comunicación a larga distancia.

Conformar el grupo de control

El grupo de control (GC) se encuentra conformado por estudios que se relacionan con el objetivo (OE ii) y que responden a los criterios de inclusión que se han propuesto para esta investigación.

Para formar el grupo de control cada uno de los investigadores involucrados en el proyecto sugirieron algunos estudios los cuales se alinean con el objetivo (OE ii) propuesto y mediante validación y consenso de los investigadores se conformó el GC (ver tabla 2).

Tabla 2.

Grupo de control

No.	Título	Cita	Palabras claves
EC1	Internet of things enabled real time water quality monitoring system	(Geetha & Gouthami, Internet of things enabled real time water quality monitoring system, 2017)	Water quality, Smart solution, Internet of things, Wi-Fi, Cloud storage
EC2	Internet of Things (IoT) Based Smart Water Quality Monitoring System	(Spandana & Seshagiri, 2018)	Wireless sensor network (WSN), water parameters, Internet of things (IoT), WI-FI.
EC3	Smart Water Quality Monitoring and Metering Using Lora for Smart Villages	(Manoharan & Rathinasabapathy, 2018)	Smart Village; M2M; LoRa; LoRaWAN; Smart Meter; Water Quality; Water Level.
EC4	IoT and WSN Based Water Quality Monitoring System	(Simitha & Subodh, 2019)	SmartCity, Water Quality Monitoring, WSN, LoRa, LoRaWAN, IoT, LPWAN
EC5	LoRa-based Measurement Station for Water Quality Monitoring: Case of Botanical Garden Pool	(Ngom, Diall, & Gueye, 2019)	Water Quality Monitoring, Wireless Sensors Network, LoRa, Data Visualization
EC6	LoRa-Based WSNs Construction and Low-Power Data Collection Strategy for Wetland Environmental Monitoring	(Jia, 2020)	Multi-sensor combination module · Wsns · LoRaWan · Fuzzy comprehensive evaluation · STM32 · sx1278

Nota: En base a un consenso los investigadores seleccionaron seis estudios para conformar el grupo de control.

Cadena de búsqueda

Se crea la cadena de búsqueda identificando los términos más destacados del grupo de control con el objetivo de obtener estudios primarios que permitan contribuir al objetivo de investigación; para ello cada investigador analizo detenidamente los estudios que conforma el GC, después de analizar y discutir acerca de los estudios se obtuvo el siguiente grupo de palabras: monitoring water, water quality, IoT, sensors, LoRa, real time.

A continuación, en la tabla 3 se observa las iteraciones que se dieron hasta obtener la cadena de búsqueda final que englobe a todo el grupo de control.

En la tabla 4 se muestra las cadenas de búsqueda relacionadas con los estudios obtenidos en base al grupo de control

Tabla 3.

Iteraciones de la cadena de búsqueda

#	Cadena
1	ALL ({MONITORING WATER} OR {WATER QUALITY}) AND ALL ({IoT})
2	ALL ({MONITORING WATER} OR {WATER QUALITY}) AND ALL ({IoT} OR {LORA})
3	ALL (MONITORING WATER} OR {WATER QUALITY}) AND ALL ({IoT} OR {LORA}) AND ALL ({SENSORS})
4	ALL ({MONITORING WATER} OR {WATER QUALITY}) AND ALL ({IoT} OR {LORA}) AND ALL ({SENSORS} OR {REAL TIME})

Tabla 4.

Estudios por cada cadena búsqueda

Cadena	Resultados	Estudios del grupo de control
1	91	EC1, EC4, EC5
2	87	EC1, EC4, EC5, EC6
3	77	EC1, EC2, EC4, EC5, EC6
4	79	EC1, EC2, EC3, EC4, EC5, EC6

Nota: la cadena final que se obtiene es la cuatro ya que abarca todos los estudios referentes al grupo de control.

Selección de estudios

Para la selección de estudios se ha incluido en la búsqueda: estudios candidatos, estudios relevantes y estudios primarios.

Los estudios candidatos son aquellos que se han obtenido a partir de la cadena de búsqueda, donde se logró obtener 79 estudios candidatos.

Para obtener los estudios relevantes se aplicó los criterios de inclusión y exclusión en el título, resumen, palabras claves e introducción; luego del análisis y discusión entre los investigadores se eligieron 15 estudios relevantes.

Después de descargar el texto completo de las investigaciones relevantes, cada investigador realizó una lectura exhaustiva y aplicando los criterios de inclusión y exclusión se destacaron 11 estudios primarios, a partir de los cuales se construye el estado del arte.

Extracción de información

A continuación, se presenta un breve resumen de los estudios seleccionados al finalizar el proceso:

Drinking Water Monitoring in Mosul City Using IoT (Al-khashab, Daoud, & Majeed, 2019).

La ciudad de Mosul en Irak fue atacada por organizaciones terroristas desde el 2014 al 2017, después de ello los ciudadanos tuvieron que reparar la ciudad siendo de vital importancia restaurar el sistema agua potable y a su vez erradicar la contaminación (Al-khashab, Daoud, & Majeed, 2019); es por ello que han sumado esfuerzos y realizan pruebas en un laboratorio llevando muestras de agua para saber si es apta para el consumo.

Los parámetros que utilizan para medir la calidad del agua son: pH, temperatura, TDS, turbidez y conductividad, lo que se propone en el artículo es medir estos parámetros mediante sensores conectados al Arduino UNO, el cual controla y da lectura a los datos para que esta información se envíe al ThingSpeak utilizando el módulo ESP8266 (WiFi) (Al-khashab, Daoud, & Majeed, 2019). La aplicación del

ThingSpeak recolecta y analiza los datos los cuales son enviados al usuario para que visualice la información haciendo uso de pantalla LCD, un móvil o una PC.

El proceso que se lleva a cabo para informar sobre la calidad del agua es:

1. Ingresar al sitio ThingSpeak para crear un nuevo canal el cual permitirá posicionarse en cada uno de los sensores según el campo colocado del 1 al 5, que corresponde a los sensores de: pH, TDS, turbidez, CE y temperatura, respectivamente.
2. Cuando se completa toda la información, el ThingSpeak proporciona un API que permite leer y escribir, además, ya se integra el funcionamiento de Matlab para el análisis de datos.
3. La información será visualizada con diagramas gráficos en un LCD, móvil o PC.

El estudio concluye en que los resultados son eficientes y que se aproximan en un 97,6% a los resultados de laboratorio (Al-khashab, Daoud, & Majeed, 2019); por ende, se considera factible realizar tecnologías de IoT para medir la calidad del agua.

Surface Water Pollution Detection using Internet of Things (Shafi, Mumtaz2, & Anwar, 2018).

La calidad del agua en Pakistán se ve afectada por el incremento de urbanizaciones y la industrialización; la población consume agua que se les proporciona sin conocer la calidad de la misma, agua que en muchos casos causa enfermedades aumentando la tasa de mortalidad. Actualmente para medir la calidad del agua llevan muestras al laboratorio y se analizan para posterior conocer si es apta o no para el consumo, se debe tener en consideración que esto no es tiempo real (Shafi, Mumtaz2, & Anwar, 2018).

El estudio presenta una solución al realizar un sistema de monitoreo que permita conocer la calidad del agua basando la investigación en el Internet de las cosas; en la solución se considera tanto hardware como software; a nivel de hardware se

propone utilizar sensores, una válvula solenoide y una pantalla Wi-Fi; en cuanto a nivel de software se tiene una aplicación móvil y un tablero (Shafi, Mumtaz2, & Anwar, 2018).

El sistema propuesto cuenta con 3 módulos que se describen a continuación:

1. Módulo de detección: en este módulo se incorporan 3 sensores los cuales se encuentran conectados al Arduino; los sensores recolectan y envían la información mediante la pantalla Wi-Fi a la nube cada 30 segundos. Los parámetros que se usan para garantizar la calidad del agua son: pH, turbidez y temperatura.
2. Módulo de análisis: aquí se realiza un análisis predictivo con ayuda del grupo de datos obtenidos del Consejo de Investigación de Recursos Hídricos de Pakistán (PCRWR); este grupo de datos consta de 667 muestras de 11 diferentes abastecimientos de agua.
3. Módulo actuador: este módulo permite controlar el monitoreo y flujo de agua. La válvula solenoide va conectada al contenedor del agua para controlar el flujo, mediante la aplicación móvil el usuario monitorea los parámetros de calidad del agua observando las lecturas.

Como conclusión de esta investigación se tiene que los algoritmos fueron entrenados para que aprendan automáticamente de las 667 muestras, la clasificación de la calidad del agua se da en binario 0= mala, 1= buena. El sistema propuesto permite enterarse de la calidad del agua bajo los parámetros nombrados por la OMS, siendo factible en un 93% conjuntamente con los algoritmos de aprendizaje (Shafi, Mumtaz2, & Anwar, 2018).

Smart Water Quality Monitoring and Metering Using Lora for Smart Villages (Manoharan & Rathinasabapathy, 2018).

El suministro de agua de la India es a través de tanques y presas, desde aquellas reservas el agua atraviesa por diferentes etapas hasta llega a los hogares, en cada paso de tuberías el agua puede sufrir riesgos de contaminación (Manoharan & Rathinasabapathy, 2018).

El presente trabajo tiene como objetivo monitorear la calidad del agua, la distribución, uso y detección de fugas químicas en ríos, represas, etc.; es por ello que se plantea monitorear la calidad del agua tomando como referencia los parámetros que garantizan que sea apta al consumo humano, para la agricultura u otras actividades (Manoharan & Rathinasabapathy, 2018).

Para el monitoreo se usará varios sensores que midan: calidad, nivel y flujo del agua; estos datos serán enviados a un servidor de aplicaciones que se aloja en una estación local o en la nube; esto es factible debido a que usaran como medio de comunicación LoRa de tal manera que puedan monitorear reservas de agua hasta en 15km de distancia (Manoharan & Rathinasabapathy, 2018).

El trabajo concluye en que crear Aldeas Inteligentes con IoT es razonable además con la creación del sistema de monitoreo usando de manera alternativa el medio de comunicación LoRa en lugares donde no haya redes celulares disponibles es adecuado y funcional pues el sistema planteado mostró un ahorro de agua en un 20% (Manoharan & Rathinasabapathy, 2018).

Automated IoT based Smart Water Quality Assessment System (Pant, Bhatt, Khan, Nautiyal, & Adhikari, 2019)

La calidad del agua superficial en la India es preocupante pues el 80% se encuentra contaminada más aun en las zonas montañosas de Uttarakhand donde no existe una buena disponibilidad de agua potable por tal motivo la población se

encuentra en la necesidad de consumir agua contaminada sin previo tratamiento causando diferentes enfermedades como: tifoidea, diarrea entre otros (Pant, Bhatt, Khan, Nautiyal, & Adhikari, 2019).

El estudio tiene como objetivo crear un sistema automatizado que permite monitorear la calidad del agua en tiempo real basado en el internet de las cosas, para determinar la calidad del agua usan diferentes sensores como: pH, temperatura, TDS, turbidez y como medio de comunicación utilizan el módulo GSM. Los sensores se encuentran conectados al módulo de Arduino el cual envía los datos al servidor central mediante GSM e inmediatamente se almacenarán en la BDD ORACLE/SQL y el sistema se encarga de determinar la calidad del agua mediante la red neuronal ANN, que es un modelo baso en datos (Pant, Bhatt, Khan, Nautiyal, & Adhikari, 2019).

Para realización de las pruebas se tomó como referencia el lago Naintal que cuenta con una superficie de 48 hectáreas y al ser uno de los más conocidos de la india que beneficia a más de 40000 personas dependientes. Donde se mostraron datos como 11 de pH y 292 de TDS, el sistema se encuentra monitoreando 24/7 y alimentando su red neuronal (Pant, Bhatt, Khan, Nautiyal, & Adhikari, 2019).

Borewell water quality and motor monitoring based on lot Gateway (Poornisha, Keerthana, & Sumathi, 2018)

Los pozos subterráneos de agua para algunas personas en la India son de gran ayuda para cumplir sus necesidades básicas, sim embargo la contaminación de aguas subterráneas es alarmante debido al incremento de la población, por tal motivo las personas en la actualidad concurren a métodos tradicionales para determinar la calidad del agua como; tomar muestras de agua de las diferentes fuentes y enviarlas al laboratorio esto proceso posee inconvenientes a nivel de costo y tiempo (Poornisha, Keerthana, & Sumathi, 2018).

El sistema propuesto por el estudio se base en el monitoreo de la calidad del agua de pozos subterráneos donde utilizan el microprocesador ESP8266 donde se encuentran conectados los sensores de pH, Turbidez, Temperatura y como medio de comunicación para la transferencia de datos utilizaron el módulo WIFI, adicional utilizaron como servidor de aplicación XAMPP y BDD MySQL; en la parte del sistema web la tecnología Angular JS en cual permite visualizar las diferentes tipos de contaminación en tiempo real que pasan en los pozos subterráneos (Poornisha, Keerthana, & Sumathi, 2018).

A Low-Cost Unmanned Surface Vehicle for Pervasive Water Quality Monitoring (Madeo, Pozzebon, Mocenni, & Bertoni, 2020)

El estudio se basa en la creación de un vehículo que permita determinar la calidad de los ríos, lagos o el mar, el cual se trasladará a lo largo del lugar donde desean medir la calidad del agua, el vehículo se llama WeMo (Water Environmental Mobile Observer), prototipo que realizaron bajo el concepto de bajo costo debido a que desean reproducirlo en grandes masas (Madeo, Pozzebon, Mocenni, & Bertoni, 2020).

El estudio se enfoca en el monitoreo y cumple con tres tareas: recolección, análisis y almacenamiento de información. Para medir la calidad del agua se basan en los parámetros químicos y físicos dependiendo a que sector vaya aplicado.

Como metas de investigación se tiene: reducción de los costos de recopilación de datos, ampliar el área de monitoreo, llegar a lugares que no son tomados en cuenta y la construcción de un sistema de monitoreo que refleje los datos en la nube (Madeo, Pozzebon, Mocenni, & Bertoni, 2020).

Para el envío de datos a la nube utilizan la tecnología Lora con el protocolo LoraWAN debido a que la tecnología proporciona un amplio rango de comunicación, el modulo que utilizan es Libelium SX1272 el cual también contiene un módulo de GPS, los

componentes electrónicos (sensores Vernier, módulos, batería, etc.) son programados mediante Arduino UNO, los datos que se obtienen son almacenados en una BDD relacional (MySQL) (Madeo, Pozzebon, Mocenni, & Bertoni, 2020).

Como resultado del estudio se obtuvo la recopilación de datos de diferentes sitios los cuales se han denominado como críticos vistos desde la perspectiva ambiental, la información obtenida se almacena en la base de datos para ser utilizada en la implementación de estrategias futuras en beneficio a la protección del medio ambiente (Madeo, Pozzebon, Mocenni, & Bertoni, 2020).

Development of an Adaptive Rainwater-Harvesting System for Intelligent Selective Redistribution (Cheng, Silva, Buenaño, & Vega, 2019)

El estudio presenta un sistema de recolección de agua de lluvia que permite determinar la calidad agua que se destina a inodoros o sitios de riego designados, las propiedades que son tomadas en cuenta para medir la calidad son pH y turbidez. Las unidades de monitoreo se encuentran integradas a una antena XBee S2B la cual permite conectividad inalámbrica que es eficiente energéticamente mediante Adafruit IO se podrán visualizar los datos mediante dashboard ya que es una plataforma para IoT (Cheng, Silva, Buenaño, & Vega, 2019).

El sistema se encuentra compuesto por una o más unidades de agua de lluvia las cuales se comunican entre sí y con la nube; los datos que se almacenan y envían es nivel de agua ubicado en los tanques, obtenidas por los sensores (Cheng, Silva, Buenaño, & Vega, 2019).

Para que el agua llegue a los inodoros debe pasar por 7 capas las cuales son:

Capa 1: recolección del agua de lluvia cerniendo impurezas visibles

Capa 2: se recoleta el agua con un mínimo de litro

Capa 3: se mide el nivel de pH, si es peligrosamente ácido se libera al sistema principal de agua, si el agua tiene medidas entre 6.5 y 8.5 pasa a la capa 4.

Capa 4: se mide el nivel de turbidez, si sobrepasa los 5 NTU se libera al sistema principal de agua, si se encuentra entre 3.5 y 5 pasa a la capa 5 para filtrado y si es menor a 3.5 NTU se dirige a la capa 6

Capa 6: en esta capa se espera hasta que llegue a un nivel de agua, la séptima capa permite la conexión de todos los dispositivos disponiendo de una única salida por último se tiene la capa 8 la cual representa el tanque del inodoro y la capa nueve representa la reserva para riego de cultivos (Cheng, Silva, Buenaño, & Vega, 2019).

Como resultado se obtuvo un sistema eficiente que permite obtener agua calificada para el uso en los inodoros y el riego siendo la propuesta requerida por comunidades que sufren de escases de agua (Cheng, Silva, Buenaño, & Vega, 2019).

Es uno de los primeros sistemas con soluciones en IoT y CPS junto a los servicios que dispone la nube. El desempeño del sistema es confiable y rentable.

Real Time Monitoring and Controlling of Water Level in Dams using IoT (Siddula, Jain, & Upadhyay, 2018)

El presente estudio tiene como fin automatizar la gestión de las represas en la India usando sensores inalámbricos y el internet de las cosas, para mejorar el desarrollar del sistema lo han dividido en tres partes, las cuales consisten en:

Configuración del sensor: los sensores que se usaron para medir el nivel del agua son ultrasónicos, ellos se colocan a lo largo de la orilla del río en los dos lados de la presa, los sensores se conectan a la estación central mediante un microcontrolador que leerá el nivel agua, los datos son enviados a la nube y posteriormente usados por la base central (Siddula, Jain, & Upadhyay, 2018).

Centro de comando: los datos que se encuentran en la nube son usados por el comando central para así tomar decisiones como el cierre de las presas; si el agua se encuentra en un nivel inferior se podrá redirigir el líquido desde otra presa para el abastecimiento, en cambio si el agua supera el nivel limite se abrirá las puertas de la represa para evitar inundaciones.

Base de datos local: esta unidad lee los comandos enviados por el centro de comando y toma decisiones en referencia a los resultados de los sensores.

Para configurar los sensores usaron el lenguaje Arduino, la creación del sistema se basa en la comunicación de bajo costo y largo alcance (LoRa) (Siddula, Jain, & Upadhayay, 2018).

Para enviar los datos a la base central lo hicieron mediante el módulo XBee, los datos son almacenados en el ESP8266 (actúa como base de datos local) el cual tiene conexión a Wi-Fi y permite el envío de datos a la nube en tiempo real; para la comunicación con la nube usaron la plataforma Thingspeak enfocada IoT que permite enviar los datos a la nube de manera segura (Siddula, Jain, & Upadhayay, 2018).

Del estudio se concluye que es económico, flexible, fácil de configurar además resuelve los problemas de distribución del agua; el sistema ahorra mano de obra y se ha considerado como exitoso (Siddula, Jain, & Upadhayay, 2018).

Preventive Maintenance System for Dam using IoT and Cloud (Bajare, Kawade, Kamble, Deshpande, & Bokefode, 2018)

El estudio tiene como fin monitorear diferentes parámetros como la turbidez, humedad, corrosión en las compuertas, fallas técnicas, inundaciones, entre otras, además permite notificar al usuario sobre posibles cambios inesperados generando alertas; para ello se plantea usar el internet de las cosas ya que permite la interconexión

entre máquina – maquina, maquina - humano tendiendo como resultado eficiencia y toma de decisiones oportunas (Bajare, Kawade, Kamble, Deshpande, & Bokefode, 2018).

El sistema se divide en 5 bloques los cuales son:

Sensores y actuadores: son aquellos que determinan las propiedades del entorno físico, para ello obtienen información del lugar y la envían a cualquier dispositivo o actúan depende la circunstancia.

Servicio en la nube: los datos que llegan a la nube son transformados a información de manera que ésta les permita tomar decisiones.

Aplicación móvil: la función es que el usuario pueda visualizar la información y por ende envíe comandos para corregir cualquier novedad.

Red (IPv6): usando este protocolo se podrá asignar una dirección IP a cada dispositivo para que se pueda conectar al internet.

Raspberry Pi: haciendo uso de este dispositivo se optimizará recursos ya que funciona como una computadora, pero de bajo costo.

La función del prototipo se da de la siguiente manera, primero los sensores recolectan datos de los diferentes parámetros en las presas de agua estos datos pasan a un sensor controlador el cual recopila y procesa los datos, los datos son enviados a la raspberry pi mediante el módulo Wi –Fi para luego ser enviadas a la nube. La aplicación móvil accede a los datos que se encuentran en la nube (Bajare, Kawade, Kamble, Deshpande, & Bokefode, 2018).

Cuando se programó el sistema se configuro la sección de SMS la cual permite el envío de mensajes o un correo electrónico al usuario para notificar cuando se haya generado una alerta; el estudio concluye en que el mantenimiento de la represa será

eficiente debido a que se podrán tomar decisiones en base al análisis de datos que se estructura en la base de datos (Bajare, Kawade, Kamble, Deshpande, & Bokefode, 2018).

An IoT Based Smart Water Quality Monitoring System using Cloud (Jerom, Manimegalai, & Ilayaraja, 2020)

El estudio tiene como objetivo monitorear la calidad del agua usando en internet de las cosas.

Siendo el agua dulce uno de los principales recursos que permiten la continuidad de las especies y sobre todo un recurso limitado que solo representa el 2,5% en el mundo, sin embargo, el 80% del agua dulce se contamina por diferentes actividades como la industria, actividades en los hogares y por animales; debido a estos tipos de contaminación la salud de las personas, la subsistencia de los ecosistemas y los seres vivos en general se encuentran en riesgo (Jerom, Manimegalai, & Ilayaraja, 2020) .

Los parámetros que son utilizados en el estudio para medir la calidad del agua son: pH, temperatura, humedad, CO2 y con la ayuda del sensor MQ9 se puede determinar ciertos parámetros químicos; todos los sensores que permiten determinar la calidad del agua se encuentran conectados al microcontrolador NodeMCU el cual permite el envío de datos a la nube (Jerom, Manimegalai, & Ilayaraja, 2020) .

El estudio plantea una solución por capas; en la primera capa se tiene la captura de datos utilizando sensores que se concentran en el agua, el clúster es el encargado de recolectar la información, es aquí donde se procesa los cambios que permite comparar con datos que se han obtenido en diferentes tiempos, estos datos se envían al servidor para reducir el tamaño del paquete y el consumo de energía (Jerom, Manimegalai, & Ilayaraja, 2020) .

La siguiente capa es de decisión, aquí se diagnostica los datos obtenidos, estos cambios se dan a conocer de forma inmediata, aquí se encuentra programado un

algoritmo el cual permite determinar si existe un cambio drástico en los parámetros del agua, después pasa a la capa tres (capa de control) donde se da seguimiento a los datos, además se refleja esta información es conocida por el usuario (Jerom, Manimegalai, & Ilayaraja, 2020) .

El estudio que permite determinar la calidad del agua se basa en las medidas de TWAD (Tablero de agua y drenaje de Tamil Nadu), es por ello que se ha podido implementar el algoritmo ya que existen datos normados. Como conclusión ha obtenido un sistema que funciona en beneficio de la comunidad ya que los sensores permiten determinar la calidad del agua, la comunicación para el envío de datos a la nube es estable además en la forma en que se encuentra elaborado el prototipo permite que no corra riesgos de daños eliminando así los costos de mantenimiento (Jerom, Manimegalai, & Ilayaraja, 2020) .

IoT based Water Parameter Monitoring System (Krishna, TV, Kumaraswamy, & Nair, 2020)

El estudio presenta una solución que permita monitorear la calidad del agua, analizando los parámetros que la hacen apta al consumo. Los parámetros que son tomados en cuenta son: pH, turbidez, oxígeno disuelto, total de sólidos disueltos, salinidad y compuesto como sodios y nutriente; el sistema plantea una solución la cual consta de tres capas en un extremo se tiene el módulo EXO el cual recopilará los datos ya que a él se conectan los sensores, este dispositivo será colocado dentro del agua con todas las medidas que garanticen su estabilidad al recorrer el agua a él va incluido un limpiaparabrisas que elimine desperdicios, los datos que sean leídos por EXO se los entrega al controlador quien procesa la información y los envía al URL del servidor (Krishna, TV, Kumaraswamy, & Nair, 2020).

Cuando el controlador primario recibe los datos estos se almacenan en un archivo específico ya que el sistema de archivos permite almacenar, editar, eliminar y crear, estos archivos se almacenarán con fecha y hora de creación, cuando los datos han sido obtenidos en los archivos se los entregará a la maquina en formato GSM (Krishna, TV, Kumaraswamy, & Nair, 2020).

El resultado del sistema planteado funciona usando las tecnologías propuestas como el módulo EXO, GSM y el archivador que permitirá almacenar los datos en el momento que el sistema pierda la transmisión en tiempo real, los datos son visualizados en el servidor; como trabajos futuros plantean utilizar otras tecnologías de comunicación y una interfaz para que el usuario pueda visualizar de mejor manera los datos obtenidos sobre la calidad del agua (Krishna, TV, Kumaraswamy, & Nair, 2020).

Características del Estado del Arte

Al conocer la información de los estudios primarios se da respuesta a las preguntas de investigación propuestas, a continuación, se detalla cada RQ.

RQ4. ¿Qué tecnologías se han utilizado para monitorear la calidad del agua en áreas rurales?

Se ha utilizado hardware (display LCD), Software (sistemas web y aplicaciones móviles) y módulos de comunicación, que permite monitorear e informar a la población sobre la contaminación del agua (Shafi, Mumtaz2, & Anwar, 2018) (Bajare, Kawade, Kamble, Deshpande, & Bokefode, 2018) (Manoharan & Rathinasabapathy, 2018) (Siddula, Jain, & Upadhayay, 2018) (Cheng, Silva, Buenaño, & Vega, 2019) (Al-khashab, Daoud, & Majeed, 2019) (Jerom, Manimegalai, & Ilayaraja, 2020) (Krishna, TV, Kumaraswamy, & Nair, 2020).

RQ5. ¿Qué instrumentos se utilizan para determinar e informar sobre la calidad del agua dulce a los usuarios en zonas rurales?

Se han usado sensores, actuadores, válvulas, plataformas y pruebas tradicionales de laboratorio, que miden las principales características para determinar si el agua dulce es de calidad en base a la normativa de cada país o región y basándose en las leyes que regula la OMS, (Shafi, Mumtaz2, & Anwar, 2018) (Bajare, Kawade, Kamble, Deshpande, & Bokefode, 2018) (Manoharan & Rathinasabapathy, 2018) (Siddula, Jain, & Upadhayay, 2018) (Cheng, Silva, Buenaño, & Vega, 2019) (Al-khashab, Daoud, & Majeed, 2019) (Jerom, Manimegalai, & Ilayaraja, 2020) (Krishna, TV, Kumaraswamy, & Nair, 2020).

Finalizado el estudio preliminar de literatura se concluye que las tecnologías e instrumentos utilizados para el monitoreo de la calidad del agua en zonas rurales se presentan a nivel de hardware y software las cuales se integran y permiten informar a la ciudadanía sobre la calidad del agua usando diferentes dispositivos. Como resultado se logró alcanzar el objetivo específico dos.

Metodología

Para la presente investigación se utilizó la metodología Design Science que se enfoca con proyectos que tienen relación a las Ciencias de la Computación (Wieringa, 2014). La metodología consiste en el diseño y la investigación de artefactos que interactúen con un contexto, los artefactos pueden ser de cuatro tipos los cuales son:

- Constructos: facilitan el lenguaje en el cual los problemas y soluciones son definidos, el lenguaje puede ser vocabulario o símbolos (Cataldo, 2015).
- Modelos: simboliza el problema y solución además de la conexión entre sus elementos. En este tipo podemos encontrar abstracciones y representaciones (Cataldo, 2015).
- Métodos: suministran guías acerca de cómo resolver problemas y encontrar soluciones, por ejemplo, se tiene algoritmos y prácticas (Cataldo, 2015).

- Instancias: este tipo de artefacto expone que constructores, modelo o métodos pueden ser implementados. En esta jerarquía se tienen a los sistemas, prototipos e implementaciones (Cataldo, 2015).

Como ya se ha mencionado los artefactos tienen como objetivo interactuar con un contexto problemático con el objetivo de mejorarlo, ejemplos de contexto tenemos: métodos, técnicas, hardware, software, procesos, normas, etc. (Cataldo, 2015).

El propósito de la metodología Design Science es desarrollar conocimiento para el diseño y desarrollo de artefactos, tanto que un entendido en una ciencia específica pueda utilizar y resolver problemas dando soluciones en base a su campo de estudio (Van Aken, 2005).

Ciclo del Diseño e Ingeniería

Design Science establece un ciclo de diseño que implica la iteración de cinco fases las cuales son: investigación de la implementación, diseño del tratamiento, validación del tratamiento, implementación del tratamiento y evaluación del tratamiento (Wieringa, 2014).

La evaluación de la implementación e investigación del tratamiento se encuentran establecidas en una sola fase del modelo de Design Science debido a que los resultados de la evaluación deben responder a la investigación del problema. En la figura 8 se observa el ciclo del Diseño e Ingeniería de Design Science.

Figura 8.

Diseño e Ingeniería de Design Science

Implementación del tratamiento**Evaluación de la implementación/
Investigación del problema**

- ¿Stakeholders? ¿Metas?
- ¿Marco conceptual del problema?
- ¿Fenómeno? ¿Causas, mecanismos, razones?
- ¿Efectos? ¿Contribuciones a las metas?

Validación del tratamiento**Diseño del tratamiento**

- ¿El artefacto X produce efectos dentro de su contexto?
- ¿Se prueban diferentes artefactos?
- ¿Sensibilidad a diferentes contextos?
- ¿Los efectos satisfacen los requisitos?

- ¡Especificar requisitos!
- ¿Los requisitos contribuyen a las metas?
- ¿Son soluciones disponibles?
- ¡Diseñar nuevas soluciones!

Nota: considerar que los signos de interrogación en las fases significan que son preguntas de investigación mientras que los signos de exclamación indican problemas de diseño. Tomado de (Wieringa, 2014).

Investigación del problema.

En esta fase del diseño se define al problema y los elementos involucrados construyendo así un marco idóneo que rodee el problema, los stakeholders son fundamentales ya que ellos contribuyen a fijar metas que permitan solucionar el problema (Wieringa, 2014).

Para definir el problema del presente trabajo se procedió a realizar una investigación exploratoria, utilizando dos técnicas las cuales son: revisión de literatura básica y entrevistas; las cuales nos permitieron conocer la realidad de las personas al no contar con fuentes de suministro de agua potable las 24 horas; con la información obtenida a partir de estas técnicas se realizó un árbol de problemas que permite identificar el problema, causas y efectos comprometidos en la investigación.

Diseño del tratamiento.

Esta fase permite tomar una decisión, es decir, responder a la pregunta ¿Qué hacer?, además la cual se documenta en una especificación. Muchas veces se dice que se está diseñando una solución, pero este término limita las posibilidades de un

artefacto pues es posible que resuelva un problema parcial o total, o incluso el artefacto genere nuevos problemas (Wieringa, 2014), para evitar lo más propio es usar la palabra tratamiento.

Para definir los artefactos del problema se realizó un estudio de literatura preliminar utilizando las guías propuestas por Kitchenham (Kitchenham & Charters, 2017), además se elaboró un bosquejo que permita visualizar todos los elementos involucrados, la propuesta fue discutida entre los autores del proyecto y el director de tesis. Por tal motivo se concluye en desarrollo de un sistema de monitoreo que permita medir la calidad del agua; el sistema se basa en cuatro subsistemas los cuales son: subsistema de recopilación de datos, subsistema de monitoreo WA, subsistema de gestión de la información, subsistema de monitoreo y control exterior. Para desarrollar el sistema de monitoreo se utilizó la metodología SCRUM (Schwaber & Sutherland, 2015), debido a que esta herramienta permite trabajar colaborativamente obteniendo buenos resultados.

Validación del tratamiento

Esta fase trata de justificar los objetivos de los Stakeholders, el propósito de esta parte del ciclo del diseño es investigar los efectos que se dan en la iteración del prototipo con el artefacto y el modelo realizado en base al contexto del problema, seguidamente se debe comparar con los requisitos del tratamiento (Wieringa, 2014).

La investigación de validación es experimental y comúnmente se realiza en un laboratorio definiendo escenarios casi exactos de la vida cotidiana, los métodos más usados en esta fase son: modelado, simulación y pruebas (Wieringa, 2014).

Finalmente, al construir el sistema de monitoreo que permite medir la calidad del agua se realizó pruebas de laboratorio para confirmar que los subsistemas funcionen, que la conexión sea estable y segura además que la información presentada

sea clara y fácil de interpretar, con el fin de verificar si se han cumplido los objetivos planteados.

Implementación

Esta fase se define como la aplicación del tratamiento y se podría decir que es “trasferencia al contexto del problema”, los problemas en base al diseño se limitan a las tres fases del ciclo de ingeniería las cuales son: investigación del problema, diseño y validación del tratamiento (Wieringa, 2014).

El termino implementación se confunde debido a los diferentes puntos de vista, por ejemplo, el actor externo visualiza al investigador el cual realiza diferentes iteraciones sin haber implementado el tratamiento, en cuanto el investigador sabe que, él produce varias implementaciones y las pone a prueba; al unir las dos partes tanto del actor externo como del investigador se plantean diferentes dudas y es ahí donde se resuelve la confusión pues se discuten diferentes problemas y se procede a la implementación.

En el presente trabajo se definen casos de estudio basados en situaciones reales de agua contaminada los cuales permitirán validar el sistema propuesto.

Evaluación de la implementación

Cuando realizamos la fase de evaluación de la implementación tenemos una visión sugerente en donde se puede usar la experiencia de los involucrados para mejorar el diseño planteado. La Fase tienen como objetivo conocer cómo interactúan los artefactos implementados con el contexto del mundo (Wieringa, 2014).

Los métodos que se pueden usar para la evaluación de la implementación son encuestas, y estudios de casos observacionales sin embargo también es factible usar otras técnicas, por ejemplo, existen casos especiales de acción técnica, este es un

método que permite probar un nuevo artefacto real, usándolo para resolver problemas del mundo real (Wieringa, 2014).

Para evaluar el rendimiento del prototipo Water Alert se puso a prueba los casos de estudio antes planteados, resultados que se dan a conocer en los siguientes capítulos.

Design Science aplicado

En la tabla 5 se muestran las fases y actividades aplicadas en el presente trabajo:

Tabla 5.

Design Science aplicado

Fases de Design Science	Tareas	Objetivo relacionado
Identificación del problema	<ul style="list-style-type: none"> * Definir el problema * Plantear preguntas de investigación * Detallar objetivos * Definir el alcance del proyecto * Realizar el árbol de problemas 	* Realizar un estudio de la situación actual en torno al desconocimiento de la calidad de agua dulce que se consume en zonas rurales a través de una investigación exploratoria.
Diseño del tratamiento	<ul style="list-style-type: none"> *Realizar una investigación de literatura preliminar * Elaborar el estado del arte * Establecer de requisitos * Diseñar la arquitectura del prototipo * Diseñar la BDD * Diseñar el sistema web de WA * Construir el prototipo * Construir la red LoRa 	<ul style="list-style-type: none"> * Estudiar la factibilidad de aplicación de propuestas tecnológicas de monitoreo de la calidad del agua dulce en zonas rurales a través de una revisión de literatura preliminar. * Desarrollar un prototipo de sistema de monitoreo de agua dulce basado en la tecnología de comunicación LoRa y la metodología de desarrollo de software SCRUM.
Validación del tratamiento	<ul style="list-style-type: none"> * Realizar pruebas de laboratorio para verificar que los subsistemas funcionen * Constatar que la red LoRa funcione enviando y recibiendo paquetes 	* Validar el prototipo de sistema de monitoreo de agua dulce mediante pruebas de laboratorio simuladas basadas en casos de estudio reales.
Implementación del tratamiento	*Proponer casos de estudio para verificar la funcionalidad del prototipo	
Evaluación de la implementación	*Validar los casos de estudio propuestos	

Marco Teórico

Previa la formulación de la hipótesis que se encuentra planteada en el capítulo uno (Introducción), se establece las variables que se definen de la siguiente manera:

Señalamiento de variables

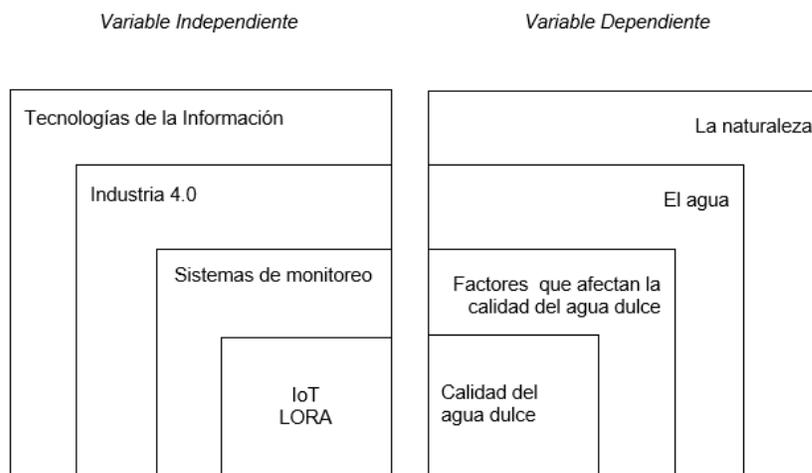
- **Variable independiente:** Sistema de monitoreo
- **Variable dependiente:** Calidad del agua

Red de categorías.

Con el propósito de buscar procedencia en la sección teórica del presente trabajo, se creyó necesario estructurar una red de las principales categorías que constituyen el tema, a continuación, se detallan en la figura 9.

Figura 9.

Red de categorías.



Nota. Son temas correspondientes para la variable dependiente como para la variable independiente las cuales están inmersas en el tema del trabajo propuesto. Fuente: elaboración propia.

Fundamentación de la Variable Independiente.

Tecnologías de la información.

Según Gil (2002) “Las TIC constituyen un conjunto de aplicaciones, sistemas, herramientas, técnicas y metodologías asociadas a la digitalización de señales analógicas, sonidos, textos e imágenes, manejables en tiempo real” (Cano, 2018).

Las tecnologías de la información y comunicación o también conocidas como las Tics, tienen como propósito mejorar la calidad de vida de las personas dentro del entorno donde se desenvuelven; considerando que actualmente se encuentran presentes en los diferentes elementos de la sociedad incluyendo a las grandes corporaciones, pymes, universidades, colegios, profesionales y personas particulares, se sabe que las tecnologías son indispensables en diferentes actividades pues permitan cumplir metas ya sea a nivel individual o empresarial (Suárez, 2010).

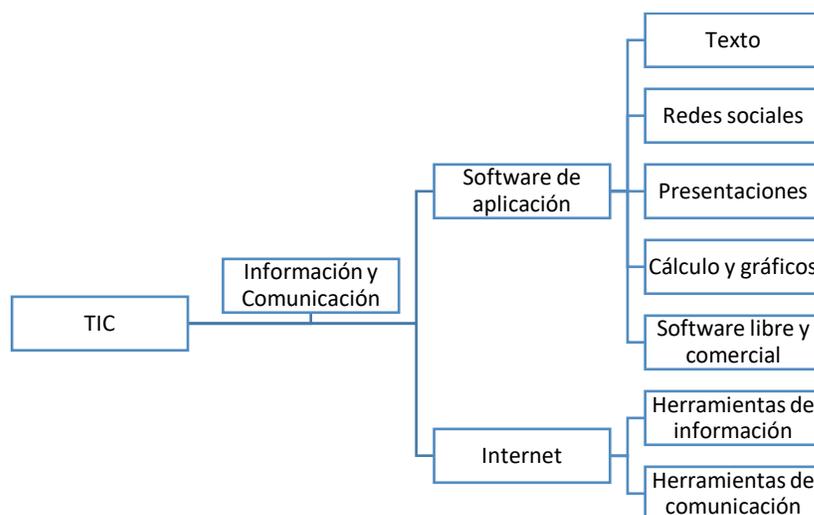
Las organizaciones cada vez se enfrentan a nuevos retos tecnológicos que les permite manejar escenarios complejos, pues si se tiene al alcance las nuevas tecnologías y conocen el funcionamiento, se obtiene beneficios y mejores oportunidades en el mercado logrando alcanzar objetivos (Betty, 2008).

Estas tecnologías también son conocidas como **informática** que se deriva de (<<información>> y <<automática>>) por ser la ciencia que estudia aquellas técnicas y procesos automatizados los cuales actúan sobre los datos e información incluyendo el desarrollo de la comunicación a distancia (Suárez, 2010).

El conjunto de dispositivos, servicios o tareas las cuales se basan en tecnologías de cómputo ya sea a nivel de hardware o software se conoce como las Tics; en el libro “Tecnologías de la información” escrito por Jorge Vasconcelos se indica la estructura conceptual de las TIC (ver figura 10) (Vasconcelos, 2015).

Figura 10.

Estructura de las Tics.



Nota: Como se observa en el gráfico, primero se encuentra la información y comunicación pues constituye al grupo de datos que ya se han analizado y ordenado con anterioridad para construir un mensaje que permita resolver inquietudes o problemas y así entablar la comunicación, luego se descompone en dos términos generales que son el software de aplicación e internet los cuales complementan una estructura de comunicación con el mundo exterior. Tomado de: (Vasconcelos, 2015).

En la sociedad, las Tics han impactado en diferentes ámbitos no solamente a nivel económico sino en la mejora de la educación, servicios, negocios, marketing, entre otros, siendo estas tecnologías herramientas teórico-conceptuales que brindan soporte, almacenan, recuperan y procesan información; además han demostrado una transformación en la comunicación y desenvolvimiento en la sociedad, logrando cambios en las relaciones interpersonales incluso en la manera de emitir y generar conocimiento (Ciberespacio profesional, 2011).

A finales del siglo XX con el avance de las Tics se dio paso al término “sociedad de la información” donde se desencadenó la tercera revolución industrial, teniendo

como características principales: la innovación, desarrollo de nuevas tecnologías, nuevos medios de comunicación, aparición de nuevos robots, entre otros (Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2005); debido a la creación de estas tecnologías y al avance al que la sociedad se encuentra sometida con la gran cantidad de información y el estilo de vida de las nuevas generaciones hoy por hoy ya se encuentra en auge la cuarta revolución que se le conoce como industria 4.0, dejando por sentado que para el año 2020 este término estará profundamente enlazado en los procesos que se desarrollan en el ámbito social, empresarial, político y económico (aggity, 2020).

Industria 4.0.

El concepto de industria 4.0 inicia en el año 2011 en Alemania con su aparición por primera vez en la Feria de Hannover (Feria industrial más grande del mundo), convirtiéndose en un punto principal del Plan Estratégico de Alta Tecnología, el cual era caracterizado por la automatización, digitalización de procesos y el uso de nuevas tecnologías; además por factores importantes como la personalización de la producción y generar un valor agregado a la empresa (Basco, Beliz, & Diego, 2018).

Existe una nueva tecnología que se encuentra relacionada con la industria 4.0 como es: el internet de las cosas (IoT), Big Data y la analítica, se incluye a las tecnologías de la información y comunicación y sobre todo la IA (Inteligencia Artificial); al unir las tecnologías se generan cambios que impactan a la industria y al comportamiento del usuario en correlación con los negocios; además la combinación de nuevas tecnologías han permitido la digitalización de los sistemas de información, los sistemas automatizados para la comprobación de procesos y la elección de opciones en un tiempo oportuno (Ynzunza, Izar, & Bocarando, 2017).

Se define a la industria 4.0 como maquinaria que contiene dispositivos, sensores y un software el cual le permita controlar, monitorear y mostrar los resultados dentro

de la organización. La industria 4.0 posee los siguientes pilares tecnológicos, los cuales se mencionan y especifican a continuación (Ynzunza, Izar, & Bocarando, 2017):

Sistemas de integración.

Los sistemas de integración o como se los conoce generalmente ERP que ha español se traduce como: Sistema de Planificación de Recursos Empresariales, son sistemas que permiten la integración de tecnologías operacionales (TO) con tecnologías de la información y comunicación (TIC), de tal forma que permiten dar solución de manera integral, pues está conformada por módulos básicos que obtiene información hasta los que se agregan para ir incorporando funciones al ERP (Benvenuto, 2006).

Los sistemas de integración permiten el envío y recepción de información entre la máquina y el humano, la conexión de máquina a máquina (M2M), máquina con productos y la integración de diferentes áreas productivas en la organización para que así los procesos se den de manera organizada y eficiente (Kovács, 2018).

Big Data y análisis de grandes datos.

Es importante reconocer que información es el activo primordial dentro de las organizaciones pues permite tomar decisiones en base al análisis de la misma.

El termino Big Data hace referencia al gran volumen de datos que posee una empresa, estos datos pueden estar procesados o sin procesar, las características principales del Big Data son las 5 V: volumen, variedad, veracidad, valor y velocidad (García, Ramírez, & Luengo, 2016).

La información que se recolecta puede proceder de sensores, micrófonos, cámaras, teléfonos inteligentes, redes sociales, empresas y proveedores; pero lo más importante de este gran volumen de información no es la cantidad si no la calidad ya que mediante diferentes tipos de algoritmos se puede tomar decisiones estratégicas en

tiempo real para que las organizaciones tomen decisiones y les permita mejorar sus procesos (Ynzunza, Izar, & Bocarando, 2017).

Computación en la nube.

Cloud Computing es un modelo de fácil acceso a recursos ya sean estos privados o públicos, como: servidores, almacenamiento (BDD), aplicaciones y servicios; esta tecnología permite tener acceso a los recursos de una manera flexible desde cualquier parte del mundo mediante dispositivos conectados al internet y además haciendo uso del mínimo esfuerzo de gestión administrativa y de interacción con el proveedor de servicios, por ejemplo muchas personas usan servicios que se encuentran en la nube como el correo electrónico, redes sociales o juegos en línea, entre otros. (Verela, Portella, & Pallares, 2017).

La computación en la nube brinda los siguientes servicios: Software como Servicio (SaaS), Plataforma como Servicio (PaaS), Infraestructura como servicio (IaaS), todos constan de las siguientes características: agilidad, disponibilidad, interoperabilidad, seguridad y privacidad de datos. Los servicios antes mencionados pueden ser manejados como públicos (manejado por terceros), privado (manejado por la organización) o híbrido (combinación de privado y público) (Curto, 2010).

Inteligencia Artificial

IA (Inteligencia Artificial) se basa en la implementación de algoritmos que permiten la ejecución de procesos de aprendizaje y reconocimiento, para que los ordenadores realicen cosas que puede hacer el cerebro humano (Boden, 2016). El aprendizaje es la capacidad que un sistema tiene para adaptarse a entornos que cambian con frecuencia (Rigau, 2019), para que exista un proceso de aprendizaje los algoritmos desarrollados para los sistemas se fortalecen de datos y de diferentes experiencias que ayudan a perfeccionar las capacidades de la máquina, logrando

mejoras en los procesos de negocio en los cuales los procesos repetitivos de alguna manera se los puede automatizar, también podemos mejorar la productividad y la más importante, la toma de decisiones rápidas o mejores alternativas para las organizaciones (Leyva & Smarandache, 2018).

Ciberseguridad

La ciberseguridad es un conjunto de: herramientas, políticas, gestión de riesgos, acciones, formaciones que son utilizadas para la protección de activos de la organización, pues se debe garantizar tener una estructura sólida para la recepción y envío de información; este tipo de mecanismos surgen debido a la evolución de una industria inteligente y la integración de varias tecnologías como la computación en la nube, plataformas digitales que obligan al desarrollo de nuevas alternativas de seguridad que nos ayuden a anticipar y neutralizar amenazas en los sistemas de la organización (Aguilar, 2017).

Internet de las cosas (IoT)

IoT es un paradigma que permite la interconexión de diferentes dispositivos entre sí, para intercambiar información según las necesidades del usuario, estos dispositivos pueden ser: sensores, computadoras, teléfonos inteligentes o cualquier otro dispositivo. Así mismo, este paradigma busca que cada objeto cotidiano pueda integrarse a una red y transmitir información sin la necesidad que intervenga un humano permitiendo que las maquinas se vuelvan autónomas e inteligentes (Aguilar, 2017).

A continuación, en la figura 11, se muestran las tecnologías que forman parte de la industria 4.0, algunas de las cuales ya se ha mencionado su propósito.

Figura 11.

La industria 4.0.



Nota. Como se ha indicado en múltiples ocasiones la unión de varias tecnologías permiten la automatización de procesos, aumentar la productividad de las organizaciones además que ayuda facilitando las actividades diarias de los seres humanos, es por ello que ya se han creado varios sistemas inteligentes. Fuente: (Pérez, 2019).

Sistemas de monitoreo.

El monitoreo permite identificar de manera organizada la calidad de desempeño de un procedimiento, generalmente sirve para observar cambios que se producen en el tiempo y determinar acciones sobre el sistema ya sea de una forma manual o automatizada (Calle & Rivera, 2014).

Un sistema de monitoreo permite optimizar los recursos disponibles y aquellos que son indispensables dentro de las industrias; uno de los ejemplos más comunes son los sistemas de monitoreo hidráulicos, los cuales permiten generar el uso apropiado del agua y tener el control de los consumos o descargas, control de la presión del abastecimiento, control de las válvulas y cisternas; procesos los cuales normalmente se los realiza de forma manual (Suhissa, 2017).

Una de las principales ventajas del monitoreo es que permite realizar un mapeo exhaustivo de todos los componentes de un sistema y así verificar el comportamiento de estos dispositivos, los cuales pueden ser: de red, memoria, servidores, sistemas inteligentes, entornos virtuales, entre otros. Si una organización está creciendo en

ámbitos como el desempeño, almacenamiento, capacidad de respuesta, entre otros.; la manera más apropiada de detectar estos tipos de cambios es a través de un monitoreo constante para evitar cualquier tipo de problemas con el sistema (Araujo, 2020).

Actualmente podemos encontrar sistemas que permiten la integración de diferentes recursos con el fin de controlar y monitorear los cambios que puedan existir en los procesos, los cuales generalmente son conocidos como sistema de adquisición de datos (SAD), para obtener estos datos se incluye algunos elementos como los siguientes:

I. Sensores o transductores

Los sensores son dispositivos que permiten convertir una variable física en una magnitud eléctrica ya sea en voltaje, corriente, resistencia, capacidad; es decir realizan una conversión de energías y proporcionan información sobre el estado y la magnitud, estos datos que son transformados por el sensor son útiles para los sistemas de medición (Corona, Abarca, & Mares, 2014).

II. Acondicionamiento de la señal

Generalmente un sistema de medición procesa la señal de salida de una manera adecuada como para dar paso a la siguiente etapa de la operación, por ejemplo, si la señal es pequeña se tendría que amplificar y en el caso de ser análoga se requiere transformar a digital o viceversa, a estos tipos de modificaciones se las conoce como “condicionamiento de señales” (Fuentes, 2020).

En la actualidad existen sistemas de monitoreo y control por ejemplo SCADA (“Supervisory Control And Data Acquisition”) es un software que permite la adquisición de datos y control de la comunicación con los dispositivos que se encuentran conectados y los procesos de una forma automática a través de un ordenador adicional, el software provee la información que se genera en los diferentes procesos productivos de la organización (Lopez, 2013).

Los sistemas de monitoreo permiten la integración de sistemas con tecnología GPRS y tecnologías de redes como Wifi, LoraWan que permiten el envío y transmisión de datos. En la actualidad son de gran ayuda para las organizaciones y más aún con los avances tecnológicos junto con el internet de las cosas el cual es un punto esencial que permite tener el control y monitoreo de los dispositivos que se encuentran conectados a la red (matooma, 2019).

IoT.

Este término es un componente tecnológico que se basa de la industria 4.0, aunque el concepto de IoT aparenta ser nuevo, es importante mencionar que el origen de este concepto empieza en el siglo XIX cuando empezaron a conectarse varios objetos considerándose como los primeros experimentos, pues ya se usaban enlaces de onda corta y los datos eran transmitidos a ciertas distancias, es por ello que cuando el internet entro en auge la idea de conectar más objetos empezó a popularizarse (Cruz, Oliete, & Morales, 2015). El término de Internet de las cosas fue mencionado en el 1999 por Kevin Ashton quien dijo “That Internet of things” en una conferencia en Procter & Gamble, desde entonces IoT se encuentra presente en cualquier asamblea tecnológica o en propuestas innovadoras dentro del ámbito de telecomunicaciones, electrónica, robótica, etc. (Badilla & Carrillo, 2015).

Las tecnologías que son conocidas como internet de las cosas producen impactos en la sociedad pues han transformado la cotidianidad y la forma de comunicarse, ya que ahora una conversación se entabla mejor mediante un dispositivo electrónico que de forma presencial, esto se debe acelerado avance tecnológico.

Se debe tener en cuenta que la comunicación actualmente es más fácil, rápida y en la gran mayoría accesible ya que una persona se mantiene conectada al internet gran parte del día; sin embargo, el área donde el IoT provocará una gran transformación es

en el sector industrial ya que los procesos se harán de manera eficiente y productiva (Badilla & Carrillo, 2015).

El internet de las cosas ha pasado de ser un concepto de interconexión digital a la interrelación inteligente entre objetos, personas y/o procesos, que conlleva a que varias tecnologías tengan la capacidad de interactuar autónomamente con diferentes sistemas de información, se dice que en un futuro no muy lejano (10 años) se tendrá cerca de 500000 millones de dispositivos interconectados, esto hace referencia a que la población tenga una cantidad considerable de dispositivos que le permitan vivir lo cotidiano, sin embargo, es importante tomar en cuenta que debido al avance tecnológico los empleos con tareas repetitivas pueden disminuir o se exigirá personal calificado con mayores capacidades, principalmente en áreas de investigación y desarrollo tecnológico; llegando a generar desempleo para quienes no se encuentren preparadas (Quiñonez, 2019).

Considerando que el progreso tecnológico tiene dos caras, por un lado el hecho generar nuevas tecnologías ofreciendo posibilidades de progreso material además de la satisfacción de las necesidades personales; sin embargo por otro lado significa que se amenazan diferentes profesiones así como muchos puestos de trabajo, considerando que algunas empresas ya se adelantaron en tecnología y este es el caso de Fundación Telefónica de España que menciona una frase importante donde dice: "Nunca había sido tan difícil anticipar el futuro, pero nunca había sido tan necesario intentarlo"; pues en su estudio plantea 50 estrategias en cuanto al trabajo y Revolución digital (Fundación Telefónica, 2018). Los ámbitos en que se ha dividido el estudio para la creación de las estrategias son: educación y aprendizaje, ciencia y tecnología, empresas y trabajo, sociedad y cultura, finalizando con gobierno y políticas (Fundación Telefónica, 2018).

En la actualidad ya se están creando tecnologías bajo el paradigma de internet de las cosas que han permitido mejorar o cambiar la forma en que se han realizado las actividades dentro de las industrias por ejemplo en Argentina se están implementando mejorías en maquinaria industrial con IoT que le permite a la industria realizar cambios orientados a infraestructuras inteligentes incluso la digitalización de metodologías, para ello requieren incorporar sensores que permitan alimentar a los sistemas informáticos de control (Candia, Rodriguez, & Castro, 2018).

El pilar fundamental para la digitalización es el Internet de las cosas además de ciertas tecnologías como Cloud Computing, Big data, inteligencia artificial, sin embargo, el mayor beneficio de estas tecnologías radica en que se automaticen tareas que requieran de gran cantidad de mano de obra, intervención humana o a su vez conlleven mucho tiempo realizar. IoT no solamente impacta de manera directa a las empresas debido a los cambios en procesos o desarrollo de productos, sino que afecta de forma positiva a la experiencia tanto de los trabajadores, usuarios o consumidores por ejemplo proyectos que se enfocan en detener el cambio climático hace que la sociedad le apueste a la tecnología para que la situación actual del planeta no empeore (Kranz, 2017).

Las tecnologías bajo el concepto de IoT se encuentran en una evolución constante, ahora bien, si dentro de sitios con conexión a internet, frecuencia de radio o tv es posible crear dispositivos que ayuden tanto a empresas o a las necesidades personales, la pregunta es: ¿Cuál es la alternativa para poder llegar a sectores donde no se cuenta con ninguna de estas formas de comunicación?, es ahí donde las redes de comunicación plantean soluciones para aplicar sus conceptos bajo el paradigma de

internet de las cosas dando lugar a las redes de bajo consumo que se denominan LPWAN (Low Power Wide Area Network) (Pereyra, Rattaro, & Rodríguez, 2019).

Dentro del este grupo de redes una de las tecnologías más relevantes es LoRaWAN, el cual es un protocolo de red que usa Lora siendo este un tipo de modulación de radio frecuencia que es ideal para conexiones a grandes distancias y para la conexión de redes de IoT que se pueden usar en ciudades inteligentes, lugares con poco acceso a internet o redes que son privadas a sensores o actuadores; tecnología la cual se encuentra patentado por Semtech (Sabas, 2017).

LPWAN tiene ciertas características que le han permitido tener un auge para el desarrollo de tecnologías de IoT por ejemplo: la demanda de energía es menor comparado con las redes de telefonía móvil, por otro lado tenemos la disponibilidad del ancho de banda, costos, uso de batería, entre otras; por ello es importante conocer los protocolos más usados en estas redes; en la tabla 6 se muestran las tres principales tecnologías donde permite comparar cada uno de los parámetros nombrados con anterioridad (Cámar, 2018).

Tabla 6.

Comparativa de tecnologías de IoT

	Sigfox	LoRa	NB - lot
Disponibilidad	40 km Depende del despliegue	20 km Depende del despliegue	10 km Se soporta en la infraestructura LTE/4G
Costo	Infraestructura: alto Dispositivos: bajo	Infraestructura: bajo Dispositivos: medio	Infraestructura: alto Dispositivos: alto
Uso de batería	Bajo	Bajo	Medio

	Sigfox	LoRa	NB - lot
Ancho de banda	100 bps	300 – 50 kbps dependiendo del rango	200 kbps

Nota: la tabla 4 muestra la comparación de las tres principales tecnologías de LPWAN bajo los cuatro criterios importantes que se necesita saber al momento de escoger cualquiera de ellas para la construcción de infraestructura de IoT (Cámar, 2018). Tomado de (Cámar, 2018).

Ahora bien, considerando la red LoRa, es la mejor opción ya que ofrece buen nivel de cobertura en dispositivos para IoT; en cuanto al espectro no licenciado o radiofrecuencia se refiere a cualquier dispositivo que permita la comunicación con otras personas que tengan acceso al internet y además sin que tenga cables de por medio (Otero, 2016). Lora hace referencia a la capa física que es usada en estas redes la cual está basada en la modulación de CSS (Chirp Spread Spectrum), según Pereyra, Rattaro, & Rodríguez: “la idea de CSS consiste en extender en frecuencia la información modulando la señal con una sinusoidal de frecuencia variable linealmente en el tiempo” (Pereyra, Rattaro, & Rodríguez, 2019), permitiendo de esta manera hacer que la señal sea robusta ante el ruido y las interferencias.

Las principales características de LoRa son:

- Proporcionar una comunicación bidireccional segura.
- La batería puede durar hasta 10 años.
- Rendimiento eficiente en ambientes exteriores.
- Alta tolerancia a interferencias
- Está basada en modulación “chirp”.
- Conexión punto a punto.

Además de todas las características que se han nombrado anteriormente las estaciones de LoRa son capaces de recibir mensajes simultáneamente utilizando factores de propagación, para que esta tecnología logre adaptar la tasa de datos y el equilibrio de rango usa seis factores de dispersión de SF7 a SF12 (SF = Spreading Factor), considerando que a un mayor SF (factor de dispersión) logra mayor alcance a costa de menor cantidad de datos transmitidos en el tiempo (Carrión, 2017).

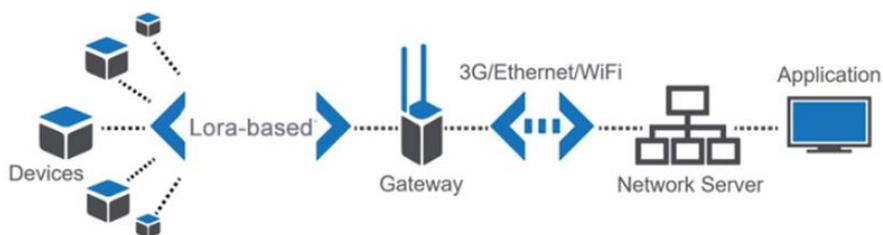
LoRa-Alliance promociona las capacidades de la plataforma junto con la red LoRa tanto para operadores públicos como privados; si es público implica que cualquier usuario puede comprar LoRa y así realizar sus propias redes. En términos comerciales las tres categorías principales de redes que se puede construir son:

- Soluciones privadas y patentadas, utilizando la capa física de LoRa junto con los componentes que administra la capa.
- Usando productos de LoRaWAN conectados a la red privada.
- Uso de productos de LoRaWAN conectados a la red de LoRaWAN que sean administrados por un operador convencional.

El modelo de LoRaWAN permite a las terminales que se encuentran usando LoRa puedan operar diferentes redes disponibles ya sean estas públicas o privadas (Paret & Crégo, 2019), ver figura 12.

Figura 12.

Operación de las redes con LoRa.



Nota: la figura muestra todos los dispositivos que pueden comunicar utilizando como moderador a LoRa. Tomado de (MOKOSmart, 2020).

En los últimos años la tecnología de Lora junto al protocolo de LoRaWAN ha sido usada en diferentes desarrollos tecnológicos que permitan una comunicación e interconexión entre dispositivos. Por las características que posee esta tecnología se ha considerado usarla para solventar el problema de comunicación en sectores de difícil acceso o en zonas donde no se cuenta con redes tradicionales como celular, tv, radio o internet. En la era tecnológica es importante que todos se involucren y aumenten su productividad usando otras formas de conexión que permitan mantener la comunicación y el desarrollo en diferentes áreas.

Fundamentación de la Variable Dependiente.

La naturaleza.

Se la define como un conjunto de todo lo existente que en su creación no haya tenido que ver el hombre, en muchos casos se suele utilizar el término salvaje o silvestre refiriéndose a un elemento natural, en cuanto al termino salvaje determinamos la idea de una “naturaleza virgen” considerando aquellos espacios que no fueron manipulados por el hombre pues son lugares sagrados que permiten contemplar la belleza existente de un paisaje puro; sin embargo en la actualidad este término, ya no es muy común debido a que los seres humanos han explotado diversas áreas naturales (D.Vincenti, 2017).

Se debe considerar que la naturaleza es la encargada de brindar a los factores bióticos(organismos vivos que interactúan con otros) los recursos necesarios para la vida, por ejemplo las personas obtienen variedad de productos que pueden ser: alimenticios, de vivienda, generación de energía, desarrollo de herramientas, etc., así también los animales viven en la naturaleza tomando todo lo que ella les brinde para subsistir; es por esa razón que se dice que cualquier elemento que se encuentra presente en la naturaleza es un recurso natural que ayuda a satisfacer las necesidades de los seres vivos, los diferentes recursos pueden ser utilizados de forma directa o también pueden ser transformados, por ejemplo las frutas que se las puede consumir directamente o también mediante un proceso industrial donde puede ser transformada a mermelada o jugo (Gonzalo, 2019).

Los recursos que encontramos en la naturaleza se dividen en:

I. Recursos Renovables

Se los considera recursos renovables porque tienen la capacidad de reproducirse o restaurarse a una velocidad superior de la que son consumidos por el ser humano, algunos de estos recursos pueden ser inagotables como es el caso del sol, viento, olas y mareas, que no corren el peligro de desgastarse por las diferentes acciones humanas, a diferencia de otros recursos renovables como: el suelo, el agua, las plantas y animales los cuales son factores vulnerables, debido a que si existe un uso inadecuado o excesivo disminuye la capacidad de regenerarse y corre el riesgo de desabastecimiento en un futuro (Badii, Guillen, & Abreu, 2016); los tres principales recursos renovables son:

- EL SOL: La vida en el planeta tierra depende del Sol y si no existiera, la Tierra sería un cuerpo frío y oscuro incapaz de desarrollarse. El sol es una fuente natural e inagotable, está presente debido que la naturaleza lo renueva constantemente, los

seres humanos han aprovechado de buena manera este recurso por ejemplo con la ayuda de la tecnología, se ha construido paneles solares aprovechando la radiación para producir electricidad, este tipo de energía es considerada limpia debido a su bajo impacto de contaminación al medio ambiente (Puig & Jofra, 2019).

- EL VIENTO: es la corriente de aire el cual es primordial para la existencia de los seres vivos ya que posee el oxígeno (O) que es necesario para respirar; aunque existen gases tóxicos que son producidas por las actividades realizados por los humanos que ponen en peligro la salud de los seres vivos (S&P, 2018).
- EL AGUA: Es el líquido vital para todos los seres vivos y los ecosistemas, puesto que permite la nutrición, respiración, excreción, además también interviene en diferentes actividades que desarrollan los humanos como en la industria de alimentos, higiene, riego, sembrío, transportación y también es posible generar energía (RENAPRA, 2016).

II. Recursos no Renovables

Los recursos naturales no renovables son aquellos bienes o materiales que existen de forma limitada en la naturaleza, es considerado como un recurso natural ya que su cantidad no aumenta con el paso del tiempo además no pueden ser producidos, cultivados ni regenerados; la mayoría de estos recursos se los encuentra en el subsuelo del planeta por ejemplo el petróleo, el oro, la plata, etc. (Hernandez, 2017).

El agua.

El agua cubre el 71% del área del planeta tierra y representa el sustento de la vida, alrededor del 96,5% de agua del planeta se los encuentra en los océanos, pero solo el 3% del agua es dulce; los glaciares, la nieve, los casquetes polares representan el 1,74% de agua dulce y alrededor del 0,76% es el agua que se encuentra accesible en lagos y humedales (ABENGOA, 2015)

Agua en el Ecuador.

Según la investigación de CEPAL “En el Ecuador existen zonas donde el agua subterránea es el único recurso accesible para abastecer a la población o para el riego de los cultivos” (CEPAL, 2018), además en el informe se indica que según la SENAGUA en el 2011 las demandas de acuerdo con el sector sobre el consumo de agua en el Ecuador abarcan un 80% en el uso agrícola, seguido del 13% de uso doméstico y el 7% es de uso de industrial.

En el Ecuador los usos más frecuentes del agua en términos generales se dan en el riego, uso doméstico y en la industria, a continuación, el detalle:

Las actividades de riego en el Ecuador conllevan a una demanda promedio de $13.100m^3/ha/año$ de agua; en cuanto a la infraestructura es poco tecnificada y esto implica que se desperdicie el agua, sin embargo, en empresas grandes que se dedican a la exportación de productos como banano, flores, frutas, hortalizas, etc.; cuentan con tecnología para las actividades de riego debido a su alta rentabilidad (CEPAL, 2011).

Cuando se habla de uso doméstico del agua se considera al abastecimiento y saneamiento pues estas actividades son las que satisfacen las necesidades básicas de las personas; sin embargo en el Ecuador alrededor del 67% de los hogares cuentan con estos servicios a su vez este porcentaje se encuentra dividido en dos sectores siendo un 82% hogares urbanos y el 38% hogares rurales; aunque no se considera de forma general sino que esto también depende la región donde se encuentre pues el servicio cubre a la Sierra en un 68,5%, a la Costa con 55,2% y al Oriente en un 35,2% (Geo Ecuador, 2008).

El uso del agua en el país a nivel industria corresponde a diferentes actividades de las cuales más contaminantes se consideran según el informe de Geo Ecuador a las siguientes industrias: “química y petro - química, refinería de petróleo, explotaciones

mineras, metalúrgica, textil, curtiembres, fábricas de alimentos y de alcohol, papel y celulosa” (Geo Ecuador, 2008); aunque no se conozcan cifras promedio del agua utilizada por estas industrias si existe información de cómo afecta la calidad del agua en consecuencia a los desechos industriales, por ejemplo los ríos más afectados en Quito son Machangara y Monjas; en el Oriente el río Napo, Coca, Aguarico, Cuyabeno; etc. (Geo Ecuador, 2008). Siendo el agua un recurso esencial para la vida, millones de personas alrededor del mundo tienen escases de agua dulce por tal motivo existe una lucha constante para lograr conseguir agua apta para el consumo humano y lograr atender las necesidades básicas de las personas, en el mundo millones de niños son afectados a causa de enfermedades transmitidas por la contaminación del agua (Secretaría de ONU-Agua, 2015).

Factores que afectan la calidad del agua dulce.

Según la directiva 2000/60/CE DMA (Directiva Marco del Agua), quienes después de cinco años de un arduo trabajo con varios expertos, consumistas, medioambientalistas y políticos llegaron a determinar el 22 de diciembre del 2000 un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. La DMA estableció una lista con los contaminantes primordiales los cuales se encuentran divididos en doce grupos, como primordiales se mencionan a 45 sustancias de las cuales 21 se deben considerar como peligrosas (Diario oficial de la UE, 2013), a continuación, en la tabla 7 se detallan las categorías con su contaminante:

Tabla 7.

Categorías según el tipo de contaminación y contaminante

Tipo de contaminación	Contaminante
Por sustancias peligrosas	<ul style="list-style-type: none"> • Compuestos organohalogenados, organofosforados, organoestánicos • Sustancias con propiedades cancerígenas, muta génica o esteroideogénicas, o que afectan a otras funciones reproductoras o endocrinas.

	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrocarburos y sustancias orgánicas dañinas y bioacumulables • Cianuros • Metales y sus compuestos • Arsénico y sus compuestos • Biocidas y productos fitosanitarios
Por nutrientes	Sustancias que ayudan a la eutrofización (en particular nitratos y fosfatos)
Por materia orgánica	Sustancias que ejercen una influencia desfavorable sobre el balance de oxígeno tales como DBO, DQO
Por materias en suspensión	Materias en suspensión (sólidos orgánicos e inorgánicos)

Nota: Además entre sustancias peligrosas también se encuentran compuestos orgánicos sintéticos que son usados en diferentes actividades tanto agrícolas como industriales (Plaguicidas, biocidas, bifenilos policlorados, perfluorados, etc.) (Pranada & Avilés, Criterios de calidad y gestión del agua potable, 2018). Tomado de (Pranada & Avilés, Criterios de calidad y gestión del agua potable, 2018)

Los contaminantes más usuales que deben incluirse en el grupo de compuestos orgánicos son aquellos contaminantes que tienen su origen en procesos de combustión, naturales o antropogénicos (impacto ambiental) considerando que llegan de forma deliberada, entre estas sustancias se encuentran los contaminantes que son considerados COP (Compuestos Orgánicos Persistentes), según el Convenio de Estocolmo el cual argumenta que la persistencia de estos compuestos se determinan mediante evidencias de existencia del producto químico en agua por más de dos meses (Ministerio del Ambiente, 2018). Estas sustancias son tóxicas y peligrosas pues sus efectos son nocivos en la salud humana ya que son cancerígenos, afectan el sistema inmunológico y respiratorio; son persistentes en el medio ambiente debido a su baja capacidad de biodegradación, algunas de estas son volátiles y pueden trasladarse de un lugar a otro causando problemas de contaminación. Además de los efectos que tienen estas sustancias, sus compuestos al unirse con otros que provienen de aguas residuales urbanas pueden perjudicar la salud alterando las funciones hormonales y reproductivas

de los seres vivos (Pranada & Avilés, Criterios de calidad y gestión del agua potable, 2018).

Contaminación por sustancias peligrosas.

I. Compuestos organohalogenados

Son sustancias que incluyen uno o varios átomos de un elemento halógeno que generalmente es cloro, aunque puede ser una composición formada con bromo (Br) y Yodo (I). Las fuentes de dispersión de los compuestos se originan en la industria del papel pues allí se usa la clorina (sustancia para blanquear y desinfectar). Otro foco minoritario es generado mediante la desinfección con cloro del agua potable (Ministerio para la Transición Ecológica, 2017).

II. Compuestos organofosforados

Estas sustancias se derivan de la estructura química del fósforo, han sido utilizadas como disolventes, barnices, aditivos del petróleo, fungicidas, insecticidas, entre otros. Su uso en diferentes industrias y a nivel agrícola es probable que provoque intoxicaciones involuntarias (Fernández, Mancipe, & Fernández, 2010).

III. Compuestos organoestánicos

Son aquellos compuestos en los que existe por lo menos un enlace estaño-carbono donde el estaño llega a presentar un estado de oxidación de +4. La fuente de transmisión debido a los diferentes tipos de componentes puede ser: en procesos de fabricaciones de sales estañosas o en manufactureras de vidrio, en colorantes cerámicos amarillos, rosas y marrones, además se usa para pulir mármol, incluso se usa en la preparación de componentes químicos, para que perdure el aroma de perfumes y jabones (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2017)

IV. Hidrocarburos aromáticos poli cíclicos

Estos compuestos se originan en la combustión incompleta a altas temperaturas de materia orgánica, estas partículas se liberan por la atmosfera hasta llegar a

condensarse sobre otros materiales. Su origen más común se da por incendios forestales, erupciones volcánicas o al quemar combustibles fósiles incluso se encuentra en el humo del cigarrillo o se genera al preparar alimentos como ahumados, asados al carbón, etc. La propagación de estas sustancias puede desencadenar una contaminación ambiental no controlada (Pranada & Avilés, Criterios de calidad y gestión del agua potable, 2018).

V. Cianuros

Estas sustancias están formadas por la fusión de dos o más átomos que consiste en un átomo de carbono y otro de nitrógeno. Los cianuros del agua se derivan de procesos industriales la principal fuente es por la descarga de minerales, industrias químicas orgánicas, manufactureras de hierro incluso en centros de tratamientos de aguas residuales (ASTDR, 2018).

VI. Metales y sus compuestos

Los metales son considerados tóxicos y peligrosos debido a su persistencia en el medio ambiente, los principales efectos pueden ser cancerígenos y malformaciones genéticas. Estas sustancias llegan al agua a causa de las actividades que realiza el ser humano principalmente por actividades industriales y mineras (Pranada & Avilés, Criterios de calidad y gestión del agua potable, 2018).

VII. Arsénico y sus compuestos

Este compuesto se encuentra presente naturalmente en aguas subterráneas de varios países, siendo tóxico en su forma inorgánica. Si se utiliza constantemente el agua para beber, preparar alimentos o regar los cultivos llega a ser perjudicial para la salud pues algunas de las enfermedades que causa son: cáncer, lesiones cutáneas incluso se asocian problemas de desarrollo, enfermedades cardiovasculares y diabetes (Organización Mundial de la Salud, 2018).

VIII. Biocidas y productos fitosanitarios

Usar plaguicidas sin control causan problemas de salud e incluso muertes debido a exposiciones directas e intoxicación accidental o deliberada, se considera necesario el uso de estas sustancias y ayuda en el sector agricultor y mejora los cultivos sin embargo el uso masivo e incluso abusivo de estas sustancias llega a contaminar el medio ambiente, alimentos e incluso al agua potable; aunque existen sistemas de control de comercialización algunos países no cuentan con ese protocolo (Organización Mundial de la Salud, 2020).

Contaminación por nutrientes.

- I. Componentes que constituyen a la eutrofización (en particular nitratos y fosfatos).

Eutrofización significa que el agua superficial esta enriquecida con nutrientes para las plantas, aunque se produce de manera natural; la agricultura es el principal factor para que los nutrientes del agua y el crecimiento de la materia orgánica desencadene la eutrofización, los procesos de agrupación biológica benefician a los suelos productos fuertes igual a los de un fertilizante llegando a desencadenar una contaminación ambiental (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1997).

Contaminación por materia orgánica

- I. Sustancias que ejercen una influencia desfavorable sobre el balance de oxígeno tales como DBO, DQO.

Estas sustancias son producidas por el ser humano, por animales y por industrias que pueden ser procesadas al consumir oxígeno, si estas sustancias llegan a concentrarse excesivamente en el agua la reproducción de bacterias produce agotamiento de oxígeno en el líquido vital afectando a los peces o seres acuáticos. Si llega a consumirse todo el oxígeno disuelto esta contaminación

llega a ser aeróbica contaminando a la vida animal terrestre provocándoles la muerte (EUROPEAN COMMISSION , 2006).

Los productos que causan esta contaminación son de origen doméstico como papeles, detergentes, etc. En la industria llegan a ser por compuestos similares a los domésticos.

Los índices de medir este tipo de contaminación son:

- DQO (Demanda química de oxígeno): representa la cantidad de oxígeno consumido por residuos que existen en el agua.
- DBO (Demanda bioquímica de oxígeno): Valora la cantidad de oxígeno que fue consumido durante la degradación química de la materia orgánica.

Contaminación por materias en suspensión

1. Materias en suspensión (sólidos orgánicos e inorgánicos)

Estos sólidos absorben la radiación solar disminuyendo la actividad fotosintética de la vegetación acuática, la acumulación de estos sedimentos puede destruir sitios de alimentación de los peces, obstruyen canales y lagos. Estos sólidos en suspensión están presentes en el agua debido a los procesos industriales los cuales son: minería y construcción, textil y piel, pasta y papel, agricultura y ganadería, entre otros (CMA Gob, 2018).

Se ha mencionado varios factores por los cual el agua dulce llega a ser contaminada, este líquido vital debe ser cuidado ya que es el recurso principal para la vida. A pesar de que se están creando varias campañas que ayuden a proteger y disponer del agua, la población no concientiza el consumo y cuidado del agua; pues no es fácil comprender que en ciertos sectores el agua es accesible mientras que en otros

sectores, regiones o países el agua es escasa y la población llega a consumir agua de cualquier fuente debido a la necesidad.

Sin embargo, para todos es imprescindible conocer la calidad del agua manejada en cualquier ámbito sea para el consumo humano, animal o en la agricultura ya que puede ocasionar la muerte en personas, animales o plantas.

Calidad del agua dulce.

Según la Real Academia Española se dice que calidad es: “Propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permiten juzgar su valor” (Lizaraso, 2015).

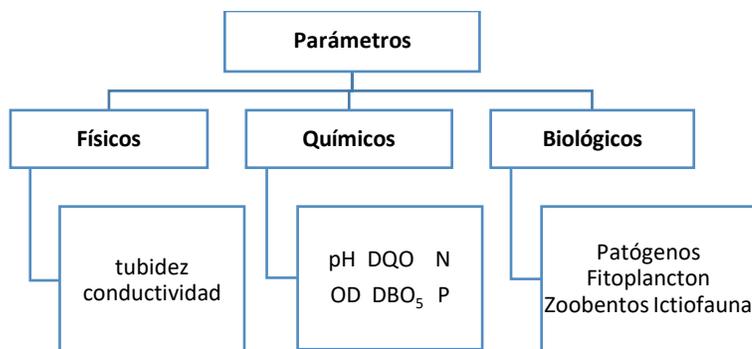
Los factores de la calidad del agua se determinan por la presencia y número de contaminantes físico-químicos los cuales son: pH y conductividad, cantidad de sales y presencia de fertilizantes; en todos los casos de contaminación la presencia del ser humano es principal, pues son individuos quienes añaden todo tipo de residuos en el agua (Lenntech B.V., 2018).

El agua es el producto de consumo más controlado debido a que existe una preocupación social por problemas de salubridad, este problema es mayor en países desarrollados, aunque ahí su preocupación no es la escases sino la calidad del líquido vital; la calidad del agua se justifica en base al uso que se le da, pues, depende a la actividad designada puede ser apta para beber puede usarse en el riego, uso industrial, uso recreativo, etc. (Sanchez, 2015).

A continuación, en la figura 13 se observan los parámetros que determinan la calidad del agua.

Figura 13.

Parámetros de calidad del agua.



Nota: los parámetros que se muestran en la figura permiten determinar la calidad del agua, varios de ellos se pueden medir a través de sensores mientras que otros solo en laboratorios.

Tomado de: (Sanchez, 2015).

Parámetros físicos

Son indicadores relativos, los valores pueden variar significativamente. Los

principales parámetros físicos son:

- Turbidez
- Sólidos en suspensión
- Transparencia
- Propiedades organolépticas (color, olor, sabor)
- Temperatura
- Conductividad

Parámetros químicos

Estos parámetros permiten identificar y medir agentes que causan la contaminación, en caso de que el agua no haya recibido desperdicios urbanos o industriales se debe analizar: iones (bicarbonatos, cloruros, sulfatos, calcio, magnesio y sodio), dureza, SS, salinidad, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno, carbono orgánico disuelto.

Parámetros biológicos.

Se basa en la utilización de organismos vivos es decir que representan la actividad biológica ya sea una presencia abundante o estructura de los organismos; estos seres vivos acuáticos son: bacterias, hongos y peces. Los principales parámetros biológicos son (Sanchez, 2015):

- Patógenos
- Zoobentos / Fitobentos
- Zooplancton/ Fitoplancton
- Ictiofauna

Teniendo en cuenta los factores acorde a la calidad del agua para el consumo oportuno en las personas, animales y uso en la agricultura, no es fácil detectar cada una de ellas a simple vista es por eso que ahora se emplean instrumentos de medición en laboratorio que valide si el agua es apta; incluso para poder conocer las propiedades del agua algunas personas adquieren dispositivos que les permita medir parámetros y asegurarse que sea apta o adquieren botellones de agua que aseguran contener agua pura para consumir, sin embargo, muchas personas consumen agua directo del grifo sin importar la calidad del agua ya que es el líquido necesario para la vida así mismo no cuentan con presupuesto para acceder a otras alternativas.

Capítulo III

Construcción de la Solución

Introducción

Con el propósito de obtener los requerimientos para la construcción del prototipo, se ha estructurado algunos casos de estudio que describen situaciones en donde las personas, animales y plantas utilizan agua dulce que no necesariamente es potable, además se menciona varios posibles factores de contaminación del agua de consumo que afectan su pureza.

La calidad del agua en las zonas rurales se ve afectada principalmente por el calentamiento global y la contaminación, por ejemplo: evacuación de aguas residuales domesticas o industriales, nutrientes y agroquímicos, asentamientos poblaciones, actividades fabriles y agropecuarias, entre otras (Soto & Reina, 2012).

La contaminación del agua da paso a problemas de salud que no solo afecta a las personas sino a los animales y plantas en general (Gómez, 2018).

El consumo de agua es primordial para determina la subsistencia de los seres vivos, por tal motivo es importante tener un proceso de monitorización de la calidad del agua, esta práctica ayuda a recopilar información en diferentes tiempos para llevar un control y establecer condiciones y tendencias (Geetha & Gouthami, Internet of things enabled real time water quality monitoring system, 2017).

Para realizar un seguimiento en cuanto a la calidad del agua se debe examinar los parámetros que permiten establecer si el agua es apta o no para beber; según la (OMS) los factores más importantes para medir la calidad del agua de adquisición humana son: factores químicos: PH (potencial de hidrógeno), factores físicos: sólidos en

suspensión-disueltos, turbidez, temperatura (Océane Bidault, 2016). A continuación, se detalla los parámetros antes mencionados:

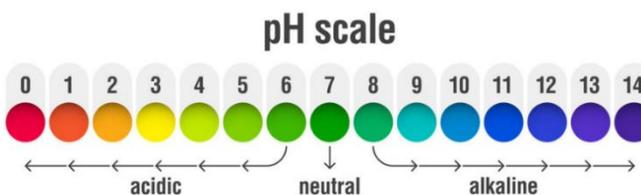
Factores Químicos:

PH (potencial de hidrógeno).

PH se define como el logaritmo de concentración de H^+ (iones de hidrogeno) e indica una medida de acidez o alcalinidad de un disolvente (Helmenstine, 2017). La escala de PH es de 0 a 14 como se aprecia en la figura 14.

Figura 14.

Escala de pH.



Fuente: (alkanatur, 2019).

En un rango de 0 a 6 de PH el agua es ácida; es decir que tiene alta concentración de iones de hidrógeno, por tal motivo llega a ser corrosiva para la salud debido a que puede arrastrar metales pesados como mercurio, plomo y cobre, además su sabor puede ser agrio (Boyd, Water Quality, 2019). Por otro lado, el agua ácida puede llegar incluso a dañar las tuberías, lo que implica que el color del agua cambie (Khan Academy, 2020).

En un rango de 8 a 14 de PH, el agua es alcalina, aunque no es riesgosa para la salud su sabor es un tanto salado (Addy, Green, & Herron, 2004); sin embargo, el exceso de alcalinidad del agua puede causar enfermedades estomacales haciendo que el cuerpo absorba menor cantidad de nutrientes (Time, 2019).

El agua se considera neutral cuando el número de protones (iones H^+) iguala a la cantidad de iones de hidroxilo (OH^-). Se considera neutral cuando el PH tiene una escala de 6.5 a 7.5 (Boyd, Global Aquaculture Alliance, 2018). Es preciso mencionar que el agua

sin tratamiento previo (por ejemplo, el agua de ríos, lagos y manantiales) tiene un PH de 6.5 a 8.5 (Lenntech, 2019).

Para precisar la medida de PH es necesario determinar en qué temperatura se encuentra el agua (Matute, 2016) por tal motivo se debe considerar que: las descargas de agua a altas temperaturas pueden provocar daños en la flora y fauna incrementando el crecimiento de bacterias y otros organismos. El agua fresca o a temperatura ambiente está entre 20°C y 30°C (Woodard, 2019).

Parámetros físicos:

Sólidos totales disueltos (TDS).

TDS es una medida del número de sustancias disueltas en el agua, el origen de este material puede ser orgánico o inorgánico ya sea en aguas superficiales o subterráneas (Fondriest, 2020).

La concentración de sólidos se da por la existencia de gases, minerales, descomposición de compuestos orgánicos, químicos que proveen de color, olor, sabor (corrosivo, salado o salobre) y por ende toxicidad (Woodard, 2019). El agua con un elevado TDS se podría consumir, por ende, se debe considerar que tanto el cobre como el plomo son peligrosos para la salud, si la medida supera el margen aceptable de TDS es necesario realizar investigaciones para partículas tóxicas (Woodard, 2019). El margen deseable de TDS en el agua es hasta 500 ppm (partes por millón) considerándose totalmente aceptable para el consumo (Meride & Ayenew, 2016), y como valor máximo 2000 ppm siendo seguro para el consumo temporal en caso de no disponer de otra fuente de agua (Tappwater, 2019).

En la tabla 8 se observa las medidas que corresponde al total de sólidos disueltos en relación al grado de dureza.

Tabla 8.

Valores del TDS.

ppm (partes por millón)	Grado de dureza
0 - 50	Muy blanda, o de mineralización muy débil
50 - 140	Blanda, de mineralización débil
140 - 240	Ligeramente dura, mineralizada
240 - 350	Dura, bastante mineralizada
+350	Muy duras, muy mineralizada

Nota: Los valores del TDS (Sólidos totales disueltos) representa la concentración de sustancias disueltas en el agua, este parámetro se puede medir en ppm o mg/l (*Agua Pura, 2017*).

Tomado de (*Agua Pura, 2017*).

Turbidez.

La turbidez es una propiedad óptica de un líquido (Jaimes, 2017). Este parámetro es muy importante cuando de calidad de agua se habla sobre todo para el consumo personal, pues el agua turbia, además de no tener una apariencia física buena, indica mayor porcentaje de contaminación microbiológica y compuestos tóxicos. Adicionalmente, las aguas turbias pueden contener partículas dispersas y suspendidas las cuales favorecen el crecimiento de microorganismos, haciendo que la desinfección del agua no sea del todo efectiva, perjudicando la salud de las personas (Lambrou, Anastasiou, & Panayiotou, 2009). Según la OMS la unidad de medida de la turbidez es UNF/NTU (Unidad Nefelométrica de Turbidez); para que la turbidez sea aceptable en el agua no debe superar las 5 NTU (Higiene Ambiental, 2019).

Planteamiento de los Casos de Estudio

Teniendo en cuenta los parámetros mencionados se plantean los siguientes casos de estudio de posibles formas de contaminación del agua tomados del informe DIAGNÓSTICO DE LAS ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN ECUADOR (CEPAL, 2012).

Agua contaminada por actividades de ganadería y uso de plaguicidas

Debido al incremento de exportación de flores en varias provincias del Ecuador como Pichincha, Cotopaxi, Azuay, Tungurahua, entre otras; se han venido construyendo

masivamente invernaderos de flores. Entre otros productos, las florícolas utilizan plaguicidas y fertilizantes en los invernaderos; además los desechos orgánicos como grasas, aceites, proteínas que pueden ser de procedencia humana o animal, incluyendo heces fecales u otros materiales contaminan el agua de los ríos, particularmente en su PH, turbidez y TDS.

Propuesta: el sistema WaterAlert mide el pH, total de sólidos disueltos en el agua, turbidez si la medida supera los valores permitidos se informará al usuario que el agua no es apta para consumirla.

Contaminación del agua por minas de carbón o escombreras

La minería provoca destrucción ambiental que perjudica a los seres vivos y de forma indirecta a las personas, por ejemplo, en las provincias de Esmeraldas y El Oro, el agua de sus ríos es contaminada con sólidos suspendidos; además presentan cambios en el pH y una alta turbidez debido a las actividades extractivas de minerales realizadas con malas prácticas.

Propuesta: El sistema WaterAlert mide TDS, pH y el nivel de turbidez del agua si supera el nivel apropiado que define la calidad del agua, informará al usuario mediante un mensaje (no apto para el consumo).

Contaminación del agua por detergentes aniónicos

Las sustancias que contienen carbono y son elaboradas por los humanos como jabones, detergentes, productos de limpieza, etc.; pueden permanecer durante un buen tiempo en el agua y para que se descompongan necesitan de bacterias que requieran oxígeno, como consecuencia termina con la vida de especies acuáticas, eso implica que se generen más bacterias y la calidad del agua se encuentre afectada.

Propuesta: el sistema WaterAlert mide TDS, PH, temperatura y turbidez, si las medidas están fuera del rango permitido, el usuario recibirá un mensaje de alerta indicando que el agua no es apta para el consumo humano.

Agua contaminada por agua residuales de viviendas

El crecimiento de las ciudades causa grandes daños ambientales debido al mal manejo de los residuos sólidos los cuales son llevados directamente a botaderos, quebradas y ríos, causando daños perjudiciales en la salud debido a que estas sustancias suelen mezclarse con fuentes de agua de consumo.

Propuesta: el sistema WaterAlert mide TDS y PH, si las medidas están fuera del rango permitido, el usuario recibirá un mensaje de alerta indicando que el agua no es apta para el consumo humano.

Agua contaminada por hidrocarburos

La explotación petrolera es uno de los factores contaminantes de los ecosistemas terrestres y acuáticos; por ejemplo, en la Amazonía ecuatoriana los derrames de crudo en los ríos han causado que en el agua existan restos de hidrocarburos y materiales pesados, esto conlleva a que por ejemplo el agua incremente su salinidad hasta en 6 veces al agua del mar.

Propuesta: el sistema WaterAlert informa al usuario sobre posibles alteraciones en los parámetros de calidad, considerando sobre todo la medida obtenida de pH.

Construcción del Prototipo

En base a los casos de estudio planteados previamente se ha definido el flujo de información, la tecnología y recursos que permitieron determinar los subsistemas que componen la arquitectura del prototipo Water Alert.

En esta sección del documento se dará a conocer los cuatro subsistemas, los cuales son:

(A) Subsistema de recopilación de datos

(B) Subsistema de monitoreo WA

(C) Subsistema de gestión de la información

(D) Subsistema de monitoreo y control del exterior

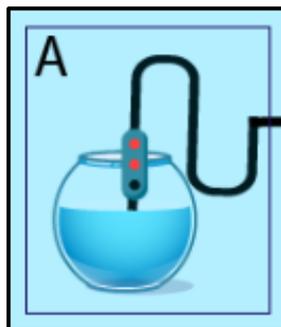
Subsistemas de WA - Descripción del flujo de información

A. Subsistema de recopilación de datos.

Este subsistema se encarga de obtener datos del conjunto de sensores (ver figura 15). En la actualidad existen diversos tipos de mediciones en el agua para determinar su pureza, por ejemplo, según la INEN el agua potable debe cumplir un tratamiento en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas para que se garantice la calidad de la misma (INEN, 2011); no obstante, el alcance de este prototipo se limita a medir los parámetros más importantes para salvaguardar la salud de las personas; tomando en consideración los casos de estudio planteados se han adquirido cuatro sensores los cuales son: sensor de pH, sensor de TDS, sensor de turbidez y sensor de temperatura ya que estos son los parámetros primordiales que permiten determinar la calidad del agua dulce según la OMS.

Figura 15.

Subsistema de recolección de datos.



B. Subsistema de monitoreo WA

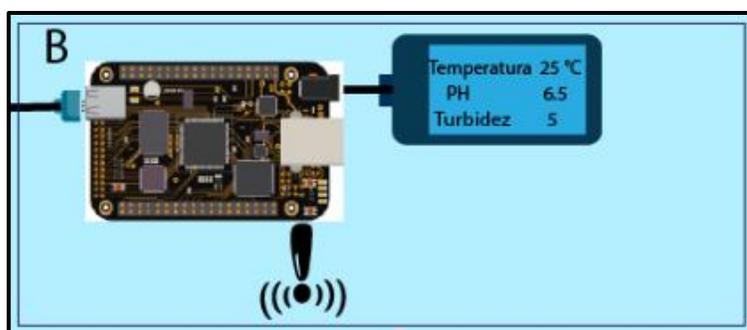
El subsistema de monitoreo WA está conformado por un microprocesador ESP32 el cual recibe, procesa, analiza y muestra los datos captados por los sensores

mediante una pantalla led (ver figura 16), además informa al usuario si el agua es apta o no para el consumo humano. El microprocesador es de Arduino; es decir, con hardware y software libre, funciona con una batería de 3.5 a 5 voltios (Radioshuttle, 2020).

El microprocesador de este subsistema incluye un módulo de comunicación LoRa el cual permite enviar información hacia el módulo que funciona como Gateway LoRa.

Figura 16.

Subsistema de monitoreo WA.



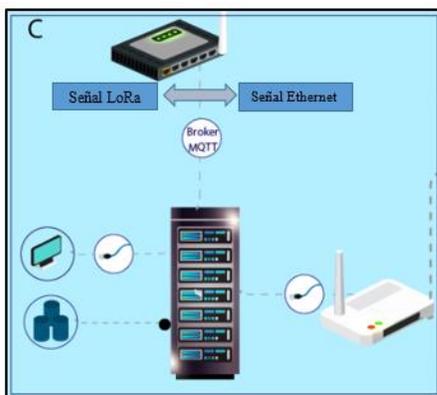
C. Subsistema de gestión de la información

Este subsistema se encarga de gestionar la información proveniente del subsistema de monitoreo WA; una vez que la información llegue al Gateway LoRa, el bróker MQTT actúa como puerta de enlace convirtiendo los paquetes LoRa en mensajes Ethernet (Gambi, Montanini, & Pigni, 2018).

Mediante el protocolo MQTT la información llega al servidor en tiempo real, este protocolo es un transporte de mensajería ligera (publicar/suscribir) que permite conectar dispositivos a la red (MQTT org, 2019), el procesamiento de información es administrado por el servidor local mediante una aplicación, la cual permite realizar la gestión y monitoreo del flujo de información; adicional cuenta con una BDD que almacena todos los datos provenientes del sub sistema de monitoreo para futuras aplicaciones (ver figura 17).

Figura 17.

Subsistema de gestión de la información.



Nota: El Gateway Lora transforma los paquetes LoRa a mensajes Ethernet.

D. Subsistema de monitoreo y control exterior

Este subsistema se encarga de mostrar, almacenar o gestionar la información de WA desde cualquier dispositivo (celular, Tablet, computador, entre otros) que se encuentre conectado al internet (figura 18).

Figura 18.

Subsistema de monitoreo y control exterior.

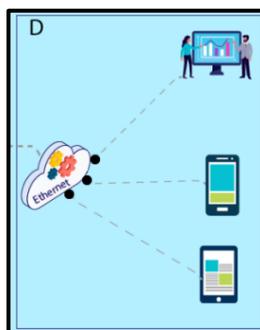
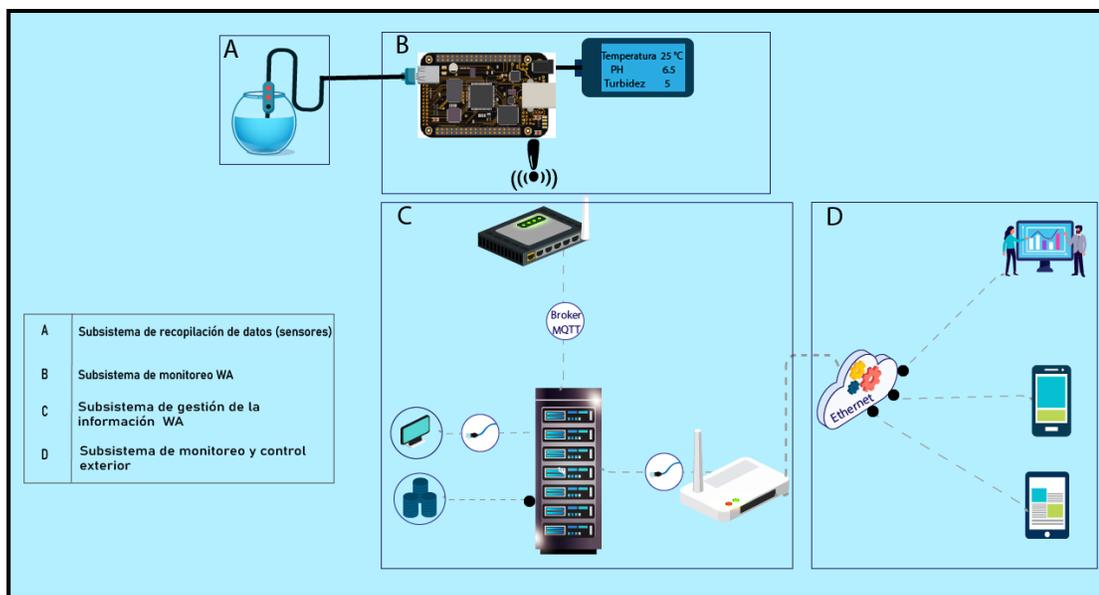


Diagrama general de la arquitectura WaterAlert.

En la figura 19 se muestra la arquitectura completa de WA la cual está conformada por los subsistemas antes mencionados.

Figura 19.

Arquitectura de WA.



Partiendo de la problemática identificada: “En zonas rurales la población se encuentra en la necesidad de consumir agua sin conocer su procedencia, además la falta de tecnologías de comunicación limita informar a la comunidad la calidad del agua que consume”; por ello, se propone WA para monitorear de la calidad del agua dulce mediante una red de comunicación con tecnología LoRa (Long Range) la cual permite comunicación a larga distancia (Semtech, 2020). La red LoRa facilita el envío y recepción de datos utilizando la conexión punto a punto (LoraWan, 2017).

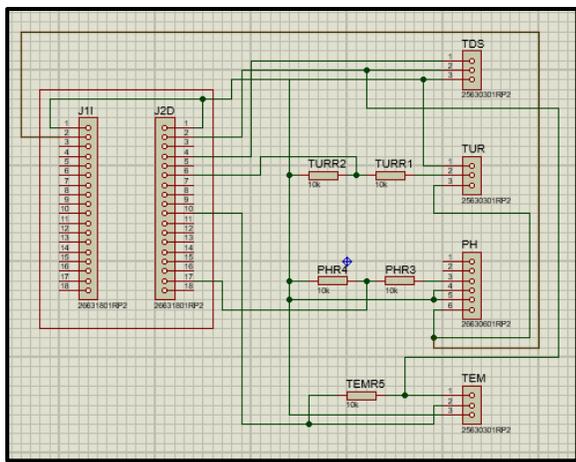
Desarrollo de los subsistemas

Subsistema de recopilación de datos y subsistema de monitoreo.

La figura 20 muestra la integración entre el subsistema de recopilación de datos y el subsistema de monitoreo, siendo el microprocesador ESP32 el componente principal que permite la conexión, procesamiento y visualización de la información proveniente de los sensores.

Figura 20.

Diagrama de conexión.

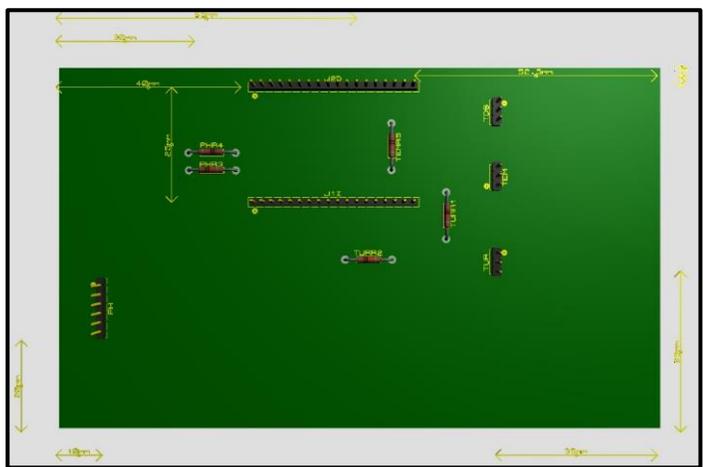


Nota: para el diseño del diagrama se utilizó la herramienta Proteus que facilita el modelado de circuitos.

A partir de este diseño se creó una PBC (Placa de Circuito Impreso), esta placa es un soporte que permite conectar un conjunto de elementos eléctricos para que a su vez puedan interactuar entre ellos haciendo uso de pistas las cuales son conductoras debido al material de cobre (Castillo, 2019), en la figura 21 se observa la PBC que permite conectar los componentes electrónicos (sensores, resistencias, microprocesador) de WaterAlert.

Figura 21.

PBC de Water Alert.



Nota: la PBC muestra la conexión de los sensores con el microprocesador.

El subsistema de recopilación de datos está conformado por 4 sensores, mientras que el subsistema de monitoreo tiene el microprocesador ESP32 donde se conectan los sensores, además el módulo incorpora una pantalla led que muestra información a los usuarios, también dispone de una antena LoRa que permite el envío de datos; este subsistema se alimenta de una batería de 5V. En la tabla 9 se detalla lo mencionado.

Tabla 9.

Dispositivos del subsistema de recopilación de datos

Modelo	Descripción	Servicio	Ubicación	Rango	Tipo de entrada	Voltaje (VDC)
PH-4502C	Sensor de pH	Medir pH	Fuente de agua	0 - 14 pH	Analógica	5 ± 0.2
PH-4502C	Driver Arduino pH	Marcar y transmitir el pH	Placa Arduino			
TDS Meter (Gravity)	Sensor de TDS	Medir TDS	Fuente de agua	0 - 9990 ppm	Analógica	
TDS Meter (Gravity)	Driver Arduino TDS	Marcar y transmitir el TDS	Placa Arduino			
Ds18B20	Sensor de temperatura	Medir temperatura	Fuente de agua	-55°C - 124°C	Digital	3.5 – 5
MJKDZ (KIE)	Sensor de turbidez	Medir turbidez	Fuente de agua	0 - 1000 NTU	Analógica	5
MJKDZ	Driver Arduino turbidez	Marcar y transmitir turbidez	Placa Arduino			
SX1276 (TTGO lora32)	ESP32	Procesar y enviar datos	Placa Arduino	5km	Paquete LoRa	
18650	Batería	Proporcionar energía al módulo	Placa Arduino			5

Nota: se observa los componentes electrónicos que integran el subsistema de recopilación de datos para detectar la calidad del agua, además de las características principales de cada uno de ellos.

Sensor de pH.

El sensor que se observa en la figura 22 corresponde al sensor de pH, este componente proporciona información sobre el nivel de pH en el agua.

Figura 22.

Sensor de pH.



Nota: el sensor de pH 4502C incluye el driver de conexión para Arduino.

Las características generales del sensor de pH se muestran en la tabla 10.

Tabla 10.

Características del sensor PH-4502C

Tensión de calefacción	5 VDC
Corriente de trabajo	5 – 10 mA
Rango	0 - 14 pH
Tiempo de respuesta	5 segundos
Tiempo de estabilización	60 segundos
Temperatura de trabajo:	-10 a 50 °C
Tamaño	42mm x 32 mm x 20 mm
Entrada	Analógica

Nota: este sensor mide el pH con la ayuda de un electrodo (E201-BNC) es por eso que tiene reservado un conector BNC. Tomado de (CDMXElectronica, 2020).

La salida del electrodo del sensor **pH-4502C** es en mili voltios, en la tabla 11 se muestra la calibración del sensor de PH con respecto al voltaje, para realizar esta calibración utilizamos tres sustancias que muestren diferentes niveles de pH, las cuales son:

Vinagre: 3 de pH

Agua purificada: 7 de pH

Agua jabonosa: 12 de pH

Al medir los milivoltios con el multímetro se comprobó que a mayor pH menor milivoltios y se obtuvo la siguiente formula: $ph = -10.926 * \text{militvoltio} + 36.932$

Tabla 11.

Calibración del sensor de PH

Voltaje (mV)	pH	Voltaje (mV)	pH
3.3	0	2.1	14
3.29	1	2.19	13
3.21	2	2.29	12
3.11	3	2.37	11
3	4	2.47	10
2.93	5	2.56	9
2.84	6	2.65	8
2.71	7	2.71	7

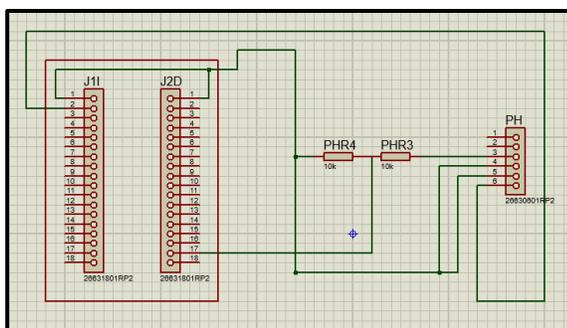
Nota: el voltaje recibido por el ESP32 llega a los 3.3 voltios siendo este el valor máximo.

Diagrama de bloque.

Con el propósito de monitorear la calidad del agua en tiempo real, se ha creado el diagrama de bloque que acopla al sensor **PH-4502C** con el ESP32 a través del pin analógico A0 (PO) (ver figura 23).

Figura 23.

Diagrama de bloque.



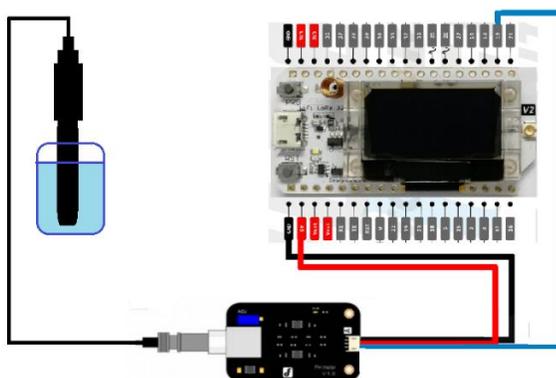
Nota: el diagrama tiene dos resistencias de 10 k voltios que permite reducir la entrada de 5 voltios a 3 voltios, siendo esta la medida aceptada para el módulo ESP32.

Esquema de conexión.

En la figura 24 se observa la conexión del sensor al ESP32 (**SX1276**).

Figura 24.

Esquema de conexión.



Nota: del pin analógico A0 del driver de pH se conecta al pin 13 del microprocesador, el sensor de pH tiene incorporado un LED que indica si está activado.

Diagrama de flujo.

En la figura 25 se observa el flujo de información para obtener los datos de pH del agua. El sensor PH-4502C por medio del driver se conecta al ESP32 usando el puerto A0 para así procesar y mostrar los datos, a su vez permite que el sensor se active. Cuando se detecta la señal, el dato sobre el pH se analiza y envía por medio de la señal LoRa, si los datos no son recibidos no se registra ni muestra en la pantalla.

Figura 25.

Diagrama de flujo (pH).

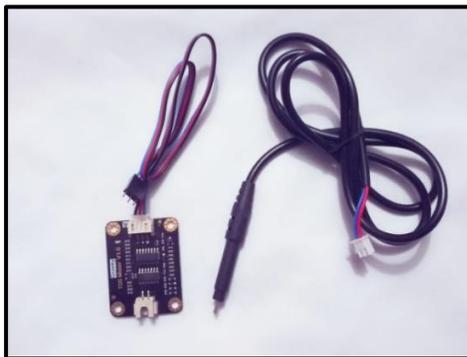


Sensor TDS

En la figura 26 se aprecia el sensor de TDS, este sensor permite medir la pureza del agua. El sensor marca la cantidad de miligramos de sólidos totales disueltos que se encuentran presentes en un litro agua, cuanto más mide el TDS más sólidos se han disuelto por ende el agua está menos limpia (RobotShop, 2020).

Figura 26.

Sensor de TDS.



Nota: se puede observar tres elementos: sensor de TDS, placa de conversión de ARDUINO, cable para conectar la placa al driver.

Las características de este sensor se muestran en la tabla 12:

Tabla 12.*Características del sensor de TDS*

Características	Medidas
Voltaje de entrada	3.3 a 5.5 voltios
Corriente de trabajo	0 a 2.3 mA
Rango de medición	0 a 1000 ppm (partes por millón)
Precisión	± 10% FS (25°C)
Medidas del sensor	42x32 mm
Interfaz de conexión	XH2.54-2P

Tomado de (RobotShop, 2020).

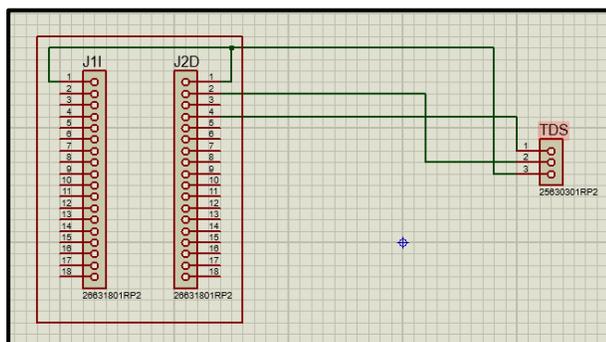
Para obtener el valor del TDS del agua se usó la librería de Arduino “GravityTDS.h”, la cual toma los valores de milivoltios y los transforma a ppm (partes por millón). Para ello se debe colocar los parámetros de voltaje (3.3 v) y temperatura.

Diagrama de bloque

Teniendo como objetivo monitorear la calidad del agua en tiempo real, se ha creado el diagrama de bloque que acopla al sensor **TDS Meter** con el ESP32 a través del pin analógico A (ver figura 27).

Figura 27.

Diagrama de bloque.



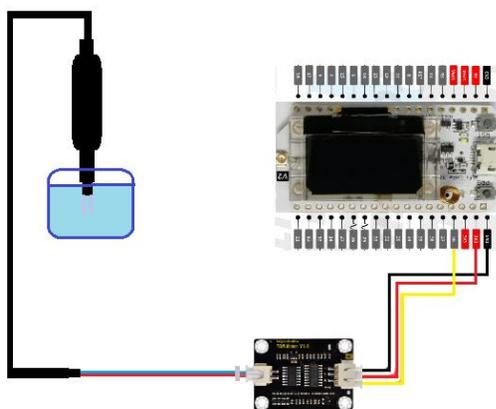
Nota: el sensor de TDS no lleva conectado una resistencia debido a que el voltaje que ingresa es de 3.3 voltios.

Diagrama de conexión

En la Figura 28 se observa la conexión del sensor **TDS Meter** al ESP32 (**SX1276**).

Figura 28.

Esquema de conexión.



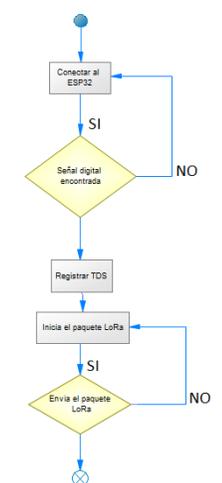
Nota: el pin A del driver perteneciente al sensor **TDS Meter** se conecta en el pin 36 del ESP32, además el sensor viene con un LED que indica si está activado.

Diagrama de flujo

En la figura 29 se observa el flujo de información para obtener los datos sobre el TDS del agua. El driver del sensor (TDS Meter) se conecta al ESP32 usando el pin A para así procesar, analizar y mostrar los datos, a su vez permite que el sensor se active. Cuando se detecta la señal, el dato sobre el TDS se analiza y envía al siguiente subsistema usando la antena LoRa, si los datos no son recibidos no se registra, envía o muestra en la pantalla.

Figura 29.

Diagrama de flujo.



Sensor de temperatura

En la figura 30 se observa el sensor de temperatura, el cual mide la temperatura en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$). Este sensor utiliza la comunicación OneWire es decir envía los datos mediante un solo hilo. La comunicación es a través de una señal digital, cuenta con tres puntos de salida los cuales son: GND, VCC y pin Data (Naylamp, 2016).

El sensor permite medir temperaturas desde -55°C hasta los 125°C y la resolución programable es desde 9 bits a 12 bits (Naylamp, 2016).

Figura 30.

Sensor de temperatura.



Nota: este sensor necesita de un pin para comunicarse además permite conectar más sensores en el mismo bus (Naylamp, 2016), el tubo es de acero inoxidable que resiste el contacto con el agua.

Características del sensor de temperatura (ver tabla 13):

Tabla 13.

Características del sensor DS18B20

Características	Medidas
Voltaje de funcionamiento	3 – 5.5V
Precisión	0,5 °C con un rango de (-10°C a +85°C)
Resolución	9 a 12 bits
interfaz	OneWire
tiempo de consulta	menos de 750ms
3 cables de interfaz	rojo- VCC, amarillo-DATOS, negro-GND
Diámetro del cable	4mm
Longitud del cable	90cm
Tubo	acero inoxidable

Nota: el sensor permite medir la temperatura del agua o cualquier otro líquido no corrosivo, como se ha podido evidenciar no necesita de componentes externos además es confiable en las medidas que arroja. Tomado de (Naylamp, 2016).

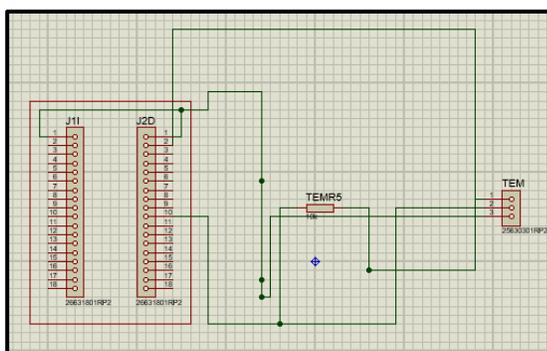
Para obtener el valor de la temperatura del agua se usó la librería de Arduino “DallasTemperature.h”, la cual toma los valores de milivoltios y los transforma a °C (grados centígrados). Para ello se debe colocar los parámetros de voltaje (3.3 v).

Diagrama de bloque.

Teniendo como objetivo monitorear la calidad del agua en tiempo real, se ha creado el diagrama de bloque que comunica al sensor **Ds18b20** con el ESP32, el sensor tiene salida digital (ver figura 31).

Figura 31.

Diagrama de bloque.



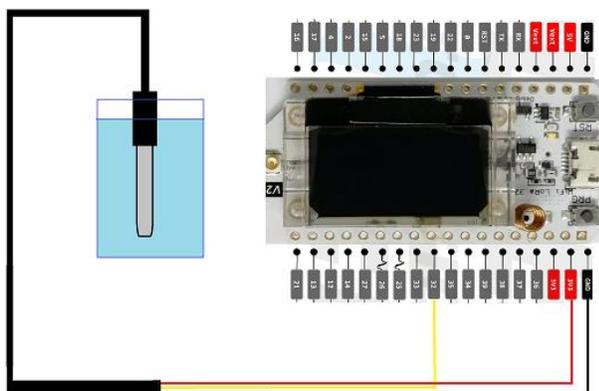
Nota: el sensor tiene una resistencia de 4.7 k, que le permite garantizar un funcionamiento correcto debido que el ESP32 acepta 3.3v.

Diagrama de conexión

En la figura 32 se observa la conexión del sensor **Ds18b20** con el ESP32.

Figura 32.

Diagrama de conexión.



Nota: el sensor se conecta al ESP32 utilizando el pin 32, es importante recordar que la resistencia a usar es de 4.7K.

Diagrama de flujo.

En la figura 33 se observa el flujo de información para obtener los datos de temperatura del agua. El sensor se conecta al ESP32 directamente ya que el modelo no tiene un driver de por medio, una vez conectado se puede procesar y mostrar los datos, además el sensor se activa con la conexión. Cuando se detecta la señal, el dato sobre la temperatura se analiza, procesa y envía usando la antena LoRa, si los datos no son recibidos no se lee ni muestra en la pantalla.

Figura 33.

Diagrama de flujo.

**Sensor de turbidez.**

En la figura 34 se muestra el sensor de turbidez análogo, este sensor detecta el valor de partículas en suspensión midiendo la transmisión en un haz de luz (Bictrónica, 2020).

Figura 34.

Sensor de turbidez.



Nota: el sensor puede usarse para medir la turbidez en diferentes fuentes como ríos, lagos, reservas de agua (Bicgtronica, 2020).

Las *características* generales del sensor se observan en la tabla 14:

Tabla 14.

Características del sensor de turbidez

Características	Medidas
Alimentación	3.3. – 5V DC
Consumo	30mA
Tiempo de respuesta	<500ms
Impedancia	100M [min]
Temperatura de trabajo	-30°C – 80°C
Tamaño	30mm x 20mm x 12mm

Tomado de (Bicgtronica, 2020).

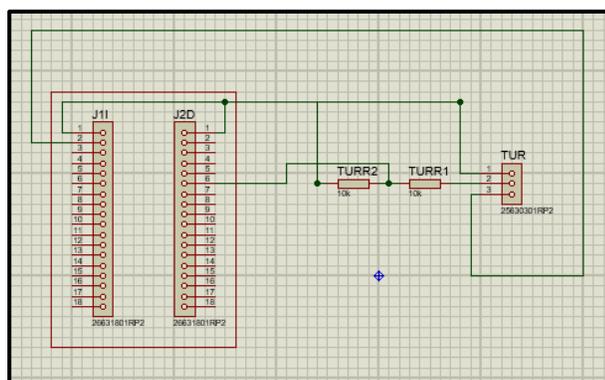
Para obtener el valor de la turbidez del agua se usó la siguiente formula $Ntu = -1120.4 * v^2 + 5742.3 * v - 4352.9$ (DFRobot, 2020), la cual toma los valores de milivoltios y los transforma a NTU (Unidad Nefelométrica de Turbidez). Para ello se debe colocar los parámetros de voltaje (3.3 v).

Diagrama de bloque.

Teniendo como objetivo monitorear la calidad del agua en tiempo real, se ha creado el diagrama de bloque, en la figura 35 muestra la comunicación del sensor de turbidez con el ESP32, el sensor tiene salida digital.

Figura 35.

Diagrama de bloque



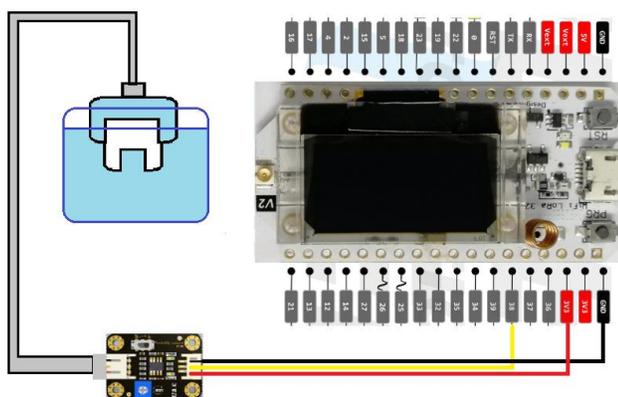
Nota: las resistencias que se utilizan son de 10 k con conexión en paralelo.

Diagrama de conexión.

En la figura 36 que se observa a continuación se detalla la conexión entre el sensor de turbidez y el microprocesador ESP32.

Figura 36.

Diagrama de conexión



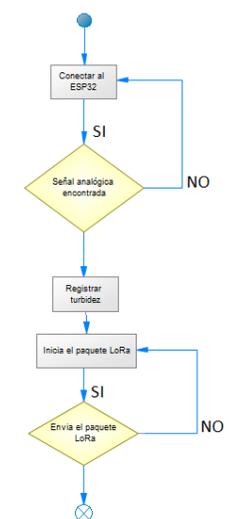
Nota: el pin 38 del ESP32 se conecta el driver del sensor de turbidez.

Diagrama de flujo.

En la figura 37 se contempla el flujo de información para obtener los datos del sensor de turbidez. El sensor se conecta al ESP32 usando el driver MJKDZ, una vez conectado se puede procesar y mostrar los datos, además el sensor se activa con la conexión. Cuando se detecta la señal, el dato de turbidez se analiza, procesa y envía usando la antena LoRa, si los datos no son recibidos no se lee ni muestra en la pantalla.

Figura 37.

Diagrama de flujo



Batería de polímero de litio

Las baterías de litio también son conocidas como Li-Ion (ver figura 38), es recargable con dos o más celdas donde se encuentran separados los iones de litio (Bateriasdelitio.net, 2014), la duración estimada es de 5 años.

Figura 38.

Batería de polímero de litio



Nota: la tecnología de iones de litio con la que son construidas estas baterías permite que sean ligeras, compactas y con un almacenamiento de energía mayor en comparación a antiguas batería (Fernández S. , 2018). Tomado de (Fernández S. , 2018).

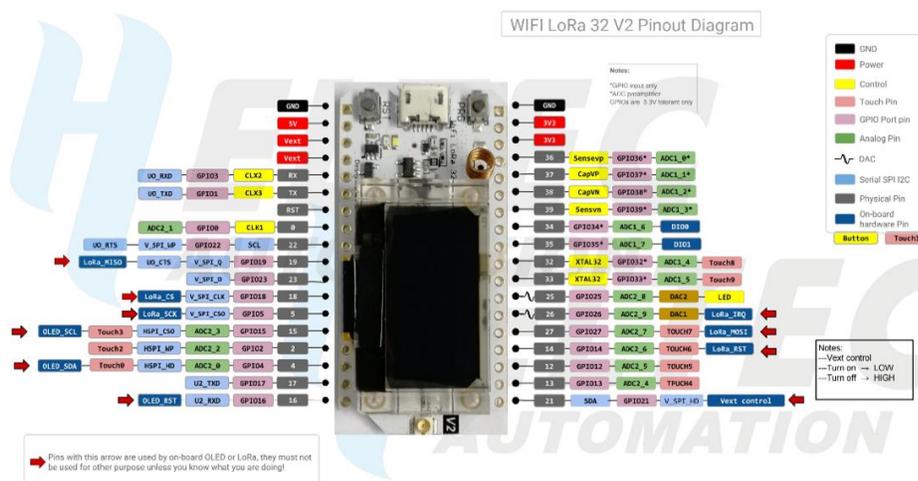
Microprocesador ESP32 (Heltec V2)

Los módulos LoRa se pueden usar en Arduino y Raspberry PI, el módulo del proyecto WaterAlert se programa con Arduino y trabaja a una frecuencia de 915MHz se debe considerar que la frecuencia depende del país por ejemplo en Europa no se puede usar esta medida, es por ello que las frecuencias son: 433MHz, 868MHz y 915MHz (Digitalilusion S.L., 2020).

En la figura 39 se muestra el datasheet del ESP32 utilizado en el proyecto.

Figura 39.

Datasheet del ESP32 (HELTEC V2)



Nota: este módulo contiene 32Mb de memoria flash, cuenta con una pantalla OLED azul de 0.96 pulgadas, los pines que están usados por periféricos integrados se encuentra señalados con flechas de color rojo, ahí se conectan la pantalla y el módulo LoRa. Tomadao de (oksbwn, 2019).

En la figura 40 se observa el código programado en el ESP32 para obtener los datos que provienen del subsistema de recopilación de datos, usando las librerías y formulas antes mencionadas.

Figura 40.

Código para la obtención de datos

```

sender_sensores $
}

void loop() {

//Sensor de Temperatura
sensors.requestTemperatures();
float temperatureC = sensors.getTempCByIndex(0);
float temperatureF = sensors.getTempFByIndex(0);
Serial.print(temperatureC);
Serial.println("C");
Serial.print(temperatureF);
Serial.println("F");
//Sensor TDS
float promTDS = 0;
for (int i = 0; i < 150; i++) {

  gravityTds.setTemperature(temperatureC); // set the temperature and execute temperature compensation
  gravityTds.update(); //sample and calculate
  tdsValue = gravityTds.getTdsValue(); // then get the value
  promTDS = promTDS + tdsValue;
  delay(50);
}

promTDS = promTDS / 150;
tdsValue = promTDS;
Serial.print(tdsValue);
Serial.println("ppm");
//Sensor Ph
measure = 0;
prom = 0;
for (int i = 0; i < 100; i++)
{
  measure = analogRead(pHSensorPin);
  prom = prom + measure;
  delay(40);
}
prom = prom / 100;
float voltajeph = (prom * 3.3 / 4096) + 0.22;
if (voltajeph >= 3.2) voltajeph = 3.2;
float Po = -10.926 * voltajeph + 36.932;
//Sensor de turbidez
int sensorValueTurbidez = analogRead(TurbidezSensorPin);
float voltageTurvides = (sensorValueTurbidez * (3.3 / 4096)) + 0.2;
float NtU = -0.604 * pow(voltageTurvides, 2) - 1.815 * voltageTurvides + 9.556;
}

```

En la figura 41 se observa el código del ESP32 que permite el envío de los paquetes LoRa al módulo que actúa como Gateway LoRa.

Figura 41.

Código para el envío de paquetes lora al Gateway

```

sender_sensores $
Verificar

Serial.print("Sending packet: ");
Serial.println(tdsValue);
digitalWrite(blueLED, ON); // Turn blue LED on
// send packet
LoRa.beginPacket();
//LoRa.print("HelloLoRa! ");
LoRa.print(tdsValue);

LoRa.print(";");

LoRa.print(Po);

LoRa.print(";");

LoRa.print(NtU);

LoRa.print(";");

LoRa.print(temperatureC);
delay(500);

LoRa.endPacket();
digitalWrite(blueLED, OFF); // Turn blue LED off

```

En la figura 42 se observa el código que permite validar los casos de estudio que se han planteado previamente, adicional permite visualizar la información en el display del ESP32.

Figura 42.

Código para validar los casos de estudio

```

sender_sensores $
// this.iniciamosParametros()
if (Po > 7.5 /*'a nox_temp > 13 as nox_temp < 16 */ as temperature < 23 as BQD > 5 as tdsValue > 350 as tdsValue < 550) {
// this.iniciamosParametros();
String msg_gasdetonia = "";
msg_gasdetonia = " por gasdetonia ";

Display.clearBuffer();

Display.setCursor(15, 12); Display.print("Peligro...");
Display.setCursor(0, 32); Display.print("Posible contaminación");
Display.setCursor(0, 49); Display.print(String(msg_gasdetonia));
Display.setCursor(10, 60); Display.print("¡¡¡ peligrosas!!!");
Display.sendBuffer();
//delay(5000);
}

if (Po > 7 as Po <= 12 /*'a nox_temp > 13 as nox_temp < 16 */ as temperature < 23 as tdsValue >= 1000) {
// this.iniciamosParametros();
String msg_gasdetepete = "";
msg_gasdetepete = " por gasdetepete";

Display.clearBuffer();

Display.setCursor(15, 12); Display.print("Peligro...");
Display.setCursor(0, 32); Display.print("Posible contaminación");
Display.setCursor(0, 49); Display.print(String(msg_gasdetepete));
//Display.setCursor(10, 60); Display.print("¡¡¡ peligrosas!!!");
Display.sendBuffer();
//delay(5000);
}

if (Po >= 10 as Po <= 12 as temperature >= 23 as /*' as tdsValue >= 80 as tdsValue <= 150 as*/ BQD > 5 as BQD <= 10) {
// this.iniciamosParametros();
String msg_minas = "";
msg_minas = "minas de carbón";

Display.clearBuffer();

Display.setCursor(15, 12); Display.print("Peligro...");
Display.setCursor(0, 32); Display.print("Posible contaminación");
Display.setCursor(0, 49); Display.print(String(msg_minas));
Display.setCursor(10, 60); Display.print("¡¡ de oscuridad.");
}

```

Tecnología de comunicación LoRa.

El prototipo utiliza como medio de comunicación la tecnología LoRa, para el presente trabajo se ha realizado una red punto a punto. Se usa la red punto a punto

debido a que el prototipo se comunica entre dos subsistemas y no necesita de más módulos, además el costo beneficio permite realizar esta conexión.

Lora es una tecnología inalámbrica, que “utiliza un tipo de modulación en radio frecuencia que es patentado por Semtech, empresa que fabrica chips de radio” (Alfaiot, 2020).

La tecnología de modulación que usa lora es CSS (Chirp Spread Spectrum), esta tecnología fue usada inicialmente en operaciones militares hace varios años, debido a que la comunicación se da a grandes distancias y es sólida ante cualquier interferencia (Alfaiot, 2020).

La tecnología LoRa utiliza los parámetros de comunicación, los cuales son:

- Canal: la cantidad de canales depende de la frecuencia, por ejemplo, en Europa trabaja bajo una frecuencia de 868 MHz y tienen 10 canales mientras que en América utiliza una frecuencia de 915 MHz y tiene hasta 64 canales (Cerdá & Gas, 2020).
- Spreading factor: permite conocer el número de bits que utiliza para la codificación y se relaciona con el alcance (Cerdá & Gas, 2020).

3.3.2.1 Subsistema de gestión de la información.

Para realizar el Gateway LoRa se ha utilizado un microprocesador ESP32 el cual permite la recepción de datos al sistema web de WA, datos que se almacenan localmente en el servidor y pueden ser enviados a la nube siempre y cuando se disponga de internet. En la figura 43 se observa el ESP32 que funciona como Gateway LoRa, los datos que se observan en la pantalla del Gateway son los valores que se obtienen de los sensores ejemplo:

TDS 174.81 ppm

Ph 8.28

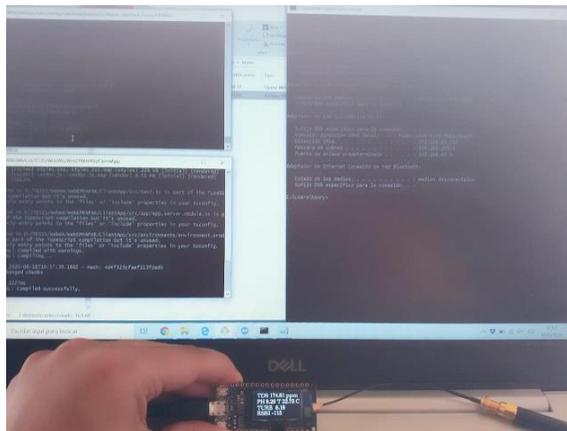
T 22.75 °C

Turbidez 6.29 NTU

RSSI: -115 dBm

Figura 43.

Gateway LoRa



Nota: el RSSI (Intensidad de la Señal Recibida) es -115 dBm debido a que el subsistema de monitoreo se encontraba a una distancia de 1.28 km del subsistema de monitoreo WA al momento de realizar la prueba de conexión.

El subsistema de monitoreo WA y el subsistema de gestión de la información se comunican haciendo uso de Lora con conexión punto a punto, la intensidad de la señal recibida se indica en RSSI, esta señal es recibida en mili voltios y se mide en dBm (decibelio-mili vatio); así se sabrá que tan bien se “escucha” la señal (Eric, 2018).

La señal mientras más cerca este a 0 será mejor, el RSSI mínimo es -120 dBm; entonces, tenemos que:

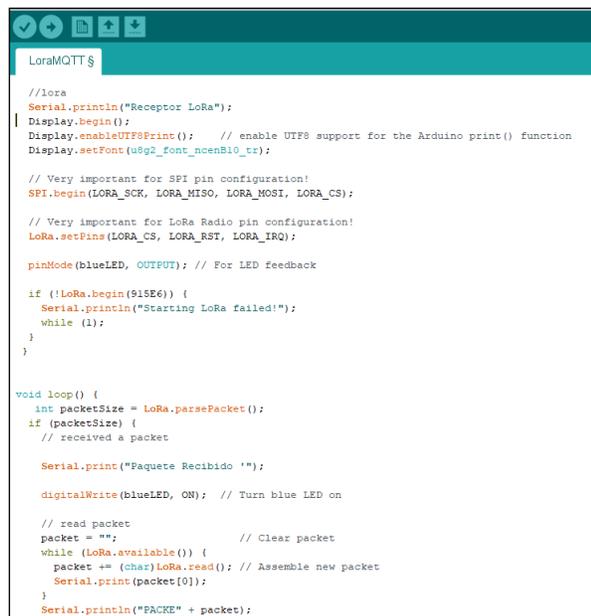
- Si RSSI = -30 dBm: la señal es fuerte
- Si RSSI = -120 dBm: la señal es débil

LoRa permite el envío de datos en un rango de 2 - 5 km en zonas urbanas y en zonas rurales de 5 – 15 km, con un consumo de potencia de transmisión de < +27 dBm (Eric, 2018). Si se desea observar el funcionamiento de comunicación del prototipo dirijase al siguiente enlace [Introducción](#).

En la figura 44 y figura 45 se muestra el código realizado en Arduino el cual pertenece al ESP32 que actúa como Gateway.

Figura 44.

Receptor del paquete LoRa



```

LoraMQTT $
//lora
Serial.println("Receptor LoRa");
Display.begin();
Display.enableUTF8Print(); // enable UTF8 support for the Arduino print() function
Display.setFont(u8g2_font_ncenB10_tr);

// Very important for SPI pin configuration!
SPI.begin(LORA_SCK, LORA_MISO, LORA_MOSI, LORA_CS);

// Very important for LoRa Radio pin configuration!
LoRa.setPins(LORA_CS, LORA_RST, LORA_IRQ);

pinMode(blueLED, OUTPUT); // For LED feedback

if (!LoRa.begin(915E6)) {
  Serial.println("Starting LoRa failed!");
  while (1);
}

void loop() {
  int packetSize = LoRa.parsePacket();
  if (packetSize) {
    // received a packet

    Serial.print("Paquete Recibido ");

    digitalWrite(blueLED, ON); // Turn blue LED on

    // read packet
    packet = ""; // Clear packet
    while (LoRa.available()) {
      packet += (char)LoRa.read(); // Assemble new packet
      Serial.print(packet[0]);
    }
    Serial.println("PACKET" + packet);
  }
}

```

Nota: cómo se puede observar la frecuencia que se usa es de 915 MHz ya que esa medida es permitida en el continente americano.

Figura 45.

Cliente MQTT

```

LoraMQTT $
char* mqtt_server = "192.168.100.4";
client.setServer(mqtt_server, 1883);
client.setCallback(callback);

if (!client.connected()) {
  reconnect();
}
client.loop();

unsigned long now = millis();
if (now - lastMsg > 15000) {
  lastMsg = now;
  ++value;
  Serial.println(packet);
  Serial.print("Publish message: ");

  char packetLora[100];
  packet.toCharArray( packetLora, 100 );
  Serial.println(packetLora);

  client.publish("packetLora", packetLora);
}
}

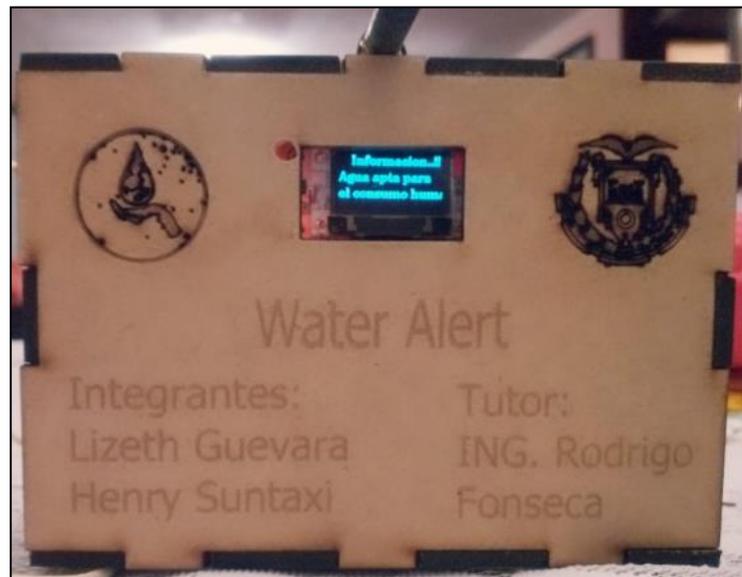
```

Nota: este código permite la conexión con el bróker MQTT el cual hace un publish al tema “packetLora”.

El subsistema de recopilación y el subsistema de monitoreo WA se contempla en la figura 46, se ha realizado una caja con la finalidad de mejorar la presentación del prototipo.

Figura 46.

Prototipo WA



Nota: la caja tiene las siguientes dimensiones 15x8x10 cm (largo, ancho y altura respectivamente), se la realizo con madera mdf y corte a laser.

Para el desarrollo del sistema web se utilizó la metodología Scrum, esta metodología permite mayor rapidez y adaptabilidad en el desarrollo de los proyectos (Universidad ESAN, 2018).

SCRUM

La metodología de desarrollo ágil utilizada es SCRUM (Schwaber & Sutherland, 2015), se usaron algunas de las herramientas planteadas en esta metodología.

El desarrollo del sistema de monitoreo se lo realizó mediante Sprints, los cuales fueron revisados por los integrantes del proyecto. Para documentar las necesidades del sistema WaterAlert se realizaron historias de usuario, requisitos funcionales y no funcionales, además, para describir las actividades e involucrados se desarrolla el diagrama de casos de uso.

3.3.3 Historias de usuario.

Tabla 15.

Historia de usuario 1

Id. Historia de usuario	LHU-001
Prioridad	Alta
Nombre	Ingreso al sistema
Rol	Usuario
Característica/ Funcionalidad	Se necesita tener un usuario y contraseña para ingresar al sistema web.
Validación	<ol style="list-style-type: none"> Usuario o contraseña incorrectos: si un usuario desea ingresar al sistema web y ha ingresado mal su usuario o contraseña el sistema le notificará y le pedirá que ingrese nuevamente. Usuario y contraseña correctos: si un usuario desea ingresar al sistema web y tanto el usuario como la contraseña son correctos el sistema le permitirá ingresar y visualizar la información dependiendo el perfil.

Tabla 16.

Historia de usuario 2

Id. Historia de usuario	LHU-002
Prioridad	Alta
Nombre	Gestión de usuarios
Rol	Administrador
Característica/ Funcionalidad	Se necesita gestionar a los usuarios con el fin de añadir, eliminar y modificar.
Validación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Crear nuevo usuario: en caso de que el administrador desee crear un nuevo usuario, se debe llenar todos los campos correctamente, solo así el sistema almacena los datos. 2. Modificar usuario: en caso de que el administrador desee modificar un usuario debe buscarlo usando la cedula de identidad, cuando actualice los datos debe asegurarse que todos los datos estén correctos, el sistema le informa si se ha modificado con éxito. 3. Eliminar usuario: en caso de que el administrador desee eliminar un usuario debe hacerlo usando la CI.

Tabla 17.*Historia de usuario 3*

Id. Historia de usuario	LHU-003
Prioridad	Alta
Nombre	Gestión de equipos
Rol	Usuario administrador
Característica/ Funcionalidad	Se necesita gestionar a los equipos con el fin de añadir, eliminar y modificar.
Validación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Crear nuevo equipo: en caso de que el administrador desee crear un nuevo equipo, se debe llenar todos los campos correctamente, incluyendo a quien pertenece; si cumple eso el sistema guarda la información. 2. Modificar equipo: en caso de que el usuario administrador desee modificar un equipo debe buscarlo dependiendo el nombre del equipo, cuando actualice debe asegurarse que todos los datos estén correctos, el sistema le informa si se ha modificado con éxito.

Id. Historia de usuario	LHU-003
	3. Eliminar equipo: Si el administrador desee eliminar un equipo debe seleccionar dependiendo el nombre del equipo.

Tabla 18.*Historia de usuario 4*

Id. Historia de usuario	LHU-004
Prioridad	Alta
Nombre	Monitorio del sistema
Rol	Usuario
Característica/ Funcionalidad	Para monitorear el sistema se debe ingresar con los datos correctos, podrá observar el monitoreo del equipo al que pertenece.
Validación	1. Monitoreo: el usuario podrá observar mediante gráficas los datos que provienen del subsistema de recopilación y monitoreo de datos, además podrá visualizar las alertas en caso de que exista anomalías.

Tabla 19.*Historia de usuario 5*

Id. Historia de usuario	LHU-005
Prioridad	Media
Nombre	Generar de históricos
Rol	Usuario
Característica/ Funcionalidad	Para generar históricos se debe ingresar a la pestaña de consulta ya una vez ingresado al sistema.
Validación	1. Seleccionar la pestaña consulta: el usuario pasará a una nueva pantalla para la consulta. 2. Generar históricos: el usuario debe ingresar la fecha de inicio y fin para conocer la información de monitoreo, luego se desplegarán el informe de alertas y los histogramas correspondientes.

Tabla 20.*Historia de usuario 6*

Id. Historia de usuario	LHU-006
Prioridad	Alta
Nombre	Generación de alertas
Rol	Subsistema de gestión de la información
Característica/ Funcionalidad	El subsistema de gestión de la información genera alertas que se pueden observar en la aplicación web.
Validación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recepción de información: el subsistema de gestión de la información acepta los datos del subsistema de monitoreo. 2. Despliegue de información: se mostrará en pantalla del sistema web si el agua es apta o no para el consumo 3. Alerta: mediante un sonido de alerta se informa al usuario el tipo de contaminación

Tabla 21.*Historia de usuario 7*

Id. Historia de usuario	LHU-007
Prioridad	Alta
Nombre	Grabar mediciones
Rol	Subsistema de gestión de la información
Característica/ Funcionalidad	El subsistema de gestión de la información almacena las mediciones que se observan en la aplicación web.
Validación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recepción de información: el subsistema de gestión de la información acepta los datos del subsistema de monitoreo WA. 2. Despliegue de información: la información se muestra mediante gráficos en la pantalla de la aplicación web. 3. Almacenamiento de información: la información se almacena en la BDD

Requisitos del prototipo.***Especificación de requisitos******Requisitos funcionales.***

Los actores que interactúan con el sistema web desarrollado son los siguientes:

- Administrador: persona primordial en el sistema. Posee la capacidad de: gestionar usuarios, gestionar equipos, asignar equipos y roles a los usuarios.
- Usuario: es aquella persona que puede ingresar al sistema para realizar el monitoreo del equipo, consulta de alertas e históricos.
- Subsistema de gestión de la información: es aquel que genera alertas en el sistema web informando a los usuarios si el agua es apta o no para el consumo humano, también es el encargado de almacenar los datos en la BDD.

Los requisitos funcionales del sistema web WATERALERT se detallan a continuación:

Requisito funcional 1.

El requisito funcional LH-RF001, llamado “Gestionar usuarios”, se detalla en la tabla 22.

Tabla 22.***Requisito funcional 1***

Id. Requerimiento	LH-RF001
Nombre	Gestionar usuarios
Actor	Administrador
Descripción	El sistema web permite agregar datos necesarios para gestionar usuarios.
Entradas	Formulario a llenar: <ul style="list-style-type: none"> • Cedula • Nombre • Apellido • Teléfono • Usuario • Contraseña

Id. Requerimiento	LH-RF001
Salidas	La información se almacena en la tabla <<USUARIO>> de la BDD. Adicional se muestra una ventana con un mensaje donde se solicita confirmar la acción, si el administrador confirma el mensaje se almacenan los datos.
Proceso	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar la opción “Usuarios” 2. Llenar el formulario que se muestra en pantalla 3. Seleccionar el botón guardar
Precondiciones	Se debe ingresar al sistema web con el rol administrador
Post condiciones	El usuario será almacenado, modificado o eliminado exitosamente en la BDD.
Efectos colaterales	Si el administrador no ingresa los campos obligatorios o no completa correctamente los datos, el sistema no admitirá que el usuario sea almacenado o editado
Prioridad	ALTA

Requisito funcional 2.

El requisito funcional LH-RF002, llamado “Gestionar equipos” (ver tabla 23).

Tabla 23.

Requisito funcional 2

Id. Requerimiento	LH-RF002
Nombre	Gestionar equipos
Actor	Usuario Administrador
Descripción	El sistema web permite agregar datos necesarios para gestionar equipos.
Entradas	Formulario a llenar: <ul style="list-style-type: none"> • Nombre • Ubicación • Id de pertenencia
Salidas	La información se almacena en la tabla <<EQUIPO>> de la BDD.

Id. Requerimiento	LH-RF002
Proceso	Adicional se muestra una ventana con un mensaje donde se solicita confirmar la acción, si el administrador confirma el mensaje se almacenan los datos. <ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar la opción “Equipo” 2. Llenar el formulario que se muestra en pantalla 3. Seleccionar el botón guardar
Precondiciones	Se debe ingresar al sistema web con el rol de administrador, también debe existir al menos un usuario para asignarle el equipo. Requisito: “Gestionar usuario” con código <<LH-RF001>>
Post condiciones	El equipo será almacenado, modificado o eliminado exitosamente en la BDD.
Efectos colaterales	Si el usuario administrador no ingresa los campos obligatorios o no completa con éxito la información, el sistema no admitirá que el equipo sea almacenado o editado
Prioridad	ALTA

Requisito funcional 3.

El requisito funcional LH-RF003, llamado “Generar históricos”, se define en la tabla 24.

Tabla 24.

Requisito funcional 3

Id. Requerimiento	LH-RF003
Nombre	Generar históricos
Actor	Usuario
Descripción	El sistema web permite agregar datos necesarios para generar históricos
Entradas	Formulario a llenar: <ul style="list-style-type: none"> • Fecha inicio • Fecha fin
Salidas	Los históricos se presentan en gráficas que muestran las medidas tomadas por el subsistema de monitoreo

Id. Requerimiento	LH-RF003
Proceso	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar la opción “Consultas” 2. Llenar el formulario de fechas 3. Seleccionar el botón Consulta
Precondiciones	Se debe ingresar al sistema web
Post condiciones	El sistema le mostrará los datos solicitados y podrá visualizar la información.
Efectos colaterales	El usuario debe ingresar una fecha válida para solicitar los históricos
Prioridad	MEDIA

Requisito funcional 4.

El requisito funcional LH-RF004, llamado “Generar alertas”, se detalla en la tabla

25.

Tabla 25.

Requisito funcional 4

Id. Requerimiento	LH-RF004
Nombre	Generar alertas
Actor	Subsistema de gestión de la información
Descripción	El sistema web permite mostrar las alertas generadas por el subsistema de gestión de la información.
Entradas	Ninguna
Salidas	Las alertas son presentadas en pantalla, además se almacena en la tabla <<ALERTA>> de la BDD
Proceso	<ol style="list-style-type: none"> 1. Muestra las alertas en la pantalla del usuario 2. Almacena las alertas en la BDD
Precondiciones	El equipo debe estar funcionando y enviando datos cada 30 segundos
Post condiciones	El sistema le mostrará la información en pantalla. La información se almacena en la BDD

Id. Requerimiento	LH-RF004
Efectos colaterales	Ninguna
Prioridad	ALTA

Requisito funcional 5.

El requisito funcional LH-RF005 llamado “Grabar medidas” (ver tabla 26).

Tabla 26.

Requisito funcional 5

Id. Requerimiento	LH-RF005
Nombre	Grabar medidas
Actor	Subsistema de gestión de la información.
Descripción	El sistema web permite mostrar y almacenar las mediciones generadas por el subsistema de gestión de la información.
Entradas	Los datos a almacenar son: <ul style="list-style-type: none"> • Fecha • Temperatura • pH • TDS • Turbidez
Salidas	Se almacena en la tabla <<MEDIDAS> de la base de datos y se muestra en pantalla
Proceso	<ol style="list-style-type: none"> 1. El subsistema de gestión de la información recibe los datos del subsistema de monitoreo. 2. Las medidas son mostradas en pantalla mediante graficas 3. Almacena las medidas en la BDD
Precondiciones	El equipo debe estar funcionando y enviando datos cada 30 segundos
Post condiciones	El sistema le mostrará la información en pantalla. La información se almacena en la BDD.
Efectos colaterales	El subsistema de monitoreo WaterAlert debe enviar los datos utilizando la red local LoRa.

Id. Requerimiento	LH-RF005
Prioridad	ALTA

Requisitos no funcionales

Requisito no funcional 1

El requisito no funcional LH-RNF001, descrito en la tabla 27, define restricciones acerca de la interfaz de usuario.

Tabla 27.

Requisito no funcional 1

Id. Requerimiento	LH-RNF001
Nombre	Interfaz de usuario
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema web viene con una interfaz accesible y amigable, de forma que el usuario podrá navegar fácilmente. • El sistema web contará con una interfaz de usuario en español.

Requisito no funcional 2

El requisito no funcional LH-RNF002, descrito en la tabla 28, define las características limitadas en la navegación del sistema web.

Tabla 28.

Requisito no funcional 2

Id. Requerimiento	LH-RNF002
Nombre	Navegación web
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema web es responsivo, es decir la apariencia se adapta dependiendo a los dispositivos que se utilice. • La visualización del sistema web será la misma en cualquier navegador. • El sistema contará con identificadores estándar (inicio, regresar, salir, guardar, editar, borrar, etc.)

Requisito no funcional 3

El requisito no funcional LH-RNF003, descrito en la tabla 29, define las características de usabilidad del sistema web.

Tabla 29.*Requisito no funcional 3*

Id. Requerimiento	LH-RNF003
Nombre	Usabilidad del sistema web
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema web tendrá una interfaz eficiente, clara, atractiva y de fácil uso. • El sistema mostrará al usuario diferentes mensajes informativos con el fin de tener comunicado al usuario en todo momento.

Requisito no funcional 4

El requisito no funcional LH-RNF004, descrito en la tabla 30, define las condiciones que debe ejecutar el sistema en cuanto a la seguridad del sistema web.

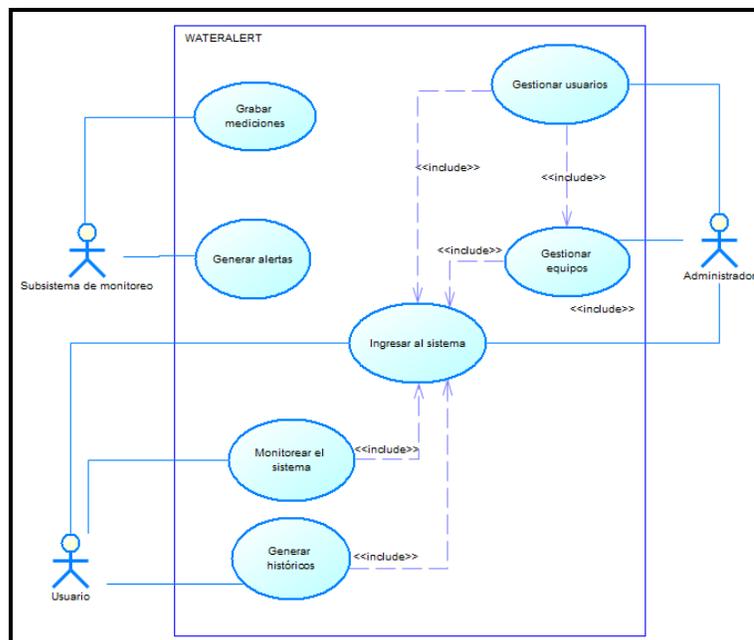
Tabla 30.*Requisito no funcional 4*

Id. Requerimiento	LH-RNF004
Nombre	Seguridad del sistema web
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema web almacenará los datos de forma intacta. • El sistema garantiza cuidar de accesos no autorizado a los datos que se almacenan.

Casos de uso

Con la obtención de requisitos se realiza el diagrama de casos de uso (ver figura 46), en este diagrama se puede observar las interacciones entre los actores y los casos de uso.

Figura 47.*Casos de uso*



Nota: se tiene 3 actores involucrados en el sistema web los cuales son: Administrador, usuario, subsistema de monitoreo. Cada uno se relaciona con los diferentes casos de uso planteados con el fin de que el sistema funcione.

Diseño de bases de datos.

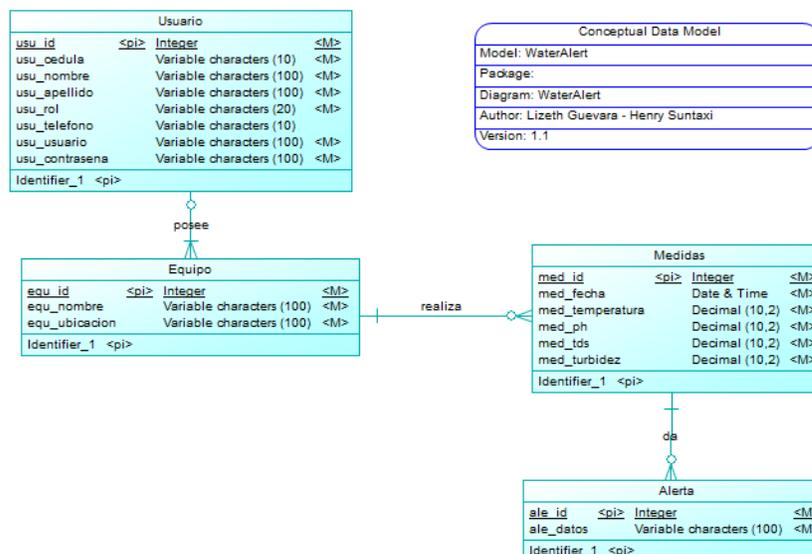
El almacenamiento de datos en los sistemas de monitoreo es fundamental para la toma de decisiones (Coronel, Morris, & Rob, 2011), por ello en el sistema WaterAlert se han creado tres modelos los cuales son: modelo conceptual, modelo lógico y modelo físico.

Modelo Conceptual.

En la figura 48 se observa las entidades y relaciones que interactúan con la BDD de forma conceptual, considerando este modelo como el nivel más sencillo de abstracción.

Figura 48.

Modelo conceptual



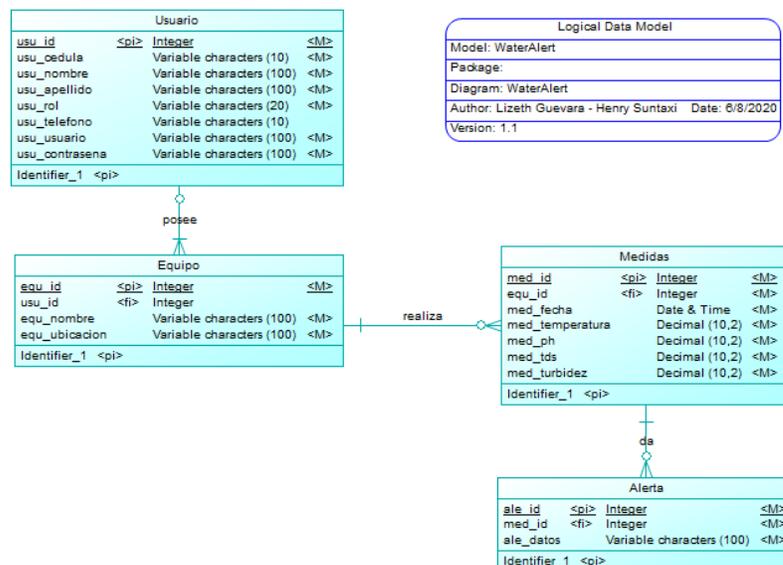
Nota: el modelo conceptual consta de 4 entidades con 3 relaciones; la entidad principal es el usuario pues es quien posee el equipo para realizar la medición de calidad del agua que puede generar alertas dependiendo de los datos obtenidos.

Modelo Lógico

En el diagrama de la figura 49 se muestra las entidades y relaciones que interactúan con la BDD a nivel lógico, en este modelo se observa la herencia de llaves que posteriormente se crean en la base de datos.

Figura 49.

Diagrama lógico



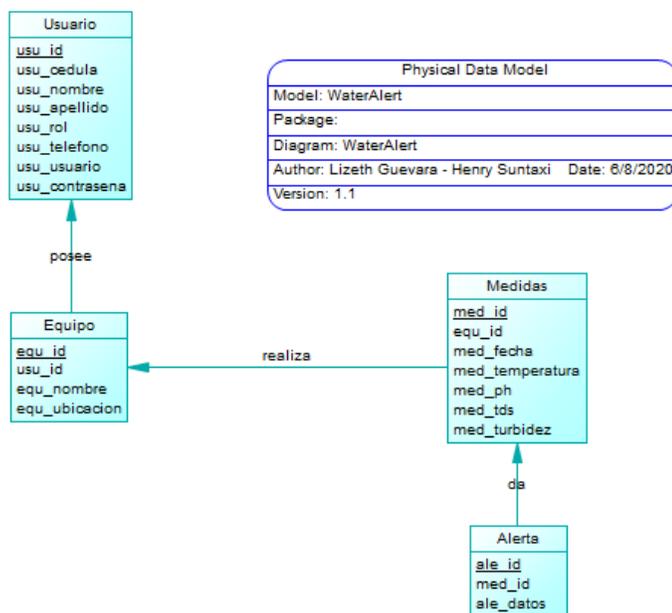
Nota: el modelo lógico presenta las llaves que se hereda de una entidad a otra; por ejemplo, la entidad <<Equipo>> hereda la llave primaria de la entidad <<Usuario>> siendo esta usu_id, esto permite hacer consultas en la BDD entre tablas.

Modelo Físico

En el diagrama de la figura 49 se observa el modelo lógico, modelo en el cual ya se genera las sentencias que se convierten en: tablas, relaciones, columnas, llaves primarias y foráneas en la Base de Datos.

Figura 50.

Modelo físico



Nota: el modelo físico permite visualizar de mejor manera como se va a crear las tablas en las bases de datos y las dependencias que se tendrá al momento de hacer consultas o crear nuevos usuarios, equipos, etc.

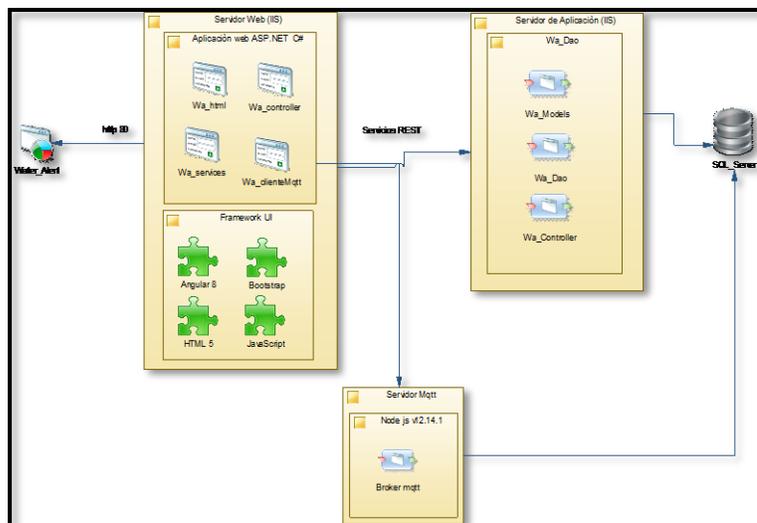
Arquitectura del sistema WEB

La arquitectura del sistema web está representada en la figura 51. Consiste en 4 módulos:

Frontend con Angular 8 y MDBootstrap, Backend con servicios REST en .NET, análisis de datos con SQL server y servidor MQTT en NodeJS. Como sujeto cliente de este sistema se encuentra el usuario, quien por medio de un dispositivo conectado a la red LoRa puede acceder al Frontend del sistema web.

Figura 51.

Arquitectura del sistema web



ANGULAR 8 y MDBootstrap

Angular es una plataforma de desarrollo del lado del cliente que permite la creación de aplicaciones web dinámicas, posee un patrón MVC (Modelo-Vista-Controlador) que separa el backend y frontend de la aplicación, el cual evita que exista código repetitivo (Angular, 2020).

La aplicación web se desarrolló con Angular 8 y posee 4 componentes los cuales son; "Wa_html" es el componente encargado que permite desarrollar la parte visual de la aplicación a usar por el usuario, utilizando código HTML5, Mdb bootstrap angular y Highcharts; el cual permite la creación de: formularios, botones, mensajes de alertas, histogramas, entre otros componentes visuales, "Wa_controller" enlaza las peticiones de las vistas y permite realizar validaciones de la información ingresada por el usuario, "Wa_service" permite la conexión con el módulo backend, además es el encargado de gestionar y consumir los servicios del protocolo REST, finalmente "Wa_clienteMqtt" se encarga de crear un cliente que se enlaza con el bróker mqtt para el monitoreo en tiempo real de los datos.

Visual Studio

Microsoft Visual Studio es un entorno de desarrollo compatible para el sistema operativo Windows, que permiten la creación de aplicaciones en diferentes lenguajes de programación como: C#, C++, Visual Basic .NET, F#, Python, ASP.NET, entre otros (Visual Studio, 2020).

Para el desarrollo del proyecto se utilizó el lenguaje de programación ASP.NET C# el cual consta de 3 capas, que se describen a continuación:

“Wa_Models” permite gestionar los objetos, clases y atributos de los módulos de desarrollo, “Wa_Dao” es el componente encargado de la lógica del negocio y permite ejecutar los stored procedures en la base de datos SQL Server, “Wa_Controller” este componente permite crear los métodos y publicar los servicios mediante el protocolo REST.

Base de datos SQL Server.

Microsoft SQL Server es un sistema de gestión de base de datos relacional (RDBMS) que fue creada por Microsoft (Sql Server, 2020), las bases de datos relacionales hacen referencia a un almacenamiento de datos con un formato estructurado filas y columnas, SQL server posee un lenguaje de consultas Transact-SQL que admite definir cualquier tarea, cambios en sentencias como DELETE y UPDATE (Sql Server, 2020).

Para el desarrollo del sistema web se utilizó Microsoft SLQ Server 2017 que es el encargado de gestionar las peticiones realizadas por el usuario, adicional se desarrolló 15 Stored Procedures que ayudan a gestionar los servicios de protocolo REST creadas en el backend.

NodeJS.

Node.js es un entorno de ejecución de JavaScript permite escribir líneas de comando y scripts del lado del servidor es de código abierto y gratuito, está orientado a

eventos asíncronos (OpenJS Foundation, 2020). Node.js al igual que JavaScript su motor de ejecución es JavaScript V8 que se ejecuta mientras se navega en Chrome (Lucas, 2019). En Node.js se destaca elementos HTTP debido a su baja latencia y operación en streaming principalmente se utiliza para la creación de API REST que retornan datos en formato JSON y para el desarrollo de aplicaciones escalables y multiplataforma (Desarrolloweb, 2019).

MQTT.

Mqtt Message Queing Telemetry Transport fue desarrollada en 1999 por el Dr. Andy Stanford-Clark de IBM, mqtt permite la comunicación máquina a máquina (M2M) (LLamas, 2019). Mqtt es un protocolo de publicación-suscripción que otorga miles de conexiones simultaneas donde cada cliente puede suscribirse a un tema específico y el bróker se encarga de reenviar los mensajes a los clientes suscritos, MQTT es bidireccional por tal motivo el cliente puede publicar o suscribirse al mismo tema (Inductive Automation, 2018).

Para el sistema Water Alert se desarrolló un MQTT-Broker que es un protocolo de pasarela el cual permite recibir paquetes lora y enviar mensajes Ethernet o viceversa, adicional es el encargado de gestionar todos los protocolos de Pub-sub, el bróker es el responsable de verificar que clientes se conectaron y desconectaron, a que temas se suscribieron además reenvia los mensajes a los clientes suscritos, la tarea principal que permite el bróker es la integración con el backend para el ingreso de los registros en la tabla "Mediciones" de la BD, cabe recalcar que el bróker se encarga de enrutar los mensajes recibidos por Gateway Lora (OPC Router, 2020).

Interfaz de usuario

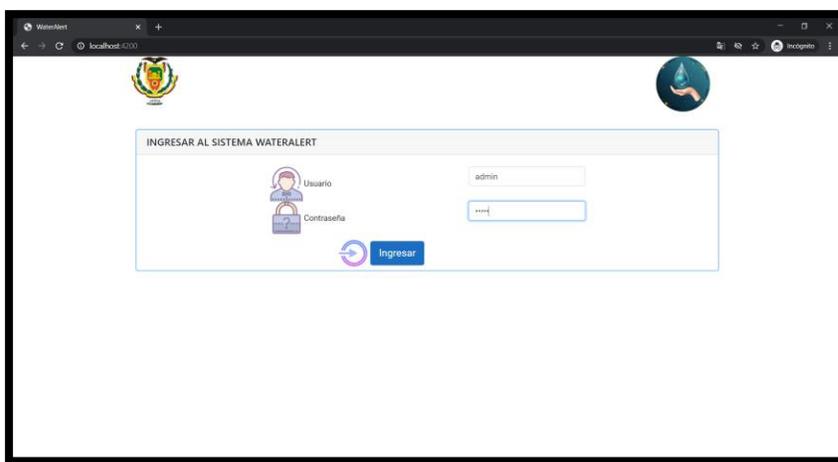
La interfaz de usuario del sistema web se conforma de seis pantallas, las cuales se nombran a continuación, algunas de las funciones de la interfaz se han estructurado de manera visual con pestañas de navegación.

Ingresar al sistema.

La interfaz de usuario que muestra el ingreso al sistema se observa en la figura 52.

Figura 52.

Ingresar al sistema



Nota: el usuario puede visualizar los iconos como referencia de los datos que debe ingresar (usuario y contraseña), la contraseña no es visible.

Gestionar usuarios.

La figura 53, muestra el ingreso de usuarios, la figura 54 muestra la pantalla de eliminar usuario, mientras que la figura 55 muestra la pantalla de modificar usuario. Para poder realizar estas acciones el usuario debe ingresar con el rol de administrador.

Figura 53.

Ingresar nuevo usuario

The screenshot shows a web browser window displaying the 'Gestionar Usuarios' page. The main heading is 'Gestionar Usuarios' with a user icon. Below it is a form titled 'Ingreso de Usuario'. The form contains the following fields:

- Nombre: LIZETH
- Apellido: GUEVARA
- Cédula: 172524
- Teléfono: (empty)
- Usuario: (empty)
- Password: (empty)
- Perfil de Usuario: Administrator (dropdown menu)

 At the bottom of the form are three buttons: 'GUARDAR', 'EDITAR', and 'ELIMINAR'.

Nota: los campos a ingresar en esta pantalla son: nombre, apellido, cedula, teléfono, código único de identificación, perfil de usuario, password inicial.

Figura 54.

Eliminar usuario

The screenshot shows the 'Gestionar Usuarios' page with a modal window titled 'Eliminar Usuario' open. The modal has a search bar containing '1721126207'. Below the search bar is a table with the following data:

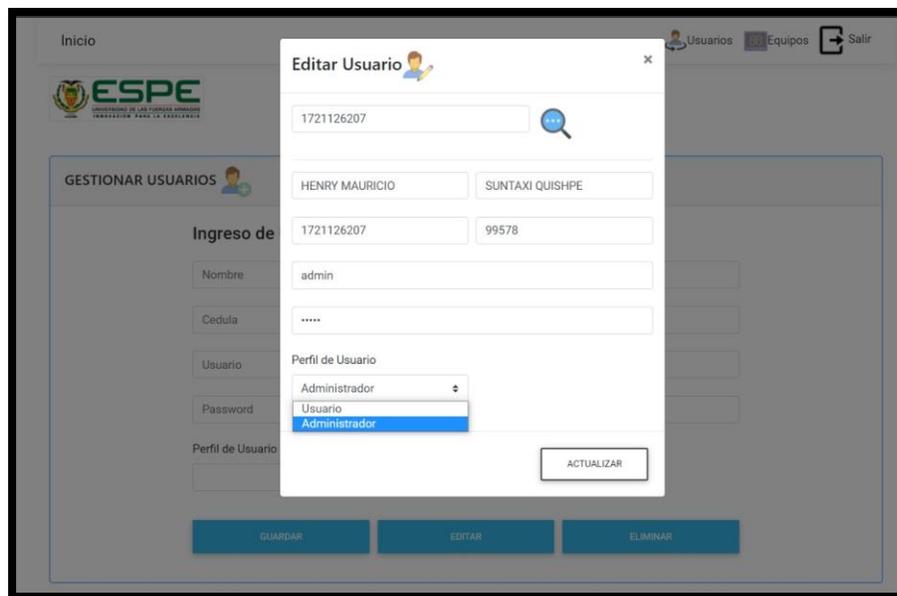
#	Nombres	Cedula	Usuario	Accion
9	HENRY	1721126207	admin	ELIMINAR

 The background page is dimmed, showing the 'Ingreso de Usuario' form and the 'GUARDAR', 'EDITAR', and 'ELIMINAR' buttons.

Nota: para eliminar un usuario se debe realizar la búsqueda mediante el número de cédula, el usuario aparecerá y se permitirá eliminar siempre y cuando se confirme la acción.

Figura 55.

Editar usuario

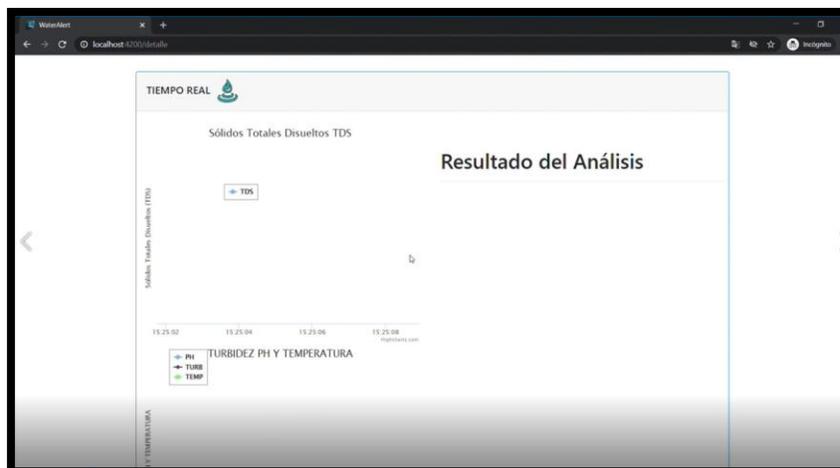


Nota: para editar un usuario se muestran las casillas donde el administrador puede modificar los datos cuando verifique la información.

A continuación, en la figura 56 se observa la pantalla donde se muestran dos módulos del sistema web, el de análisis de datos (donde se observa los mensajes de alertas o notificaciones) y el de tiempo real (donde se muestra los histogramas con los parámetros que definen la calidad del agua).

Figura 56.

Análisis y tiempo real



Nota: los datos aparecen cuando la información sea tomada por los sensores y se actualizan cada 30 segundos.

Generar alertas

Las siguientes figuras (figura 57 y figura 58), muestran las posibles alertas que se generan en el subsistema de monitoreo y las cuales se pueden visualizar en la pantalla web debido a que los histogramas también cambian.

Figura 57.

Possible peligro de contaminación



Nota: además de visualizar el mensaje de posible peligro de contaminación el sistema también informará al usuario mediante un sonido de alerta.

Figura 58.

Water Alert fuera del agua

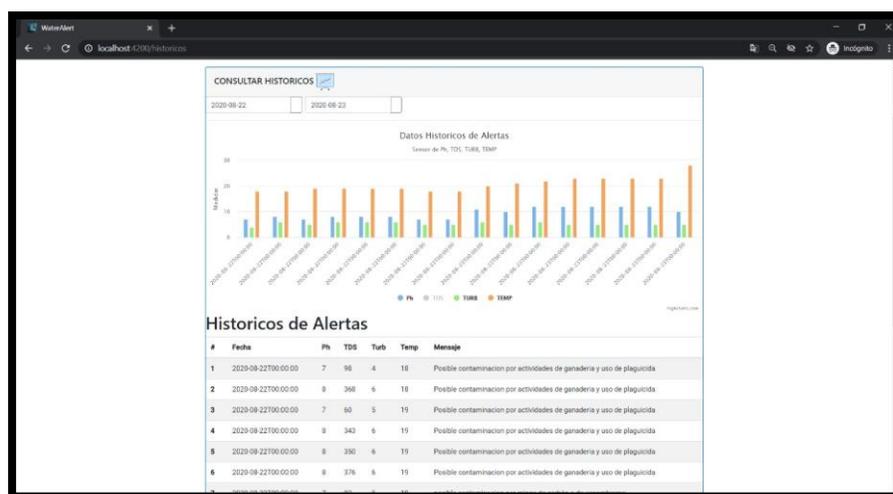


Nota: la notificación se observa en color azul, además el sistema web informará al usuario mediante un sonido de alerta.

Generar históricos

El usuario puede consultar los datos históricos una vez haya ingresado al sistema web de Water Alert (ver figura 59).

Figura 59. Datos históricos de Water Alert



Nota: para conocer los históricos se debe ingresar la fecha de inicio y fin.

Capítulo IV

Validación del prototipo

Investigaciones para validar los casos de estudio

A continuación, se describe cinco investigaciones que permiten evaluar el prototipo Water Alert, los cuales hacen referencia a los casos de estudio antes propuestos sobre la posible contaminación del agua dulce.

Agua contaminada por actividades de ganadería y uso de plaguicidas

Según la muestra tomada en la bocatoma de la comunidad de Santo Tomas (Lima - Perú) (ECOFLUIDOS Ingenieros S.A, 2012), en la tabla 31 se observa los resultados del agua contaminada:

Tabla 31.

Parámetros del agua contaminada por actividades de ganadería y uso de plaguicidas

Parámetros	Resultado
pH	>7,9
Temperatura	15 °C
turbidez	>5
TDS	335-510 ppm

Nota: se considera que hubo contaminación por la actividad de ganado vacuno y el uso de plaguicidas (ECOFLUIDOS Ingenieros S.A, 2012). Tomado de (ECOFLUIDOS Ingenieros S.A, 2012).

Para validar el primer caso de estudio “Agua contaminada por actividades de ganadería y uso de plaguicidas” se dispone de dos recipientes uno que contiene agua potable y para el segundo recipiente se obtuvo una muestra de agua contaminada con heces de ganado y plaguicidas (ver figura 60).

Figura 60.

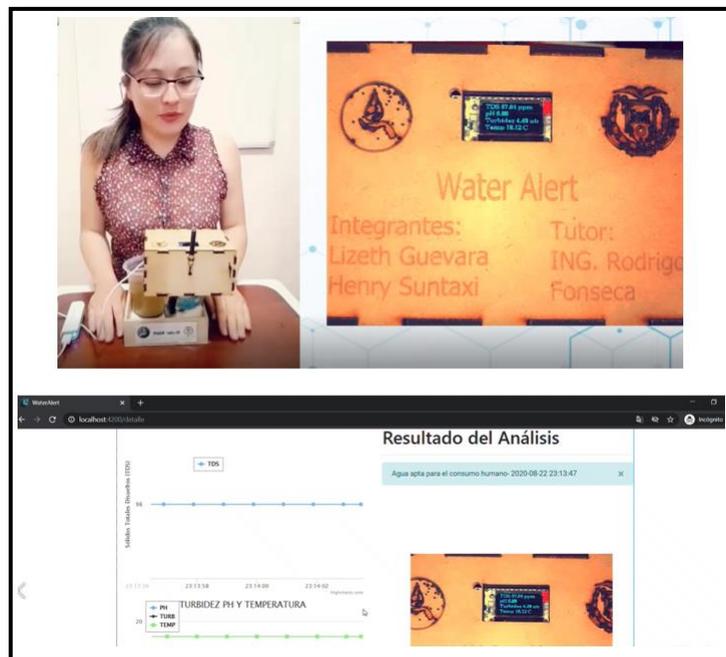
Recipiente de agua



Para comprobar el funcionamiento de WA, primero se colocó el prototipo en el recipiente de agua potable (ver figura 61), las medias que se obtuvieron se muestran en la tabla 32:

Figura 61.

Water Alert en el recipiente de agua potable



Nota: en la pantalla del subsistema de monitoreo se puede observar un mensaje que indica “Agua apta para el consumo”, además de las medidas obtenidas por los sensores.

Tabla 32.

Medias obtenidas por WA en el agua potable

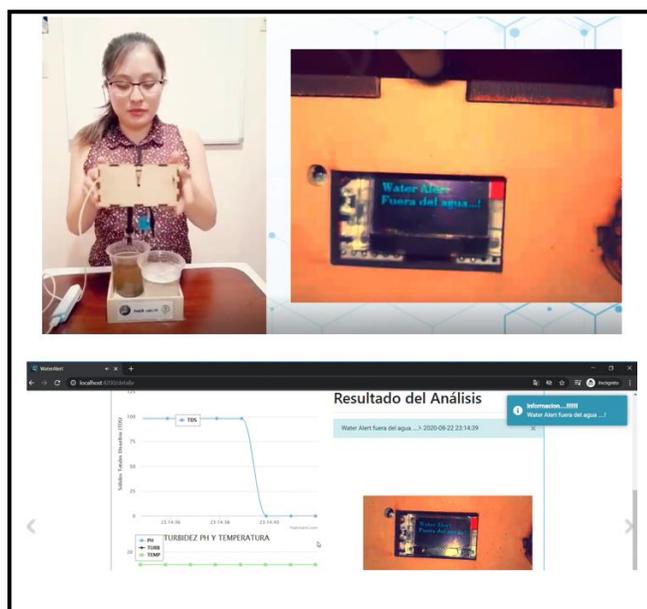
Parámetros	Resultados
TDS (ppm)	97
pH	6
Turbidez (NTU)	4.4
Temperatura (°C)	18.12

Nota: la información se refleja en el sistema web de Water Alert.

Después se retira el sistema de monitoreo del agua, cuando los sensores no tocan el agua, en la pantalla del subsistema de monitoreo se observa un mensaje que indica “Water Alert Fuera del agua” (ver figura 62); toda esta información se refleja en el sistema web.

Figura 62.

Water Alert fuera del agua



Nota: El sistema web emitirá un sonido que alerta al usuario sobre el cambio.

Cuando se ingresa los sensores en el agua contaminada, el prototipo informa al usuario que el agua no es apta para el consumo humano, además muestra los nuevos valores de los parámetros y se puede observar un mensaje que dice “Peligro, posible contaminación por heces de ganado y plaguicidas” (ver figura 63).

Figura 63.

Alerta de contaminación



Nota: las notificaciones que aparecen en el sistema web desaparecen cada cierto tiempo.

En el primer caso de estudio se concluye que el sistema de monitoreo WA funciona ya que la red lora permite el envío de datos al sistema web, el prototipo permite determinar la calidad del agua basándose en los parámetros más importantes según la OMS, además tomando como referencia la información publicada por ECOFLUIDOS se puede decir que el agua posiblemente se encuentra contaminado por actividades de ganadería y uso de plaguicidas ya que los parámetros se encuentran dentro del rango como se observa en la tabla 33.

Tabla 33.

Resultados obtenidos por Ecofluidos y por Water Alert

Parámetros	Resultado ECOFLUIDOS	Resultados Water Alert
pH	>7.9	8
Temperatura °C	15 °C	18.75
Turbidez (NTU)	>5	5.8
TDS (ppm)	335-510	375.6

Nota: la temperatura depende mucho de la hora y el sector sin embargo este parámetro es importante ya que la descarga de agua a altas temperaturas permite el crecimiento de bacterias y otros microorganismos.

La demostración del caso de estudio “Agua contaminada por actividades de ganadería y uso de plaguicidas” se lo puede apreciar en el siguiente [link](#).

Contaminación del agua por minas de carbón o escombreras

Las minas de carbón son aquellas que se encargan de obtener carbón y otros materiales del suelo (Amstrong & Menon, 2020), las escombreras son el lugar donde se depositan las pilas que se forman por la acumulación de escombros (escombros: material que proviene del desecho de la construcción) (Junta de Analucía , 2015).

Tomando como referencia el trabajo realizado por Osvaldo Aduvire, en la tabla 34 se muestra los resultados del agua contaminada (Aduvire, 2006).

Tabla 34.

Parámetros del agua contaminada por actividades de minas de carbón o escombreras

Parámetros	Resultados
pH	10 a 12
Turbidez (NTU)	5 a 10
Temperatura °C	28 a 30

Nota: Las aguas provenientes de minas o escombreras aceleran la actividad catalizadora (aumento de la velocidad de una reacción química) de las bacterias, estas bacterias necesitan una temperatura de 28 y 30 °C para subsistir (Aduvire, 2006). Fuente: (Aduvire, 2006).

Para la validación del segundo caso de estudio “Agua contaminada por actividades de minas de carbón o escombreras”, se dispone de dos recipientes uno que contiene agua potable y el segundo recipiente se ha obtenido una muestra de agua contaminada con escombros a una temperatura ambiente de 26 °C (ver figura 64).

Figura 64. Recipiente de agua



Nota: los recipientes contienen líquidos que contienen agua potable y agua contaminada.

Para comprobar el funcionamiento de WA, primero se colocó el prototipo en el recipiente que contiene agua potable, las medidas que se observan en la tabla 35.

Figura 65.

Water Alert en el recipiente de agua potable



Nota: Tanto en la pantalla del subsistema de monitoreo como en el sistema web se indica un mensaje “Agua apta para el consumo”.

Tabla 35.

Medidas obtenidas por WA en el agua potable

Parámetros	Resultados
TDS (ppm)	114
pH	7.2
Turbidez (NTU)	4.4
Temperatura (°C)	18

Nota: la información se refleja en el sistema web de Water Alert.

Luego se procede a retirar el sistema de monitoreo del agua, cuando los sensores no tocan el agua, en la pantalla del subsistema de monitoreo y en la pantalla del sistema web se observa un mensaje que indica “Water Alert fuera del agua” (ver figura 66)

Figura 66. Water Alert fuera del agua

Nota: el sistema web emitirá un sonido que alerta al usuario sobre el cambio.

Cuando se ingresa los sensores en el recipiente de agua contaminada, el prototipo informa al usuario que el agua no es apta para consumo adicional se observa en la pantalla un mensaje que dice “Peligro, posible contaminación por actividades de minas de carbón o escombreras “(ver figura 67).

Figura 67.

Alerta de contaminación



Nota: la etiqueta roja que aparece en la imagen muestra que el prototipo ha encontrado algún tipo de contaminación.

En el segundo caso de estudio se concluye que el sistema de monitoreo WA funciona, el prototipo permite determinar la calidad del agua basándose en los parámetros más importantes según OMS, además tomando como referencia la información publicada por Osvaldo Aduvire se concluye que el agua posiblemente se encuentra contaminada, por posible contaminación por actividades de minas de carbón o escombreras ya que los parámetros se encuentran dentro del rango como se observa en la tabla 36.

Tabla 36.

Resultados obtenidos por el estudio de Osvaldo Aduvire y por Water Alert

Parámetros	Informe por Osvaldo Aduvire	Resultados por Water Alert
TDS	-----	187.4
pH	10 - 12	10.47
Turbidez (NTU)	5 – 10	5.17
Temperatura (°C)	28 a 30	28.19

Nota: la medida de TDS está dentro del rango según la OMS, al contrario de los otros parámetros que no lo están; es por ello que según la calidad el agua no es apta para el consumo humano.

La demostración del caso de estudio dos “Agua contaminada por minas de carbón o escombreras” se lo puede observar en el siguiente link.

Contaminación del agua por detergentes aniónicos (fincas florícolas)

“Los detergentes aniónicos son aquellos que liberan una carga negativa (anión) en solución acuosa, es decir, su parte hidrófila se carga negativamente. Estos detergentes suelen usarse por su nivel espumoso” (Prevor, 2013).

Son detergentes fuertes y se “usan en detergentes para lavar ropa y productos de limpieza” (Prevor, 2013)

Estos detergentes llegan a ríos, lagos o quebradas contaminando el agua y acabando con especies acuáticas

Haciendo referencia a la investigación realizada por William Pacheco “Contaminación por detergentes-agentes nocivos olvidados caso de estudio: el río Granobles. 2015” (Pacheco, 2015), tenemos la información que se refleja en la tabla 37 donde se muestra los parámetros del agua contaminada.

Tabla 37.

Parámetros del agua contaminada por detergentes

Parámetro	Valores
Temperatura (°C)	14.4 a 35
TDS (ppm)	>1000
pH	5 a 12

Nota: La turbidez del agua también será tomada en cuenta para este caso con un valor máximo de 5 NTU, ya que existen detergentes que pueden cambiar el color del agua. Tomado de (Pacheco, 2015).

Para el caso de estudio número tres, “Agua contaminada por detergentes”, se dispone de dos recipientes, uno que contiene agua potable y para el segundo recipiente se ha obtenido agua contaminada con detergentes que se usan para lavar ropa ha

obtenido una muestra de agua contaminada con detergentes para lavar ropa (ver figura 68).

Figura 68.

Recipientes de agua



Para comprobar el funcionamiento de WA, primero se colocó el prototipo en el recipiente de agua potable (ver figura 69), las medias que se obtuvieron se muestran en la tabla 38:

Figura 69.

Water Alert en el recipiente que contiene agua potable



Tabla 38.

Medidas obtenidas por WA en el recipiente de agua potable

Parámetros	Resultados
TDS	154.45
pH	7.28
Turbidez (NTU)	4.18
Temperatura (°C)	17.56

Después se retira el sistema de monitoreo del agua, cuando los sensores no tocan el agua, en la pantalla del subsistema de monitoreo se observa un mensaje que indica “Water Alert Fuera del agua” (ver figura 70); toda esta información se refleja en el sistema web.

Figura 70.

Water Alert fuera del agua



Nota: el sistema web emitirá un sonido que indica al usuario sobre el cambio.

Quando se ingresa los sensores en el agua contaminada, el prototipo informa al usuario que el agua no es apta para el consumo, además muestra los nuevos valores de los parámetros y se puede observar un mensaje que dice “Peligro, posible contaminación por detergentes” (ver figura 71).

Figura 71.*Alerta de contaminación*

Nota: El sistema web emitirá un sonido que alerta al usuario sobre el cambio.

En el tercer caso de estudio se concluye que el sistema de monitoreo WA funciona ya que la red lora permite el envío de datos al sistema web, el prototipo permite determinar la calidad del agua basándose en los parámetros más importantes según la OMS, además tomando como referencia al estudio publicado por William Pacheco se puede decir que el agua posiblemente se encuentra contaminado por detergentes que los parámetros se encuentran dentro del rango como se observa en la tabla 39.

Tabla 39.*Resultados obtenidos en el estudio de William pacheco y Water Alert*

Parámetros	Informe (Rio Granobles)	Resultados WA
Temperatura (°C)	14.4 -35	17.75
TDS (ppm)	>1000	1079.41
pH	5 - 12	10.25
Turbidez (NTU)	-----	5.48

Nota: la turbidez del agua en Water Alert excede a los 5 NTU, medida que sobrepasa el valor aceptado por la OMS.

La demostración del caso de estudio se lo puede observar en el siguiente [link](#)

Agua contaminada por aguas residuales de viviendas

Las aguas residuales se producen en la utilización del agua por las personas en diferentes tareas del hogar, las aguas residuales producen contaminación en el agua la cual puede llegar a contener sólidos, desechos orgánicos, grasas entre otros (Acuatecnica, 2017).

La siguiente información (ver tabla 40) se toma del Instituto de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua (CIDTA) (CIDTA, 2017).

Tabla 40.

Parámetros del agua contaminada por aguas residuales de viviendas

Parámetros	Medidas promedio
Temperatura (°C)	15.6
TDS (ppm)	500 a 1000
Turbidez (NTU)	>6

Nota: La temperatura anual puede variar entre 10 y 21 °C, además depende de la situación y época del año (CIDTA, 2017). Tomado de (CIDTA, 2017).

Para realizar el caso de estudio cuatro, “Agua contaminada por aguas residuales de viviendas”, se dispone de dos recipientes uno que contiene agua potable y para el segundo recipiente se obtuvo una muestra de agua contaminada con desechos sólidos agua residual de cocina (ver figura 72).

Figura 72.

Recipientes de agua



Para comprobar el funcionamiento de WA, primero se colocó el prototipo en el recipiente de agua potable (ver figura 74), las medias que se obtuvieron se muestran en la tabla 41:

Figura 73.

Water Alert en el recipiente de agua potable



Nota: en la pantalla del subsistema de monitoreo se puede observar un mensaje que indica “Agua apta para el consumo”, además de las medidas obtenidas por los sensores.

Tabla 41.

Resultados obtenidos por Water Alert en el recipiente que contiene agua potable

Parámetros	Resultados
Temperatura (°C)	16.69°
TDS (ppm)	172.97
Turbidez (NTU)	3.68
pH	6.76

Nota: la información se refleja en el sistema web de Water Alert.

Quando los sensores no tocan el agua, en la pantalla del subsistema de monitoreo se observa un mensaje que indica “Water Alert Fuera del agua” (ver figura 74).

Figura 74.*Water Alert fuera del agua*

Nota: El sistema web emitirá un sonido que alerta al usuario sobre el cambio.

Quando se ingresa los sensores en el agua contaminada, el prototipo informa al usuario que el agua no es apta para el consumo, además muestra los nuevos valores de los parámetros y se puede observar un mensaje que dice “Peligro, posible contaminación por agua residual de vivienda” (ver figura 75).

Figura 75.*Alerta de posible contaminación*

Nota: las notificaciones que aparecen en el sistema web desaparecen cada cierto tiempo.

En el cuarto caso de estudio se concluye que el sistema de monitoreo WA funciona ya que la red lora permite el envío de datos al sistema web, el prototipo permite determinar la calidad del agua basándose en los parámetros más importantes según la OMS, además tomando como referencia la información publicada por el Centro de Investigación y Desarrollo del Agua se puede decir que el agua posiblemente se encuentra contaminado por aguas residuales de viviendas ya que los parámetros se encuentran dentro del rango como se observa en la tabla 42.

Tabla 42.

Resultados obtenidos por CIDTA y Water Alert

Parámetros	Resultados obtenidos por CIDTA	Resultados de WA
Temperatura (°C)	15.6	16.5
TDS (ppm)	500 a 1000	884.05
Turbidez (NTU)	>6	6.05
pH	-----	3.16

Nota: cómo podemos observar el valor del pH es inferior a 6 indicando que el agua tiene un nivel de acides moderado.

La demostración del caso de estudio se lo puede observar en el siguiente [link](#).

Agua contaminada por hidrocarburos

Tomando como referencia el estudio realizado por Álava Juan, estudio el cual permite visualizar las propiedades del agua contaminada con hidrocarburos antes de aplicar el tratamiento (Álava, 2015) se tiene lo siguiente (ver tabla 43):

Tabla 43.

Parámetros del agua contaminada por hidrocarburos

Parámetro	Valores
Turbidez (NTU)	> 5
pH	> 8

Nota: el valor del pH lo han ajustado para lograr la remoción usando el quitosano en estas aguas contaminadas por hidrocarburos. Tomado de (Álava, 2015). Tomado de (Álava, 2015).

Para realizar el caso de estudio cinco, “Agua contaminada por hidrocarburos”, se dispone de dos recipientes uno que contiene agua potable y para el segundo recipiente se obtuvo una muestra de agua contaminada con aceite de carro (ver figura 76).

Figura 76.

Recipientes de agua



Para comprobar el funcionamiento de WA, primero se colocó el prototipo en el recipiente de agua potable (ver figura 77), las medias que se obtuvieron se muestran en la tabla 44:

Figura 77.

Water Alert en el recipiente de agua potable



Nota: en la pantalla del subsistema de monitoreo se puede observar un mensaje que indica “Agua apta para el consumo”, además de las medidas obtenidas por los sensores.

Tabla 44.

Resultados obtenidos por Water Alert en el recipiente que contiene agua potable

Parámetros	Resultados
Temperatura (°C)	17.31°
TDS (ppm)	51.03
Turbidez (NTU)	4.27
pH	7.31

Nota: la información se refleja en el sistema web de Water Alert.

Quando los sensores no tocan el agua, en la pantalla del subsistema de monitoreo se observa un mensaje que indica “Water Alert Fuera del agua” (ver figura 78).

Figura 78.

Water Alert fuera del agua



Nota: El sistema web emitirá un sonido que alerta al usuario sobre el cambio.

Quando se ingresa los sensores en el agua contaminada, el prototipo informa al usuario que el agua no es apta para el consumo, además muestra los nuevos valores de los parámetros y se puede observar un mensaje que dice “Peligro, posible contaminación por agua residual de vivienda” (ver figura 79).

Figura 79.

Alerta de posible contaminación



Nota: las notificaciones que aparecen en el sistema web desaparecen cada cierto tiempo.

En el quinto caso de estudio se concluye que el sistema de monitoreo WA funciona ya que la red lora permite el envío de datos al sistema web, el prototipo permite determinar la calidad del agua basándose en los parámetros más importantes según la OMS, además tomando como referencia la información publicada por en el informe de Juan Álava se puede decir que el agua posiblemente se encuentra contaminado por hidrocarburos ya que los parámetros se encuentran dentro del rango como se observa en la tabla 45.

Tabla 45.

Resultados obtenidos en el estudio de Juan Álava y Water Alert

Parámetro	Medidas del estudio	Medidas de Water Alert
Turbidez (NTU)	> 5	6.35
pH	> 8	9.73
TDS	-----	17.69
Temperatura (°C)	-----	17.37

Nota: los parámetros tanto de TDS como temperatura no han sido tomado en cuenta sin embargo al notar un TDS tan bajo en Water Alert se puede identificar que el agua tiene conductividad de electricidad.

La demostración del caso de estudio se lo puede observar en el siguiente [link](#).

Capítulo V

Conclusiones, Recomendaciones y trabajos futuros

Conclusiones

Las fuentes que abastecen a las personas de agua dulce son limitadas pues se conoce que del 100% total del agua en el mundo solo el 2.5% representa a la cantidad de agua dulce; de esta cantidad el 31% llega a ser consumido directamente por las personas sin saber si es apta para el consumo humano.

A pesar de que el agua dulce es un recurso limitado y el más importante que garantiza la continuidad de la vida, es el recurso que llega a ser contaminado de forma deliberada ocasionando enfermedades que incluso provocan la muerte pues según la OMS al menos 842000 personas por año mueren de diarrea a causa de consumir agua contaminada.

Existen diferentes factores de contaminación que llegan a contaminar el agua; entre ellos están la minería, explotaciones petroleras, arrojo de desperdicios, actividades como la ganadería, florícolas, entre otras ocasionando problemas ambientales que afectan la calidad del agua.

En el mercado existen variedad de herramientas que permiten determinar la calidad del agua, sin embargo, algunas de ellas no son accesibles a la economía de las personas, además muchas de estas herramientas necesitan instalación de un profesional ocasionando mal estar en los usuarios.

El prototipo Water Alert tiene como beneficio notificar y alertar al usuario de los posibles factores de contaminación del agua, proporciona un análisis de los datos receptados basándose en los parámetros más importantes según la organización mundial de la salud, por tal motivo el prototipo determina si el agua es apta o no para el consumo humano.

Al poner en funcionamiento el prototipo en cada uno de los casos de estudio se puede constatar que funciona ya que informa al usuario si el agua es apta o no para el consumo, además en caso de que los parámetros no se encuentren dentro de ningún caso de estudio planteado, el prototipo informara sobre posibles anomalías en los parámetros de calidad sean estos: temperatura, TDS, turbidez y pH.

Recomendaciones

Se recomienda analizar de una manera exhaustiva las características técnicas de los sensores debido que puede existir conflictos o interferencias entre ellos al momento de ser colocados en el agua.

Para el desarrollo del proyecto se recomienda usar una herramienta que permita crear un repositorio para llevar un control y registro de las versiones; sobre todo para que permita la integración de módulos de una manera sencilla.

Trabajos futuros

El prototipo propuesto abre posibilidades de incorporación y mejoras como es el caso de una implementación de una red LoRaWAN con la instalación de un servidor de red que permita gestionar de una mejor manera todos los dispositivos conectados al Gateway.

A futuro se puede aplicar inteligencia artificial, implementando una red neuronal en la cual se iría entrenado al prototipo con posibles contaminaciones del agua para que sistema se adapte a los posibles cambios.

Referencias

- ABENGOA. (5 de Enero de 2015). *La energía del cambio*. Obtenido de <http://www.laenergiadelcambio.com/como-esta-distribuida-el-agua-del-planeta/>
- Acuatecnica. (8 de Agosto de 2017). *ACUATECNICA S.A.S.* Obtenido de <https://acuatecnica.com/tratamiento-aguas-residuales-domesticas-2/>
- Addy, K., Green, L., & Herron, E. (2004). pH and Alkalinity . 2-4.
- Aduvire, O. (2006). *Drenaje acido de mina generación y tratamiento*. Madrid.
- aggity. (24 de Enero de 2020). *Tendencias en el sector Industry 4.0 para 2020*. Obtenido de <https://aggity.com/tendencias-en-el-sector-industry-4-0-para-2020/#:~:text=La%20Industria%204.0%20se%20caracteriza,y%20como%20los%20expertos%20se%20C3%B1alan%20>.
- Agua Pura. (2017). *Agua pura y Sana*. Obtenido de <https://aguapuraysana.com/tds-que-importancia-tiene-y-como-medirlo/>
- Aguilar, L. (2017). Ciberseguridad: la colaboración público-privada en la era de la cuarta revolución industrial (Industria 4.0 versus ciberseguridad 4.0). *Dialnet*, 21-24.
- Ahmad, A., & Ray, B. (2019). Performance Evaluation of LoRaWAN for Mission-Critical IoT Networks. *Future Network Systems and Security*, 37-51.
- Álava, J. (2015). Aplicación de quitosano como biocoagulante en aguas residuales contaminadas con hidrocarburos. *Scielo*.
- Alfaiot. (2020). *alfaiot.com*. Obtenido de <https://alfaiot.com/blog/ultimas-noticias-2/post/que-es-lora-2>
- alkanatur. (27 de Mayo de 2019). *alkanatur*. Obtenido de <https://alkanatur.com/blog/alimentacion/que-es-el-ph-ph-en-el-agua-y-en-el-cuerpo>
- Al-khashab, Y., Daoud, R., & Majeed, M. (2019). Drinking Water Monitoring in Mosul City Using IoT. *IEEE Explore*.
- Amstrong, J., & Menon, R. (2020). insst.es. España: ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/161971/Cap%C3%ADtulo+74.+Minas+y+canteras>
- Angular. (2020). *Angular*. Obtenido de <https://angular.io/docs>
- Aquilino, P. (2013). *Sistemas SCADA*. Obtenido de <http://masserv.utcluj.ro/~florind/cursuri/Manuale/SCADA/Sistemas%20SCADA%203ed%20-%20Rodriguez%202013.pdf>
- Araujo, B. (2020). *SISTEMA DE MONITOREO PARA RAFTING*. Ambato: UTA.
- Arenhart, J., & Martins, R. (12 de Junio de 2018). *Qualiex*. Obtenido de <https://blogdelacalidad.com/diagrama-de-ishikawa/>
- Arias, J., Villasís, M., & Miranda, M. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Rev Alerg Méx*, 201-206.
- ASTDR. (2018). *Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades*. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs8.html
- Azahara. (5 de Abril de 2018). Obtenido de <https://geographica.com/es/blog/que-es-smart-water/>
- Badii, M., Guillen, A., & Abreu, J. (2016). Energías Renovables y Conservación de Energía. *Daena*, 142-144.
- Badilla, J., & Carrillo, A. (2015). *PROTECCIÓN EFECTIVA DEL CONSUMIDOR COSTARRICENSE EN EL COMERCIO ELECTRÓNICO: UNA PROPUESTA BASADA EN EL DERECHO COMPARADO*. Costa Rica.

- Bajare, M., Kawade, S., Kamble, M., Deshpande, A., & Bokefode, J. (2018). Preventive Maintenance System for Dam Using IOT and Cloud. *2018 Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT)*, 1166-1170.
- Basco, A., Beliz, G., & Diego, C. (2018). Industria 4.0. *IDB*, 23-31.
- Bateriasdelitio.net. (Mayo de 2014). *Blog baterias de litio*. Obtenido de <https://www.bateriasdelitio.net/?p=6>
- Becerra, S., Maurice, L., & Desprats-Bologna, S. (2018). *Nuestro vivir en la Amazonía ecuatoriana: entre la finca y el petróleo*. Ediciones Abya-Yala .
- Benvenuto, Á. (2006). IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS ERP, SU IMPACTO EN LA GESTIÓN DE LA EMPRESA E INTEGRACIÓN CON OTRAS TIC. *Dialnet*, 36-39.
- Betty. (2008). TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN PARA LAS. *Dialnet*, 77-79.
- Bictronica. (2020). *Bictronica*. Obtenido de <https://www.bigtronica.com/centro/sensores/ambientales/1611-sensor-de-turbidez-de-agua-5053212016111.html>
- Boden, M. (2016). *Inteligencia artificial*. Madrid: Turner Publicaciones S.L.
- Boyd, C. (13 de Agosto de 2018). *Global Aquaculture Alliance*. Obtenido de <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/cambio-constante-de-ph-inevitable-completamente-normal/>
- Boyd, C. (2019). Water Quality. *Springerlink*, 215-231.
- Calle, O., & Rivera, O. (2014). *Monitores e indicadores*. Guatemala: CEI.
- Cámar, J. (2018). *Internet de las Cosas*. Obtenido de https://riubu.ubu.es/bitstream/handle/10259/4907/Camara-Internet_de_las_cosas.pdf;jsessionid=DCA9F29E7B7869F6CA7F81E936890D11?sequence=1
- Camargo, A., & Camacho, J. (2019). Convivir con el agua. *Revista Colombiana de Antropología*.
- Candia, L., Rodriguez, A., & Castro, N. (12 de 10 de 2018). *XXIV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*. Obtenido de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/73348/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cano, G. (2018). Las TICs en las empresas: evolución de la tecnología y cambio. *Dialnet*, 502-503.
- Carrión, M. (2017). *Desarrollo De Una Pasarela LORA y Evaluación de prestaciones*. Valencia.
- Castillo, J. (11 de Febrero de 2019). *Profesional review* . Obtenido de <https://www.profesionalreview.com/2019/02/11/pcb-que-es/>
- Cataldo, A. (2015). Design science research. Una breve introducción. *RedSTI*.
- CDMXElectronica. (2020). *CDMXElectronica*. Obtenido de <https://www.cdmxelectronica.com/producto/sensor-de-ph-liquido/>
- CEPAL. (2011). *CEPAL*. Obtenido de <https://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20IIC%202012-2.pdf>
- CEPAL. (2012). *DIAGNÓSTICO DE LAS ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN ECUADOR* .
- CEPAL. (15 de febrero de 2018). *CEPAL*.
- Cerdá, L., & Gas, M. (2020). *Instalaciones domóticas* . Madrid: Paraninfo S.A.
- Cheng, A., Silva, L., Buenaño, M., & Vega, N. (2019). Development of an Adaptive Rainwater-Harvesting System for Intelligent Selective Redistribution. *IEEE Fourth Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)*, 1-5.

- Ciberespacio profesional. (2011). *CIBERESPACIO PROFESIONAL*. Obtenido de <https://fuerzaprofesional.wordpress.com/tecnologia-de-la-informacion-y-de-la-comunicacion-tic/>
- CIDTA. (2017). *Características de las aguas residuales*. Salamanca.
- CMA Gob. (2018). *Educación ambiental*. Obtenido de http://www.cma.gva.es/areas/educacion/educacion_ambiental/educ/ippc/htms/informacion_complementaria/infocomplanejo3.htm
- Corona, L., Abarca, G., & Mares, J. (2014). *Sensores y Actuadores*. Azcapotzalco: Patria, S.A de C.V.
- Coronel, C., Morris, S., & Rob, P. (2011). *Bases de datos, diseño implementación y administración*. Mexico: CENGAGE Learning.
- Cruz, M., Oliete, P., & Morales, C. (2015). *las tecnologías dentro de la industria conectada 4.0*. Madrid: EOI Esc.
- Curto, J. (2010). *Introducción al Business Intelligence*. Barcelona: UOC.
- D.Vincenti, R. (2017). *Conceptos y relaciones entre naturaleza, ambiente, desarrollo sostenido y resiliencia. Mgter Rita D.Vincenti 1Conceptos y relaciones entre naturaleza, ambiente, desarrollo sostenido y resiliencia*. Obtenido de <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Teoriaymetodo/Conceptuales/21.pdf>
- Desarrolloweb. (2019). Obtenido de <https://desarrolloweb.com/home/nodejs>
- DFRobot. (2020). Obtenido de https://wiki.dfrobot.com/Turbidity_sensor_SKU__SEN0189
- Diario oficial de la UE. (24 de Agosto de 2013). *boe.es*. Obtenido de <https://www.boe.es/doue/2013/226/L00001-00017.pdf>
- Digitalilusion S.L. (2020). *LoRaWAN*. Obtenido de <https://lorawan.es/#:~:text=El%20uso%20de%20estas%20frecuencias,868%20MHz%20y%20915%20MHz.>
- ECOFUIDOS Ingenieros S.A. (2012). *Estudio de la calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en APURIC y CUSCO*. Lima.
- ENCA. (2016). *Estrategia Nacional de Calidad del Agua*. Quito.
- Eric, B. (3 de Diciembre de 2018). *LoRa Documentation*. Obtenido de https://lora.readthedocs.io/_/downloads/en/latest/pdf/
- EUROPEAN COMMISSION . (Agosto de 2006). *Boe.es*. Obtenido de <http://www.prtr-es.es/data/images/BREF%20Tratamiento%20de%20Residuos-21891D712A33A259.pdf>
- Fernández, D., Mancipe, L., & Fernández, D. (2010). Intoxicación por Organofosforados. *MED*, 80-87.
- Fernández, S. (24 de Septiembre de 2018). *xataka movil*. Obtenido de <https://www.xatakamovil.com/varios/la-enciclopedia-de-las-baterias-para-moviles>
- Ferrer, V. (23 de noviembre de 2019). *Que es Lora y Lorawan*. Obtenido de https://vicentferrer.com/lora-lorawan/#Donde_puede_ser_util_la_tecnologia_LORAWan
- Fondriest. (2020). Obtenido de <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/turbidity-total-suspended-solids-water-clarity/?fbclid=IwAR0xmCS-YpZ71omN03feoLpLUM4mAyDC6O3I1ILY3iNkHKFXyayh-2lzoZs>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1997). *Lucha Contra la Contaminación Agrícola de Los Recursos Hídricos*. Burlington: Food & Agriculture Org.

- Fundación Telefónica. (2018). *50 estrategias para el 2050. El Trabajo y la Revolución digital en España*. Madrid: Fundación Telefónica.
- Funtes, M. (2020). *eudim.uta.cl*. Obtenido de http://www.eudim.uta.cl/files/8313/2215/7786/fm_Ch04_mfuentesm.pdf
- Gambi, E., Montanini, L., & Pigni, D. (2018). A home automation architecture based on LoRa technology and Message Queue Telemetry Transfer protocol. *SAGE journals*.
- García, S., Ramírez, S., & Luengo, J. (2016). *Big Data: Preprocesamiento y calidad de datos*. España.
- Geetha, S., & Gouthami, S. (2017). Internet of things enabled real time water quality monitoring system. *Springer Link*.
- Geetha, S., & Gouthami, S. (2017). Internet of things enabled real time water quality monitoring system. *SpringerLink*.
- Geo Ecuador. (2008). *flacsoandes*. Obtenido de <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/41447.pdf>
- Gómez, O. (2018). Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. *Faculty of Medicine of the National University of Colombia*, 4-10.
- Gonzalo, M. (2019). *Servicios ecosistémicos dispersión de frutos y semillas*. Costa Rica: RBT.
- Helmenstine, A. (7 de Mayo de 2017). *Tthoughtco*. Obtenido de <https://www.thoughtco.com/definition-of-ph-in-chemistry-604605>
- Hernandez, Y. (2017). *Recursos renovables y no renovables*.
- Higiene Ambiental. (24 de Diciembre de 2019). *Higiene Ambiental*. Obtenido de <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/que-nos-dice-la-turbidez-sobre-la-calidad-del-agua-potable>
- Hydration for Health. (2018). *Hydration for Health*. Obtenido de <https://d1fmvq9njdnlbk.cloudfront.net/home/monograph/0hovAduISfOcgVyoRXnS6A.pdf>
- Inductive Automation. (27 de Julio de 2018). Obtenido de <https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-mqtt>
- INEN. (2011). *Agua Potable Requisitos*. Quito.
- IUCN . (11 de Junio de 2020). *Conservar el agua dulce para sustenantar la vida*. Obtenido de https://www.iucncongress2020.org/sites/www.iucncongress2020.org/files/iucn_staff/pages/iucn_world_conservation_congress_2020_themes_-_final_-_sp.pdf
- Jerom, A., Manimegalai, R., & Ilayaraja, V. (2020). An IoT Based Smart Water Quality Monitoring System using Cloud. *2020 International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering (ic-ETITE)*, 1-7.
- Jia, Y. (2020). LoRa-Based WSNs Construction and Low-Power Data Collection Strategy for Wetland Environmental Monitoring. *Springer Science+Business Media, LLC*.
- jumapan. (2015). <http://jumapam.gob.mx/>. Obtenido de <http://jumapam.gob.mx/cultura-del-agua/distribucion-de-agua-en-el-planeta/#:~:text=El%2097.5%25%20del%20agua%20en,encuentra%20en%20un%20estado%20s%C3%B3lido>.
- Junta de Analucía . (2015). *Guía para el diseño y construcción de escombreras*.
- Kafli, N., & Isa, K. (2017). Internet of Things (IoT) for Measuring and Monitoring Sensors Data of Water Surface Platform. *IEEE Explore*.
- Khan Academy*. (2020). Obtenido de <https://es.khanacademy.org/science/biology/water-acids-and-bases/acids-bases-and-ph/v/introduction-to-definition-of-ph>

- Khan Academy. (2020). *Khan Academy*. Obtenido de <https://es.khanacademy.org/science/biology/water-acids-and-bases/acids-bases-and-ph/v/introduction-to-definition-of-ph>
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2017). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in. *EBSE Technical Report*.
- Kovács, P. (2018). *IoT: Internet de las cosas en el modelo de Industria*. Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91965/fichero/TFG-1965-KOVACS.pdf>
- Kranz, M. (2017). *Internet of things Construye Nuevos Modelos de Negocio*. Madrid: LIEDITORIAL.
- Krishna, S., TV, S., Kumaraswamy, M., & Nair, V. (2020). IoT based Water Parameter Monitoring System. *2020 5th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*, 1299-1303.
- Lambrou, T., Anastasiou, C., & Panayiotou, C. (2009). A Nephelometric Turbidity System for Monitoring Residential Drinking Water Quality. *Springerlink*, 43-55.
- Lenntech. (2019). Obtenido de <https://www.lenntech.es/ph-y-alcalinidad.htm>
- Lenntech B.V. (2018). *Lenntech*. Obtenido de <https://www.lenntech.es/faq-calidad-agua.html>
- Leyva, M., & Smarandache, F. (2018). Inteligencia Artificial: retos, perspectivas y papel de la Neutrosofía. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 3-7.
- Lizaraso, F. (1 de Enero de 2015). *redylac*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3716/371637138001.pdf>
- LLamas, L. (17 de Abril de 2019). Obtenido de <https://www.luisllamas.es/que-es-mqtt-su-importancia-como-protocolo-iot/>
- Lopez, G. (2013). Desarrollo libre de sistemas SCADA. *researchgate*.
- LoraWan. (2017). Obtenido de <https://lorawan.es/>
- Lucas, J. (04 de Septiembre de 2019). *openwebinars*. Obtenido de <https://openwebinars.net/blog/que-es-nodejs/>
- Madeo, D., Pozzebon, A., Mocenni, C., & Bertoni, D. (2020). A Low-Cost Unmanned Surface Vehicle for Pervasive Water Quality Monitoring. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 1-11.
- Manoharan, M., & Rathinasabapathy, V. (2018). Smart Water Quality Monitoring and Metering Using Lora for Smart Villages. *IEEE Explore*.
- matooma. (2019). *matooma*. Obtenido de <https://www.matooma.com/es/informarse/noticias-iot-m2m/redes-lpwan>
- Matute, P. (29 de Noviembre de 2016). MONITORIZACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUAS PLUVIALES VERTIDAS A CAUCE PÚBLICO EN ENTORNOS INDUSTRIALES MEDIANTE TECNOLOGÍA LOW COST.
- Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2019). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express*, 1-7.
- Meride, Y., & Ayenew, B. (2016). Drinking water quality assessment and its effects on residents health in Wondo genet campus, Ethiopia. *Springerlink*, 5.
- Ministerio de Ciencia y Tecnología. (2005). *La Sociedad de la Información en el siglo XXI: un requisito para el desarrollo*. Sevilla: ENRED.
- Ministerio del Ambiente. (2018). *Ministerio del Ambiente*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/>
- Ministerio para la Transición Ecológica. (2017). *Registro Estatal de Emisiones y fuentes Contaminantes*. Obtenido de <http://www.prtr-es.es/Compuestos-Organicos-Halogenados-AOX,15627,11,2007.html>

- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2017). *Registro Estatal de Emisiones y fuentes Contaminadas*. Obtenido de <http://www.prtr-es.es/Compuestos-Organoeostannicos-Sn-total,15656,11,2007.html>
- MOKOSmart. (2020). *MOKOSmart IoT Designer & Manufacturer*. Obtenido de <https://www.mokosmart.com/es/how-does-lora-sensor-send-and-receive-data/>
- MQTT org. (3 de abril de 2019). *MQTT*. Obtenido de <https://mqtt.org/faq>
- Naylamp. (2016). Obtenido de https://naylampmechatronics.com/blog/46_Tutorial-sensor-de-temperatura-DS18B20.html
- Ngom, B., Diall, M., & Gueye, B. (2019). LoRa-based Measurement Station for Water Quality Monitoring: Case of Botanical Garden Pool. *IEEE Explore*.
- Océane Bidault. (28 de Junio de 2016). *Water Logic*. Obtenido de <https://www.waterlogic.es/blog/que-factores-determinan-la-calidad-del-agua/>
- oksbwn. (1 de Enero de 2019). *element14*. Obtenido de <https://www.element14.com/community/people/oksbwn/blog/2019/01/01/esp32-lorawan-node-with-arduino>
- OPC Router. (2020). Obtenido de <https://www.opc-router.com/what-is-mqtt/>
- OpenJS Foundation. (2020). Obtenido de <https://nodejs.org/es/about/>
- Organización Mundial de la Salud. (2 de Mayo de 2017). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diarrhoeal-disease>
- Organización Mundial de la Salud. (15 de Febrero de 2018). *OMS*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- Organización Mundial de la Salud. (14 de junio de 2019). Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Organización Mundial de la Salud. (2020). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de <https://www.who.int/topics/water/es/>
- Organización Mundial de la Salud. (2020). *Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas*. Obtenido de https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/pesticides/es/
- Otero, J. (14 de Septiembre de 2016). *El economista*. Obtenido de <https://www.economista.com.mx/opinion/Que-es-el-espectro-radioelectrico-20160914-0002.html>
- Pacheco, W. (Julio de 2015). *CONTAMINACIÓN POR DETERGENTES-AGENTES NOCIVOS OLVIDADOS- CASO DE ESTUDIO: EL RÍO GRANOBLES. 2015*. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/1452/1/Contaminaci%C3%B3n%20por%20detergentes%20nocivos%20olvidados-Caso%20de%20estudio.El%20r%C3%ADo%20Granobles%281%29.pdf>
- Pant, D., Bhatt, A., Khan, M., Nautiyal, O., & Adhikari, P. (2019). Automated IoT based Smart Water Quality Assessment System. *2019 8th International Conference System Modeling and Advancement in Research Trends (SMART)*, 98-104.
- Paredes, J. (2013). *usmp.edu.pe*. Obtenido de <https://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info86/articulos/importanciaAgua.html#:~:text=IMPORTANCIA%20DEL%20AGUA&text=El%20agua%20es%20un%20elemento,bio%C3%B3gicos%20que%20la%20hacen%20posible>.
- Paret, D., & Crégo, P. (2019). RF Connectivity in Wearables. *ScienceDirect*, 265-294.
- Pereyra, G., Rattaro, C., & Rodríguez, B. (2019). ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA INTERNET DE LAS COSAS. *Revista Telemática*, 30-48.
- Pérez, A. (29 de Noviembre de 2019). *wearedrew*. Obtenido de <https://blog.wearedrew.co/los-cambios-que-trae-la-industria-4.0>

- Poornisha, K., Keerthana, M., & Sumathi, S. (2018). Borewell water quality and motor monitoring based on IoT gateway. *2018 International Conference on Communication, Computing and Internet of Things (IC3IoT)*, 514-518.
- Pranada, J., & Avilés, J. (2018). *Criterios de calidad y gestión del agua potable*. Madrid: UNED.
- Pranada, J., & Avilés, J. (2018). *Criterios de calidad y gestión del agua potable*. Madrid: UNED.
- Prevor. (30 de Mayo de 2013). *Prevor*. Obtenido de <https://www.prevor.com/es/toxicidad-de-los-productos-de-limpieza#:~:text=condiciones%20del%20medio.-,Los%20detergentes%20ani%C3%B3nicos,sulfato%2C%20el%20dodecilsulfato%20de%20sodio>.
- Puig, P., & Jofra, M. (2019). *LA ENERGÍA SOLAR Fotovoltaica*. Madrid: MM.
- Quiñonez, O. (2019). *Internet de las cosas IoT*.
- Radioshuttle. (2020). *radioshuttle.de*. Obtenido de <https://radioshuttle.mysupr.de/>
- RENAPRA. (2016). *Red Nacional de Protección de Alimentos*. Obtenido de <https://diamundialdelagua2016.wordpress.com/usos-del-agua-en-la-industria-de-alimentos/#:~:text=El%20agua%20juega%20un%20rol,como%20componente%20del%20propio%20producto>.
- Rigau, G. (2019). *TAIA*. Obtenido de <https://adimen.si.ehu.es/~rigau/teaching/EHU/TAIA/Apunts/TAIA.1.pdf>
- RobotShop. (2020). *RobotShop*. Obtenido de <https://www.robotshop.com/us/es/sensor-medidor-analogico-tds-para-arduino-gravity.html>
- S&P. (12 de Marzo de 2018). *El Blog de la ventilación eficiente*. Obtenido de <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/contiene-aire-respiramos/>
- Sabas, A. (25 de septiembre de 2017). *Medium*. Obtenido de <https://medium.com/beelan/haciendo-iot-con-lora-cap%C3%ADtulo-1-qu%C3%A9-es-lora-y-lorawan-8c08d44208e8>
- Sanchez, D. (2015). *UCLM*. Obtenido de http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2016/05/11_Calidad-agua-y-control_v2015_resumen.pdf
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2015). *Software en 30 días*.
- Secretaría de ONU-Agua. (2015). *El agua fuente de vida*. Obtenido de <https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/waterforlifebklt-s.pdf>
- Semtech. (1 de Enero de 2020). *SEMTECH*. Obtenido de <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>
- Shafi, U., Mumtaz, R., & Anwar, H. (2018). Surface Water Pollution Detection using Internet of Things . *IEEE Explore*.
- Siddula, S., Jain, P., & Upadhayay, M. (2018). Real Time Monitoring and Controlling of Water Level in Dams using IoT. *8th International Advance Computing Conference*, 14-18.
- Simitha, K., & Subodh, M. (2019). IoT and WSN Based Water Quality Monitoring System . *IEEE Xplore*.
- Soto, J., & Reina, E. (2012). *Análisis de la calidad del agua en la subcuenca del Rio Coca*. Napo.
- Spandana, K., & Seshagiri, V. (2018). Internet of Things (IoT) Based Smart Water Quality Monitoring System . *International Journal of Engineering & Technology*.
- Sql Server. (2020). Obtenido de <https://www.microsoft.com/es-es/sql-server/sql-server-2019>
- Suárez, R. C. (2010). *Tecnologías de la información y comunicación*. Ideas Propias.
- Suhissa. (2017). *Sistemas de monitoreo*. Obtenido de <https://suhissa.com.mx/sistemas-de-monitoreo/>
- Tappwater. (14 de Agosto de 2019). *TDS: ¿Una manera fiable de medir la calidad del agua?* Obtenido de <https://tappwater.co/es/tds-medir-calidad->

- agua/#:~:text=En%20un%20estudio%20llevado%20a,600%20%E2%80%93%20900%3A%20Regular
- Time, C. E. (18 de octubre de 2019). *Infosalus*. Obtenido de <https://www.infosalus.com/salud-investigacion/noticia-agua-alcalina-tiene-algun-beneficios-peligrosa-20191018083044.html>
- Universidad ESAN. (10 de Octubre de 2018). *conexionesan*. Obtenido de <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2018/10/las-etapas-del-scrum-como-aplicar-este-metodo/>
- Van Aken, J. E. (2005). Management Research as a Design. *British Journal*, <https://doi.org/10.1111/j.1467-8551.2005.00437.x>.
- Vasconcelos, J. (2015). *Tecnologías de la información*. Mexico D.F: Patria.
- Verela, C., Portella, J., & Pallares, L. (2017). Computación en la nube: Un nuevo paradigma en las Tecnologías de Información y Comunicación. *udistrita*, 138.143.
- Visual Studio. (2020). Obtenido de <https://visualstudio.microsoft.com/es/>
- Wieringa, J. (2014). *Design Science Methodology for Information systems and Software Engineering* . 10.1007/978-3-662-43839-8.
- Woodard, J. (17 de Julio de 2019). *Fresh Water Systems*. Obtenido de <https://www.freshwatersystems.com/blogs/blog/what-is-tds-in-water-why-should-you-measure-it?fbclid=IwAR0ngWelwnzLLRf7Dn00GuFH2Fpf9gkxOm01MkiLBdVvicq39quWjGrzcNI>
- World Health Organization. (2019). *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: special focus on inequalities*. New York: JMP.
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO). (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hidricos 2019: No dejar a nadie atrás*. . París: UNESCO.
- Yauri, R., Rios, M., & Lezama, J. (2017). Water Quality Monitoring of Peruvian Amazon Based in the Internet of Things. *IEEE Explore*.
- Ynzunza, C., Izar, J., & Bocarando, J. (2017). El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras. *redalyc*.