

ARQUITECTURA PARA EL SISTEMA DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA
DE LOS CAÑOS Y LAGOS INTERNOS DEL DISTRITO DE CARTAGENA DE INDIAS
SOPORTADA EN TECNOLOGÍAS DE INTERNET DE LAS COSAS.

INVESTIGADORES

BORIS FERNANDO QUINTANA FAJARDO

JUAN JOSÉ SARABIA CAFFRONI

COINVESTIGADORES:

ING. JULIO RODRÍGUEZ RIBON PH. D.



**Universidad
de Cartagena**
Fundada en 1827

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

CARTAGENA DE INDIAS, 2018

ARQUITECTURA PARA EL SISTEMA DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA
DE LOS CAÑOS Y LAGOS INTERNOS DEL DISTRITO DE CARTAGENA DE INDIAS
SOPORTADA EN TECNOLOGÍAS DE INTERNET DE LAS COSAS

GRUPO DE INVESTIGACIÓN

E-SOLUCIONES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

E-SERVICIOS

INVESTIGADORES

BORIS FERNANDO QUINTANA FAJARDO

JUAN JOSÉ SARABIA CAFFRONI

COINVESTIGADORES

ING. JULIO RODRÍGUEZ RIBON PH. D.



**Universidad
de Cartagena**
Fundada en 1827

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

CARTAGENA DE INDIAS, 2018

Contenido

RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	11
2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
2.3. JUSTIFICACIÓN.....	15
3. MARCO DE REFERENCIA.....	17
3.1. MARCO TEÓRICO.....	17
3.1.1. Sistema de caños y lagos internos del distrito de Cartagena de Indias.....	17
3.1.2. Calidad de Agua.....	20
3.1.3. Arquitectura.....	24
3.1.4. Internet de las cosas.....	26
3.1.5. Metodología RUP.....	27
3.1.6. Componentes.....	29
3.2. ESTADO DEL ARTE.....	31
3.2.1. Ámbito internacional.....	31
3.2.2. Ámbito nacional.....	34
3.2.3. Ámbito local.....	36
4. OBJETIVOS.....	37
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	37
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	37
5. ALCANCE.....	38
6. METODOLOGÍA.....	39

7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	42
7.1.	REQUISITOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA DE LOS CAÑOS Y LAGOS INTERNOS DEL DISTRITO DE CARTAGENA DE INDIAS.	42
7.2.	ARQUITECTURA PARA EL SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA DE LOS CAÑOS Y LAGOS INTERNOS DEL DISTRITO DE CARTAGENA DE INDIAS.	47
7.2.1.	Modelo de dominio	47
7.2.2.	Vista Lógica.	48
7.2.3.	Vista de Desarrollo.	52
7.2.4.	Vista de Escenarios.	55
7.2.5.	Vista de Procesos.	56
7.2.6.	Vista Física	62
7.3.	PERFIL OPERATIVO DEL SISTEMA DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA DE CAÑOS Y LAGOS INTERNOS DEL DISTRITO DE CARTAGENA DE INDIAS.	63
7.4.	PILOTO FUNCIONAL DEL SISTEMA DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA DE CAÑOS Y LAGOS INTERNOS DEL DISTRITO DE CARTAGENA DE INDIAS.	69
7.4.1.	Caso uno prueba controlada del piloto funcional.	69
7.4.2.	Caso dos prueba controlada del piloto funcional en un caño de la ciudad.	72
8.	CONCLUSIONES.	74
8.1.	Requisitos del sistema de monitoreo de calidad de agua de los caños y lagos internos del Distrito de Cartagena de Indias.	74
8.2.	Arquitectura para el sistema de monitoreo de calidad de agua de los caños y lagos internos del distrito de Cartagena de indias.	74
8.3.	Perfil Operativo del sistema de monitoreo de calidad de agua de los caños y lagos internos del distrito de Cartagena de indias.	75

8.4. Piloto Funcional del sistema de monitoreo de calidad de agua de los caños y lagos internos del distrito de Cartagena de indias.....	75
8.4.1. Caso uno prueba controlada del piloto funcional.....	75
8.4.2. Caso dos prueba controlada del piloto funcional en un caño de la ciudad.....	75
9. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.	77
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
11. ANEXOS.....	82
Anexo 1. Componentes electrónicos del sensor.	82
Anexo 2. Prueba controlada en la piscina.....	82
Anexo 3. Prueba controlada en un caño de la ciudad de Cartagena.	83
Anexo 4. Verificación de recolección de datos de un caño de la ciudad de Cartagena.	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Caños y lagos internos en el distrito de Cartagena de india (Flood Maps, 2017).	13
Figura 2. Clasificación caños y lagos internos en el distrito de Cartagena de indias. (IGAC)	19
Figura 3. Escala de pH. (Environment and Climate Change Canada , 2013).....	22
Figura 4. Vista 4+1. (Kruchten, 1995)	25
Figura 5: Arduino (Ingeniería MCI Ltda, Arduino Uno R3).....	30
Figura 6. Diagrama de casos de uso.....	42
Figura 7. Modelo de Dominio.....	47
Figura 8. Modelo de dominio ilustración.....	48
Figura 9. Diagrama de componentes.....	51
Figura 10. Diagrama de paquetes.....	54
Figura 11. Diagrama de casos de usos.	55
Figura 12. Diagrama de flujo.	56
Figura 13. Diagrama de actividades, Generar alertas	57

Figura 14. Diagrama de actividades, Exportar gráficas	58
Figura 15. Diagrama de actividades, Generar gráficas	59
Figura 16. Diagrama de actividades, Recolección de información.....	60
Figura 17. Diagrama de actividades, Visualizar información.....	61
Figura 18. Diagrama de despliegue.....	62
Figura 19. Diagrama de casos de uso perfil operativo.	63
Figura 20. Componentes del sensor.	64
Figura 21. Componentes físicos del sensor.....	65
Figura 22. Proceso de recolección, procesamiento y visualización de datos.....	66
Figura 23. Tabla de datos recolectados por sistema SIMCACLI.....	67
Figura 24. Gráfica de Temperatura SIMCACLI.	68
Figura 25. Gráfica de pH SIMCACLI.....	68
Figura 26. Sensor parte externa.....	69
Figura 27. Datos de sensor de temperatura prueba controlada	71
Figura 28. Datos de sensor de pH prueba controlada.....	71
Figura 29. Datos de sensor de temperatura prueba en cuerpo de agua.	73
Figura 30. Datos de sensor de pH prueba en cuerpo de agua	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Requerimiento funcional autenticación.....	43
Tabla 2. Requerimiento funcional registrar administrador.	43
Tabla 3. Requerimiento funcional visualizar información de variable.	44
Tabla 4. Requerimiento funcional generar gráfica.	44
Tabla 5. Requerimiento funcional generar alertas.....	45
Tabla 6. Requerimiento funcional generar alertas de valores críticos.	45
Tabla 7. Requerimiento funcional medir variable.....	46
Tabla 8. Requerimiento funcional exportar gráfica.....	46
Tabla 9: Protocolo de prueba 1.	70
Tabla 10. Protocolo de prueba 2.....	72

RESUMEN

La base de la vida en el planeta tierra son los recursos naturales, uno de los más importantes es el recurso hídrico, el cual es esencial para prolongar la vida humana y salvaje. Este preciado líquido es muy valioso y debe ser protegido, pero existen muy pocos sistemas que hagan una verificación en tiempo real del estado actual de los cuerpos de agua, desconociendo los factores que afectan a estos espejos de agua, como también a las personas que vivan cerca de ellos.

En objetivo principal de esta investigación ha sido el desarrollo de una arquitectura para un sistema de monitoreo de calidad de agua de los caños y lagos internos del distrito de Cartagena de indias; además; en el trabajo se ha realizado un perfil operativo basado en la arquitectura plasmada en este documento, seguido se muestra un prototipo funcional del sistema, en el cual se hizo un proceso de recolección en tiempo real de las variables físicas que se presentan en estos cuerpos de agua, y hacer una comparación de estos datos con respecto a sus estados normales.

El trabajo se realizó a través de la metodología RUP donde se hizo necesario determinar tres iteraciones que permitieron cumplir con los objetivos planteados. En la primera iteración la investigación tuvo un enfoque cualitativo que permitió identificar variables para monitorear los cuerpos de agua. En la segunda iteración se realizó el diseño de las vistas arquitectónicas del sistema de monitoreo y se desarrolló un perfil operativo basado en la arquitectura. En la última iteración se realizó el despliegue de un sensor piloto donde se generaron informes estadísticos relacionados con los diferentes datos que se tomaron a través de los sensores utilizados en el perfil operativo, medidos con un enfoque cuantitativo.

El resultado más importante de este trabajo es la creación de una arquitectura para la implementación de un sistema de monitoreo de calidad de agua de los caños y lagos internos de la ciudad de Cartagena, que cuenta con estándares de calidad, que al momento de su implementación permite mejora la recolección de información en tiempo real de variables fisicoquímicas que se encuentran en los cuerpos de agua.

ABSTRACT

The basis of life on planet earth are natural resources, one of the most important is the water resource, which is essential to prolong human and wild life. This precious liquid is very valuable and should be protected, but there are very few systems that make a real-time verification of the current state of the bodies of water, ignoring the factors that affect these water mirrors, as well as the people who live close to them.

The main objective of this research has been the development of an architecture for a water quality monitoring system of the internal pipes and lakes of the district of Cartagena de Indias; Besides; In the work, an operational profile based on the architecture embodied in this document has been made, followed by a functional prototype of the system, in which a real-time collection process was made of the physical variables that appear in these bodies. water, and make a comparison of these data with respect to their normal states.

The work was carried out through the RUP methodology where it was necessary to determine three iterations that allowed to fulfill the proposed objectives. In the first iteration, the research had a qualitative approach that allowed the identification of variables to monitor water bodies. In the second iteration, the design of the architectural views of the monitoring system was carried out and an operational profile based on the architecture was developed. In the last iteration, a pilot sensor was deployed where statistical reports related to the different data that were taken through the sensors used in the operational profile, measured with a quantitative approach.

The most important result of this work is the creation of an architecture for the implementation of a water quality monitoring system of the internal pipes and lakes of the city of Cartagena, which has quality standards, that at the time of its implementation It allows the improvement of the real-time information collection of physicochemical variables found in water bodies.

1. INTRODUCCIÓN.

El agua es el recurso natural más importante para la subsistencia y desarrollo de la humanidad, por ende, requiere de más cuidado para garantizar su preservación e implementación en temas de salud, alimentación, uso doméstico, entre otros. Colombia, es uno de los países más beneficiado en recursos hídricos por estar bañado por el Mar Caribe y el Océano Pacífico, del cual se desprenden numerosos caudales que benefician al territorio; no obstante, en ciudades como Cartagena, contar con este recurso en grandes cantidades se ha convertido más que una ayuda, en un problema de sanidad que cada día toma más fuerza.

La ciudad de Cartagena no cuenta con un sistema de monitoreo de calidad de agua eficaz y moderno que permita conocer el estado de sus cuerpos hídricos sino, con un control realizado de forma manual por parte de la Empresa Aguas de Cartagena. El laboratorio de esta entidad desarrolla un programa de monitoreo de la calidad del agua antes y durante el proceso de tratamiento y cuando se distribuye a la ciudad; el cual no logra garantizar la calidad del estado del agua, pues dichos controles son realizados, debido a su metodología, en periodos muy largos de tiempo.

Las enfermedades, infecciones y los malos olores, son algunos de los riesgos a los que se exponen los cartageneros por el mal estado de sus cuerpos de agua. El Dengue, por ejemplo, es una de las enfermedades más comunes en estos lugares, pues es transmitido por mosquitos que se crían en estancamientos de agua; estos mismos se convierten, además, en el habita de bacterias que se transmiten al más mínimo contacto con la piel y exponen a los habitantes a desarrollar enfermedades más profundas.

El objetivo de este proyecto es aportar una solución al problema mencionado anteriormente por medio de una arquitectura adecuada del sistema de monitoreo de la calidad de agua de los caños y lagos internos del Distrito de Cartagena de Indias, soportada en tecnologías de Internet de las cosas, esto con la finalidad de tener información oportuna acerca de las condiciones físicas que afectan la calidad de los cuerpos de agua de la ciudad, lo que permitiría generar estrategias pertinentes a la conservación del recurso hídrico y por

consiguiente, mejorar condiciones que afectan a la población y a la fauna y flora de estos cuerpos de agua.

Además, el documento muestra un perfil operativo que evidencia el funcionamiento del sistema, teniendo en cuenta que se han usado sensores autónomos, autosuficientes y amigables con el medio ambiente. Estos sensores envían al centro de monitoreo la información pertinente en tiempo real sobre el estado de estos cuerpos.

Para la realización de este proyecto se debe tener en cuenta que el sistema de caños y lagos internos de la ciudad de Cartagena está conformado por una serie de cuerpos de agua que se comunican entre sí, desde la Ciénaga de la Virgen hasta la Bahía de Cartagena, en ese orden estos son: Caño Juan Angola, Laguna del Cabrero, Laguna de Chambacú, Laguna de San Lázaro, Caño Bazurto y Ciénaga de las Quintas.

La posible solución ayudará a las instituciones encargadas de la preservación del medio ambiente de la ciudad, a conocer la realidad del estado del agua en los diferentes sectores para que sean ellos los encargados de manejar la situación de control y preservación. Es por esto, que este trabajo representa una gran importancia para el sector ambiental, pues de ser implementado en su totalidad, generaría alternativas de solución para uno de los principales problemas que afecta a la Ciudad. Además, beneficiaría en gran parte a las comunidades aledañas a los caños y lagos mencionados anteriormente, que vienen sufriendo problemas de sanidad y salud a causa del mal estado de estas aguas.

Esta investigación toma como referencia los sistemas implementados en países como España que creó el Sistema Automático de Información de la Calidad del Agua (SAICA) (Sociedad Ibérica de Construcciones Eléctricas, S.A, 2015); Argentina, en donde existe una empresa llamada HIDROFRAC (HIDROFRAC, 2012), que maneja un sistema de monitoreo que funciona vía satelital, y en Chile se encuentra el Sistema Nacional de Calidad de Aguas (Ministerio del medio ambiente, 2011). Todos estos sistemas han sido analizados para brindar una solución eficiente y obtener los resultados.

Dentro del marco del grupo e-soluciones, en la línea de investigación e-servicios se atendió la necesidad de resolver la problemática de la ausencia de un sistema de monitoreo de calidad de agua en tiempo real, en caños y lagos internos de la ciudad de Cartagena de Indias, para ellos, se realizó una arquitectura haciendo uso de tecnologías de Internet de las cosas, ofreciendo servicios de información de las condiciones físicas de los cuerpos de agua de Cartagena de Indias.

Para lograr lo anterior, se ha realizado una investigación aplicada sobre el estado actual del sistema de monitoreo de la calidad de agua en la ciudad de Cartagena, teniendo en cuenta el método de recolección, procesamiento y distribución de datos; además de las dificultades que este presenta al momento de realizar estas actividades. Una vez establecidos estos puntos, se tomó como referencia los diferentes sistemas de monitoreo que existen en otros países para tomar aspectos que los han hecho exitosos e implementarlos en el nuestro.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

La ciudad de Cartagena de Indias es reconocida mundialmente como un sitio turístico gracias al valor histórico y cultural que ha ganado a lo largo de los años. Además, es considerada como un lugar para explorar, gracias a la biodiversidad que posee, sin embargo, existen factores adversos que afectan los ecosistemas que allí se encuentran, los cuales han venido ocurriendo desde hace varios años.

En 2010 la Alcaldía de Cartagena reportó que en la ciudad se pueden identificar zonas expuestas a riesgos ambientales por las actividades antropogénicas que se practican en sus áreas aferentes; sin embargo, la información que se tiene acerca de los riesgos no es muy clara, ya que los estudios relacionados con el medio ambiente general del Distrito de Cartagena, que se han desarrollado en los últimos años, además de tener datos, que con los problemas ambientales de la época y el cambio climático, han quedado desactualizados, han apuntado a diagnosticar

únicamente el estado de los componentes bióticos y abióticos del distrito, sin mirar los riesgos ambientales que existen de que estos últimos sufran un impacto negativo (Instituto de Hidráulica de Saneamiento Ambiental, 2014).

En 2013 cuando el fenómeno del niño azotaba con intensidad la costa colombiana, Erica Otero (2013), manifestó que “muchas partes de Cartagena van a desaparecer a no ser que se hagan medidas muy duras de contención. Por esto el tema de los riesgos ambientales es cada vez más inminente” (Martínez, 2013).

Otra manifestación similar a la anterior fue en el año 2015, cuando el Instituto de Investigaciones Costeras y Marinas (Invemar), que viene realizando este estudio desde 1999 notificó que la ciudad en el 2040 enfrentará grandes retos en cuanto a la vulnerabilidad del cambio climático, por ejemplo, el 100% de nuestras playas estarán en riesgo por erosión, si no se hace algo; el 26,2% de las viviendas estarán amenazadas de inundación; así como el 35% de la infraestructura vial, el 86% del Patrimonio Histórico y el 28% de la industria (Martelo, 2015). Basándose en esta situación, los estudios que se realizan sobre las amenazas de inundación deberían ser constantes, sin embargo, actualmente se realizan esporádicamente.

En la siguiente imagen se puede observar cómo quedaría la ciudad de afectada por el cambio climático si el nivel del mar incrementa un metro, esto aumentaría el riesgo de inundaciones por lluvias. (Ver Figura 1).

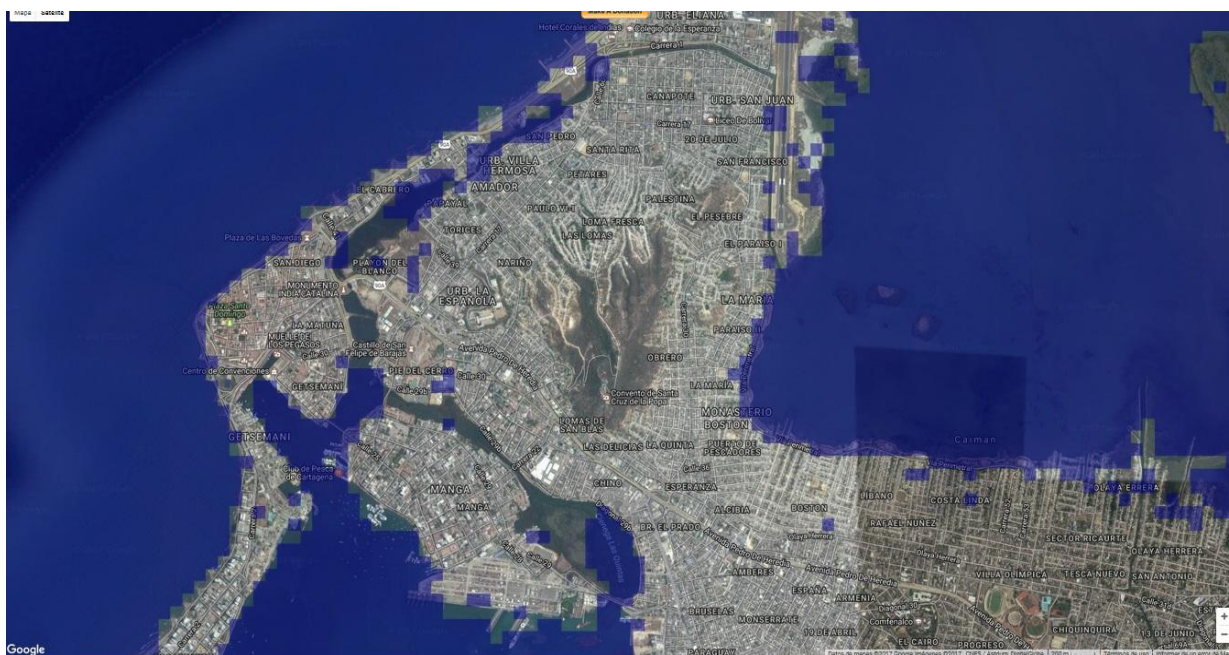


Figura 1. Caños y lagos internos en el distrito de Cartagena de india (Flood Maps, 2017).

Además de las amenazas anteriores, algunos de los impactos que se esperan en la ciudad a causa del cambio climático son: “Pérdida del patrimonio ecológico, Aumento de enfermedades transmitidas por mosquitos” (INVEMAR, CLIMARE, 2011).

El calentamiento global ha generado cambios en los ecosistemas a nivel mundial y Cartagena no ha sido la excepción, pues el nivel de agua ha incrementado y ello ha generado emergencias en la ciudad. No obstante, hay un factor que complica cada día la situación, se trata de la contaminación causada por los habitantes, como se puede evidenciar en diferentes zonas de la ciudad, un ejemplo es en el barrio Manga como lo manifestó el entonces Personero Distrital William Matson Ospino: “Los focos de mayor contaminación en la Isla de Manga están en su periferia, dispersos en franjas como la delimitada por la Cuarta Avenida y las orillas del Caño de Bazurto, igualmente hay áreas transgredidas en las fronteras de la Ciénaga Las Quintas, al igual que en el sector Las Colonias por influencia de la actividad portuaria de la zona” (Torres, El Universal, 2012).

El ambientalista Ubaldo Elles Quintana, manifiesta que varios estudios han demostrado que esos cuerpos de agua están colmados de toda clase elementos biodegradables, refiriéndose por ejemplo a los desechos humanos, los cuales terminan sirviendo de alimento a los alevinos y a otras especies de estos hábitats (Torres, El Universal, 2012).

Con lo anterior la calidad de agua de los caños y lagos internos del distrito de Cartagena de Indias los cuales se conforman por una serie de cuerpos de agua que se comunican entre sí, desde la Ciénaga de la Virgen hasta la Bahía de Cartagena, en ese orden estos son: Caño Juan Angola, Laguna del Cabrero, Laguna de Chambacú, Laguna de San Lázaro, Caño Bazurto y Ciénaga de las Quintas (ver figura 2), se ven afectadas por la contaminación, lo cual influye directamente en la biodiversidad, y se evidencia, por ejemplo, en la pérdida del mangle reduciendo la producción de oxígeno y por ende, la fauna que vive en éstos, puesto que se vierten residuos líquidos y sólidos en cantidades que se ignora.

En el mismo año 2015 el Establecimiento Público Ambiental (EPA) en compañía de la Universidad de Cartagena realizó un estudio que dio como resultado el estado crítico de contaminación en que se encuentran los caños y lagos internos de Cartagena de Indias, y los grandes riesgos de inundación que tiene la ciudad a causa de esta problemática.

Con base en las problemáticas expresadas anteriormente el Distrito de Cartagena de Indias implementó un sistema de monitoreo de los cuerpos de agua, el cual tiene muchas características por mejorar, como es la recolección de información, ya que se realiza de forma manual y no se obtienen las condiciones en las que se encuentran de forma oportuna. Esta situación hace que se tenga un desconocimiento de la contaminación en los cuerpos de agua y no hay forma de notar los cambios en tiempo real, por ende, es de vital importancia la adquisición de esta información de forma veloz y constante para tomar acciones y poder mejorar este desfavorable escenario actual.

Además, el personal que realiza esta labor está expuesto a riesgos de salud, como también las personas que viven a las cercanías de estos cuerpos de agua, por la proliferación de enfermedades a causa de la contaminación.

Otro factor son los altos costos económicos por la utilización de este método recolección, puesto que los puntos estratégicos en los cuerpos de agua donde los sensores están son relativamente lejanos uno del otro; también, se debe tener en cuenta que los elementos electrónicos usados en el sistema actual son de difícil adquisición por el gran valor económico que poseen.

Una posible solución que puede ayudar al mejoramiento de esta situación es una arquitectura adecuada del sistema de monitoreo de la calidad de agua y alerta de riesgo de inundaciones, la cual se debe considerar la atención a los problemas planteados, está se realiza para que sea autosuficiente y tenga la capacidad de enviar la información a la central de monitoreo, quien será la encargada de procesar los datos proveniente de los sensores los cuales

será elaborados con elementos de bajo costo e implementando tecnología de internet de las cosas (IoT) (Mohn, 2015), con la cual tendrán la capacidad de comunicarse en tiempo real, de esta forma tomar medidas rápidas de contingencia para el mejoramiento de estos cuerpos de agua, luego de ser procesados serán mostrados a sociedad vía web para culturizar a la ciudadanía.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Cómo obtener información de forma oportuna y económica acerca de las condiciones que miden la calidad de agua de los caños y lagos internos del distrito Cartagena de Indias?

2.3. JUSTIFICACIÓN.

La ciudad de Cartagena de Indias evidencia día a día el gran problema ambiental que padece a causa de los diferentes factores contaminantes que deterioran el ecosistema. Se trata del mal estado de los cuerpos de agua internos que concierne específicamente a los caños y lagos. Aun, cuando en la ciudad utilizan un método para monitorear el estado de estos cuerpos de agua, a través de sensores ubicados en diferentes puntos de la ciudad, este presenta diferentes falencias que impiden que el proceso sea óptimo.

En busca de contribuir al mejoramiento del estado de los cuerpos de agua que bañan la ciudad y aportan a la belleza visible de ésta, se implementaron sensores cuya finalidad es monitorear en tiempo real el estado de los caños y lagos internos, lo cual servirá de alerta para prevenir y monitorear el desmejoramiento de la situación ambiental que esta presenta, beneficiando así a la comunidad cartagenera al reducir los riesgos de inundaciones en el área metropolitana y mejorando la calidad de vida de las personas, pues con esto, disminuye la proliferación de enfermedades producidas por la contaminación de estos cuerpos de agua y los contagios de virus transmitidos por medio de los mosquitos.

Además, no siendo ajenos a los procesos de desarrollo actuales que se viven en el mundo, hablando puntualmente del uso de las tecnologías de información y comunicación (TIC), el presente trabajo muestra el diseño de la arquitectura del sistema de monitoreo para garantizar que la construcción del software logre satisfacer los atributos de calidad, cuenta con un perfil operativo que es una plataforma web visible a todo tipo de público donde se muestran los datos arrojados por los sensores sobre el estado actual de las aguas, lo cual sirve para que la comunidad conozca de forma veraz la información ambiental de las condiciones de los cuerpos de agua y tome las medidas necesarias para contribuir a la preservación de los ecosistemas acuáticos.

La estrategia ayudará a las instituciones encargadas de la preservación del medio ambiente de la ciudad, la realidad del estado del agua en los diferentes sectores para que sean ellos los encargados de manejar la situación de control y preservación. Además, beneficiaría en gran parte a las comunidades aledañas a los caños y lagos, que vienen sufriendo problemas de sanidad y salud a causa del mal estado de estas aguas, como se mencionó anteriormente. Pues con esto, no solo se podrá mejorar la situación de higiene de estos lugares, sino que también se podrán tomar medidas para conservar el buen estado de estos.

Uno de los puntos que garantiza la viabilidad del proyecto es que comparados con el costo que poseen los sensores usados actualmente, se utilizan piezas como lo son los ARDUINOS (Ingeniería MCI Ltda), estos microcontroladores son circuitos integrados programables que poseen un entorno de desarrollo de código abierto, además los precios de los elementos de energía solar como lo son placas de fotoceldas, todo esto hace que la construcción y desarrollo de software de los sensores sean de muy bajo costo, lo cual facilita el acceso a ellos; por ende, no incurrirá en mayores gastos.

Con este proyecto se benefician diferentes grupos poblacionales, en primer lugar, los habitantes cercanos a caños y lagos quienes además de conocer el estado de la calidad del agua, podrán gozar de las medidas que se tomen una vez se establezcan estrategias para mejorarlo. De igual manera, se beneficiarán las entidades encargadas del monitoreo de la calidad de estos

cuerpos de agua, pues una vez se tenga información en tiempo real del estado del agua, se podrán desarrollar acciones que ayuden a mejorar el estado crítico en el que se encuentran actualmente.

Con lo anterior, se justifica la necesidad de mejorar los sistemas utilizados en la recolección de datos y monitoreo del estado de los cuerpos de agua internos de la ciudad de Cartagena de Indias, basados en los aspectos más relevantes al momento de evaluar el éxito de un proyecto que garantizaría el mejoramiento de la calidad de vida humana y de los ecosistemas.

3. MARCO DE REFERENCIA.

3.1. MARCO TEÓRICO.

3.1.1. Sistema de caños y lagos internos del distrito de Cartagena de Indias

Los sistemas de caños y lagos internos de la ciudad de Cartagena están conformados por una serie de cuerpos de agua que se comunican entre sí, desde la Ciénaga de la Virgen hasta la Bahía de Cartagena, en ese orden estos son: Caño Juan Angola, Laguna del Cabrero, Laguna de Chambacú, Laguna de San Lázaro, Caño Bazarro y Ciénaga de las Quintas (Figura 2). A continuación, se describe en forma general cada uno de ellos (Beltrán & Suárez, 2010).

3.1.1.1. Caño Juan Angola.

Este cuerpo de agua se inicia en la Ciénaga de Tesca, inmediatamente al sur de la pista de aterrizaje del Aeropuerto Rafael Núñez y sigue paralelo a la Avenida Santander cambiando sucesivamente de nombre, adoptando la designación de Laguna de Marbella, Cabrero y Chambacú, para finalmente conectarse a través de la Laguna de San Lázaro con la Bahía

interna de Cartagena. Tiene una longitud aproximada de 4.12 Km., un espejo de agua de unas 10 hectáreas y con una profundidad promedio de 2.76 m, se puede observar en la figura 2 (Beltrán & Suárez, 2010).

3.1.1.2. Laguna El Cabrero.

Este cuerpo de agua comienza desde el puente Benjamín Herrera hasta el puente de Chambacú. Tiene una longitud aproximada de 1.38 Km., un espejo de agua de unas 26 hectáreas y una profundidad promedio de 2.3 m, se puede observar en la figura 2 (Beltrán & Suárez, 2010).

3.1.1.3. Laguna de Chambacú.

Este cuerpo de agua comienza desde el puente del mismo nombre hasta el puente Heredia, tiene una longitud aproximada de 0.49 Km., un espejo de agua de unas 7 hectáreas y con una profundidad promedio de 2.2 m, se puede observar en la figura 2 (Beltrán & Suárez, 2010).

3.1.1.4. Caño Bazurto.

Circula hacia el suroeste de la ciudad, desde el puente Las Palmas a la altura de la Bahía San Lázaro y corre paralelo a la avenida Del Lago hasta desembocar en la ciénaga Las Quintas a la altura del puente Jiménez. Tiene una profundidad promedio de 1.73 m., con una longitud aproximada de 1.2 Km. y 12 hectáreas de espejo de agua, se puede observar en la figura 2 (Beltrán & Suárez, 2010).

3.1.1.5. Ciénaga de Las Quintas.

El sistema comienza desde el puente Jiménez hasta la Bahía de Cartagena, en el puente Bazurto. Tiene una profundidad de 2.25 m, con una longitud aproximada de 1.29 Km. y como espejo de agua unas 30 hectáreas, se puede observar en la figura 2 (Beltrán & Suárez, 2010).

3.1.1.6. Laguna de San Lázaro.

Este cuerpo de agua comienza desde el puente Heredia, hasta la Bahía de Cartagena, en el puente Román. Tiene una longitud aproximada de 0.67 Km., un espejo de agua de unas 15 hectáreas y una profundidad promedio de 2.1 m, se puede observar en la figura 2 (Beltrán & Suárez, 2010).



Figura 2. Clasificación caños y lagos internos en el distrito de Cartagena de indias. (IGAC)

3.1.2. Calidad de Agua.

La calidad de los cuerpos de aguas depende tanto de factores naturales y de igual forma de las acciones humanas.

Sin las acciones humanas, la calidad del agua vendría determinada por la erosión del substrato mineral, los procesos atmosféricos de evapotranspiración y sedimentación de lodos y sales, la lixiviación (produce el desplazamiento de sustancias solubles o que se pueden dispersar) natural de la materia orgánica y los nutrientes del suelo por los factores hidrológicos, y los procesos biológicos en el medio acuático que pueden alterar la composición física y química del agua (Naciones Unidas, 2014).

La calidad de un ambiente acuático se puede definir como: i) Una lista de concentración, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas, y ii) la composición y el estado de biota acuática presente en el cuerpo de agua. La calidad presenta variaciones espaciales y temporales debido a factores externos e internos al cuerpo del agua (Sierra Ramiez , 2011).

Por lo tanto, la calidad del agua hace referencia a las características fisicoquímicas del agua.

Las características fisicoquímicas por monitorear para determinar el estado en que se encuentran los caños y lagos internos del distrito de Cartagena son: Temperatura, pH del agua, Nivel del agua, humedad de suelo, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y turbiedad.

3.1.2.1. Temperatura.

La temperatura es un factor abiótico que regula procesos vitales para los organismos vivos, así como también afecta las propiedades químicas y físicas de otros factores abióticos

en un ecosistema. Es considerada un parámetro de mayor significado que el contenido de calor de un cuerpo o sistema.

Se tiene conocimiento de que la temperatura afecta la estabilidad y actividad de las enzimas que participan en reacciones bioquímicas. En consecuencia, la temperatura ejerce una marcada influencia sobre la reproducción, crecimiento y el estatus fisiológico de todas las entidades vivas (Fisicoquímicos).

La temperatura de las aguas tiene una gran importancia en la distribución geográfica y en profundidad de los organismos marinos, al influir en procesos tan vitales como alimentación, respiración, crecimiento y reproducción.

La tolerancia a los cambios de temperatura varía mucho de unas especies a otras, existiendo especies que soportan variaciones muy pequeñas, mientras que otras no se ven afectadas ni por amplias variaciones.

La temperatura de las aguas marinas no sólo se deja sentir en la distribución de los organismos marinos, sino que puede condicionar también la distribución de organismos terrestres (REGMURCIA).

3.1.2.2. PH del agua.

El pH es una de las pruebas más comunes para conocer parte de la calidad del agua. El pH indica la acidez o alcalinidad, pero es en realidad una medida de la actividad del potencial de iones de hidrógeno (H^+).

Las mediciones de pH se ejecutan en una escala de 0 a 14, con 7.0 considerado neutro. Las soluciones con un pH inferior a 7.0 se consideran ácidos. Las soluciones con un pH por encima de 7.0, hasta 14.0 se consideran bases o alcalinos. Todos los organismos están sujetos

a la cantidad de acidez del agua y funcionan mejor dentro de un rango determinado. En general, un agua con un $\text{pH} < 7$ se considera ácido y con un $\text{pH} > 7$ se considera básica o alcalina. El rango normal de pH en agua superficial es de 6,5 a 8,5 (Carbotecnia, 2014).

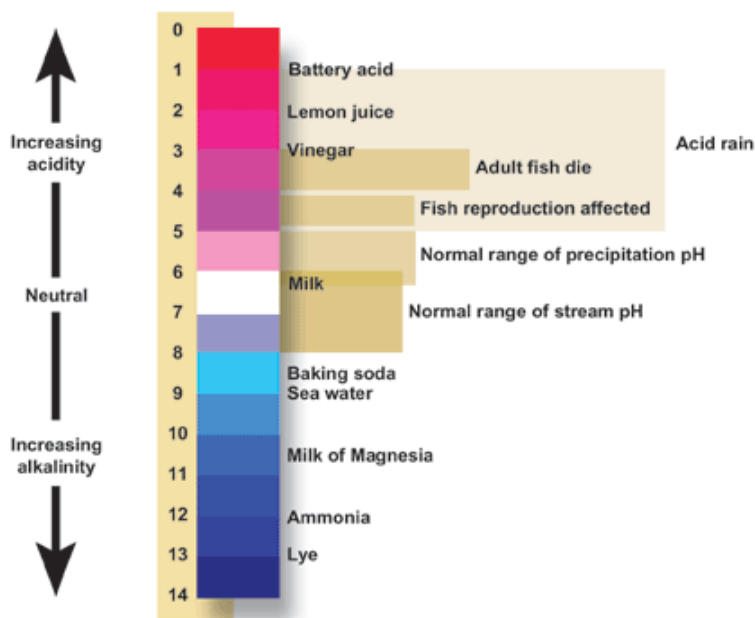


Figura 3. Escala de pH . (*Environment and Climate Change Canada*, 2013).

El pH del agua es muy importante porque determina la solubilidad (cantidad que se puede disolver en el agua) y la disponibilidad biológica (cantidad que puede ser utilizada por la vida acuática) de componentes químicos tales como nutrientes (fósforo, nitrógeno y carbono) y metales pesados (plomo, Cobre, cadmio, etc.). Por ejemplo, además de afectar cuánto y qué forma de fósforo es más abundante en el agua, el pH también determina si la vida acuática puede usarlo. En el caso de los metales pesados, el grado en que son solubles determina su toxicidad. Los metales tienden a ser más tóxicos a pH más bajo porque son más solubles (THE USGS WATER SCIENCE SCHOOL).

3.1.2.3. Nivel del agua.

Monitorear el nivel del agua es de gran importancia ya que teniendo el nivel exacto de agua para poder reaccionar ante la emergencia de forma rápida y adecuada. Las cuales pueden ser inundaciones o por sequía de los cuerpos de agua.

3.1.2.4. Conductividad eléctrica.

La corriente eléctrica resulta del movimiento de partículas cargadas eléctricamente y como respuesta a las fuerzas que actúan en estas partículas debido a un campo eléctrico aplicado. Dentro de la mayoría de los sólidos existen un flujo de electrones que provoca una corriente, y a este flujo de electrones se le denomina conducción electrónica. En todos los conductores, semiconductores y en la mayoría de los materiales aislados se genera conducción electrónica; la conductividad eléctrica depende en gran medida del número de electrones disponibles para participar en el proceso de conducción. La mayoría de los metales son buenos conductores de electricidad, debido al gran número de electrones libres que pueden ser excitados en un estado de energía vacío y disponible (LENNTECH).

En el agua y materiales iónicos o fluidos puede generarse el movimiento de una red de iones cargados. Este proceso produce corriente eléctrica y se denomina conducción iónica (LENNTECH).

Agua pura no es un buen conductor de la electricidad. Debido a que la corriente eléctrica se transporta por medio de iones en solución, la conductividad aumenta cuando aumenta la concentración de iones. De tal manera, que la conductividad cuando el agua disuelve compuestos iónicos. Este es muy usado para determinar la cantidad de sal disuelta en el agua. Conductividad en distintos tipos de aguas: Agua Ultra Pura: $5.5 \cdot 10^{-6}$ S/m; Agua potable: 0.005 – 0.05 S/m; Agua del mar: 5 S/m (LENNTECH).

Estas producen una gran cantidad de datos los cuales son necesario monitorear y luego interpretar para conocer el estado de los cuerpos de agua.

3.1.3. Arquitectura.

De acuerdo con el libro Ingeniería de software un enfoque práctico, la Arquitectura de Software se refiere a “Es una representación que permite analizar la efectividad del diseño para cumplir los requerimientos establecidos, considerar alternativas arquitectónicas en una etapa en la que hacer cambios al diseño todavía es relativamente fácil y reducir los riesgos asociados con la construcción del software” (Pressman, 2010, pág. 207) .

También es la organización fundamental de un sistema, que incluye sus componentes, las relaciones entre sí y el ambiente, y los principios que gobiernan su diseño y evolución. (ANSI/IEEE 1471-2000).

Arquitectura de software se ocupa del diseño y la implementación de la estructura de alto nivel del software. Eso es el resultado de montaje de un cierto número de elementos arquitectónicos en algunas formas bien elegidas para satisfacer los principales requisitos de funcionalidad y rendimiento del sistema, así como algunos otros, no funcionales requisitos tales como la fiabilidad, escalabilidad, portabilidad y disponibilidad (Kruchten, 1995).

Además, se ocupa de la abstracción, con descomposición y composición, con el estilo y la estética. Se utiliza un modelo compuesto de múltiples puntos de vista o perspectivas. A fin de que finalmente abordar arquitecturas grandes y desafiantes, el modelo que propone Philippe Kruchten se compone de cinco vistas.

Las cuales están representada por diferentes vistas arquitectónicas implementando el lenguaje UML. Con ellas se pueden visualizar y razonar los diferentes elementos de la arquitectura con el modelo “4+1” vistas de Kruchten.

El modelo “4+1” y cada una de sus vistas se puede apreciar en la Figura 4. Tomada de Kruchten, Philippe. Architectural Blueprints — The “4+1” View Model of Software Architecture, noviembre 1995.

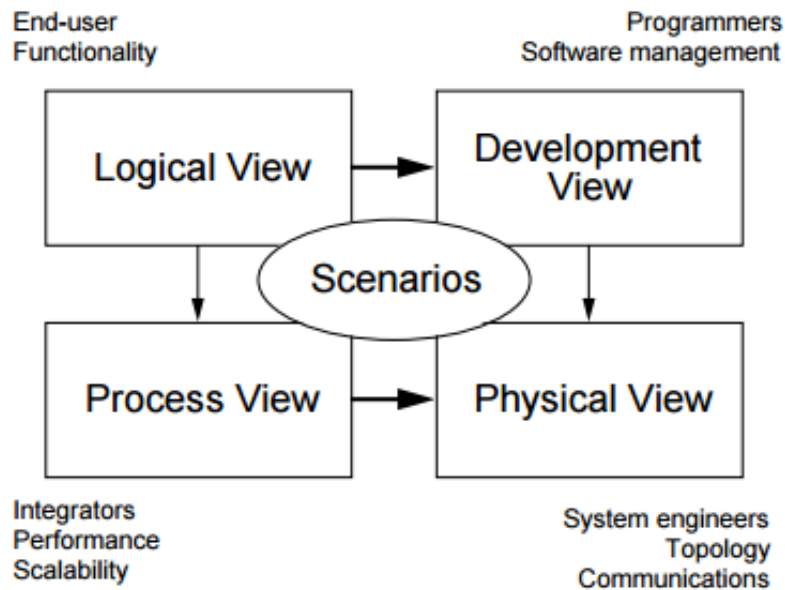


Figura 4. Vista 4+1. (Kruchten, 1995)

Kruchten propone que un sistema software se tiene que documentar y mostrar (con el estándar IEEE 1471-2000) con 4 vistas bien diferenciadas, estas se deben relacionar entre sí con la vista “+1”. Kruchten denominó las vistas como: vista lógica, vista de procesos, vista de desarrollo y vista física y la vista “+1” que tiene la función de relacionar las 4 vistas citadas, la denominó vista de escenario (Kruchten, 1995).

3.1.3.1. Vista lógica.

Soporta el análisis y la especificación de los requisitos funcionales; lo que el sistema debería proporcionar en términos de servicios a sus usuarios. Se pueden representar por los siguientes diagramas: Diagrama de Clases, Diagrama de Comunicación, Diagrama de Secuencia (Kruchten, 1995).

3.1.3.2. Vista de Desarrollo.

Describe la organización estática del software en su ambiente de desarrollo. En esta vista se muestra desde la perspectiva de un programador y se ocupa de la gestión del software. Esta vista se puede representar por los siguientes diagramas: Diagrama de Componente y Diagrama de Paquetes (Kruchten, 1995).

3.1.3.3. Vista de proceso.

Captura los aspectos de concurrencia y sincronización del diseño, también muestra los procesos y como se comunican entre ellos. Esta vista se puede representar por el siguiente diagrama: Diagrama de Actividades (Kruchten, 1995).

3.1.3.4. Vista Física.

Describe la asignación del software en el hardware y refleja su aspecto distribuido, esta vista es desde la perspectiva de un ingeniero de sistemas. Esta vista se puede representar por el siguiente diagrama: Diagrama de Despliegue (Kruchten, 1995).

3.1.4. Internet de las cosas.

Internet de las cosas también llamado IoT (*Internet of things*) es una gran red de información, basada en elementos electrónicos con reconocimiento de su entorno e inteligencia propia, para facilitar desde tareas cotidianas hasta procesos industriales complejos, generando bienestar en primera instancia al usuario y a nivel macro a comunidades enteras (García, 2015).

Actualmente se está presenciando una nueva era de Internet de las cosas porque cada día hay nuevos objetos conectados a la internet, hay casas inteligentes, colegios y ciudades inteligentes, gran cantidad de elementos están interconectados y comunicados con los demás objetos.

Los objetos que se pueden conectar mediante el IoT incluso casi cualquier cosa que se pueda encender y apagar. Estos dispositivos incluyen los sistemas de seguridad en el hogar, vehículos, dispositivos médicos, electrodomésticos, smartphones, y mucho más. Algunos ejemplos de la IoT en el trabajo sería un termostato que un propietario puede cambiar utilizando un smartphone o un dispositivo portátil que le indica en qué medida una persona corrió durante un entrenamiento.

El IoT depende en gran medida de datos. Muchos dispositivos modernos recopilan y realizan el seguimiento de los datos. Cuando los dispositivos están conectados a través de la IoT, pueden transmitir los datos que recogen. El IoT ayudará a los dispositivos conectarse con las personas y otros dispositivos. Además, ayudará a las personas a conectarse con otras personas (Mohn, 2015).

También, en las ciudades inteligentes podrían utilizar el IoT para controlar los semáforos para hacer caminos menos congestionados. Los dispositivos conectados con el IoT podrían también vía la contaminación del agua y del aire en un intento por identificar las causas. Las ciudades pueden proporcionar fácilmente a los visitantes con información sobre las atracciones locales, incluyendo los datos en tiempo real (Mohn, 2015).

3.1.5. Metodología RUP.

Rational Unified Process (RUP) es un proceso de ingeniería de software. Proporciona un enfoque disciplinado para asignar tareas y responsabilidades dentro de una organización de desarrollo. Su objetivo es garantizar la producción de alta calidad software que satisface las

necesidades de sus usuarios finales, dentro de un cronograma y presupuesto predecibles (Rational Unified Process, 2011).

3.1.5.1. Características esenciales.

3.1.5.1.1. Dirigido por Casos de Uso.

Un Caso de Uso como un fragmento de funcionalidad del sistema que proporciona al usuario un valor añadido. Los Casos de Uso representan los requisitos funcionales del sistema (Rational Unified Process, 2011).

3.1.5.1.2. Desarrollar software Iterativamente.

Teniendo en cuenta los sistemas de software sofisticados de hoy en día, no es posible secuencialmente primero definir todo el problema, diseñar toda la solución, construir el software y vuelva a probar el producto al final (Rational Unified Process, 2011).

3.1.5.1.3. Utilice las arquitecturas basadas en componentes.

El proceso se centra en el desarrollo temprano y la línea de base de una sólida arquitectura ejecutable, antes de comprometer recursos para el desarrollo a gran escala. En él se describe cómo diseñar una arquitectura resistente que es flexible, se adapta cambio, es intuitivamente comprensible, y promueve más la reutilización de software efectivo (Rational Unified Process, 2011).

3.1.5.1.4. Visualmente modelo de software.

El proceso muestra cómo visualmente modelo de software para capturar la estructura y comportamiento de arquitecturas y componentes (Rational Unified Process, 2011).

3.1.5.1.5. Verificar la calidad del software.

Rendimiento de las aplicaciones malo y la mala fiabilidad son factores comunes que inhibir drásticamente la aceptabilidad de las aplicaciones de software de hoy en día (Rational Unified Process, 2011).

3.1.6. Componentes.

3.1.6.1. Arduino Uno R3 MEGA328P

Arduino es un prototipo electrónico que funciona con código abierto tanto para su hardware como para su software, además por medio de él se pueden conectar herramientas que aumentan el potencial de este microcontrolador. El Arduino es la herramienta principal para la construcción del sensor piloto y las especificaciones son de suma importancia teniendo en cuenta que la referencia de la placa es Uno R3 MEGA328P con las siguientes características.

- Microcontrolador ATmega328.
- Voltaje de entrada 7-12V.
- 14 pines digitales de I/O (6 salidas PWM).
- 6 entradas análogas.
- 32k de memoria Flash.
- Reloj de 16MHz de velocidad (Ingeniería MCI Ltda, Arduino Uno R3).

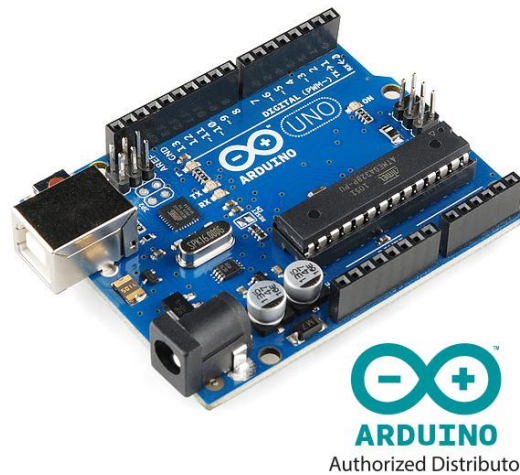


Figura 5: Arduino (*Ingeniería MCI Ltda, Arduino Uno R3*).

3.1.6.2. Protocolo MQTT

MQTT (Message Queue Telemetry Transport), un protocolo usado para la comunicación machine-to machine (M2M) en el "Internet of Things". Este protocolo está orientado a la comunicación de sensores, debido a que consume muy poco ancho de banda y puede ser utilizado en la mayoría de los dispositivos empotrados con pocos recursos. La arquitectura de MQTT sigue una topología de estrella, con un nodo central que hace de servidor o "BROKER" con una capacidad de hasta 10000 clientes. El BROKER es el encargado de gestionar la red y de transmitir los mensajes, para mantener activo el canal, los clientes mandan periódicamente un paquete y esperan la respuesta del BROKER. La comunicación puede ser cifrada entre otras muchas opciones (Yébenes Gálvez).

3.2. ESTADO DEL ARTE.

A través del tiempo se han creado diferentes formas de saciar la necesidad de conocer y controlar el estado de los diferentes cuerpos de agua que existen a lo largo y ancho del planeta, debido a la importancia que tiene este recurso hídrico para la vida humana, animal y vegetal.

3.2.1. Ámbito internacional.

En diferentes países del mundo han implementado sistemas de monitoreo de calidad de agua que han contribuido a la preservación de los cuerpos de agua que conforman diferentes ecosistemas. Uno de estos países es España, donde el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente creó el Sistema Automático De Información De La Calidad Del Agua (SAICA) (Sociedad Ibérica de Construcciones Eléctricas, S.A, 2015), el cual responde a la necesidad de disponer de información precisa y fiable de la calidad de las aguas continentales.

Este control puede aplicarse en puntos críticos para vigilar vertidos en zonas protegidas a través de la medición de parámetros fisicoquímicos en tiempo real y la posibilidad de activar alarmas de contaminación. Un SAICA está formado por una Red de Estaciones Automáticas de Alerta (EAA) instaladas a lo largo del curso del río en tramos considerados críticos. En ellas se miden en tiempo real parámetros básicos representativos de la calidad de las aguas (nivel, caudal, turbidez, pH, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura, materia orgánica, amonio, fosfatos, nitratos y algunos metales pesados).

Los datos se envían al Centro de Control donde se gestionan por personal especializado. Con estos datos se realizan estudios de comportamiento y se analizan las curvas de tendencia. Las técnicas utilizadas para analizar el agua varían en función del parámetro analizado y los rangos de medida (Sociedad Ibérica de Construcciones Eléctricas, S.A, 2015).

Por otra parte, se encontró una empresa llamada HIDROFRAC que se encuentra en la ciudad de Cipolletti, provincia de Rio Negro, Argentina. La cual brinda un sistema de monitoreo que funciona vía satelital permitiendo el control de variables tales como nivel, caudal y temperatura. Esta es una herramienta para optimizar los costos y tiempos de operación del manejo del agua, al igual que para obtener información precisa de los volúmenes utilizados en las fracturas para su posterior análisis, y a su vez facilitar a los organismos medioambientales (HIDROFRAC, 2012).

El sistema funciona mediante sensores ubicados dentro de los tanques modulares, piletas de fractura y bridas del sistema de transferencia, que transmiten los datos mediante una estación satelital alimentada por paneles solares. Esos datos son recolectados por un servidor y procesados de manera de poder ser monitoreados a través de un sitio web (HIDROFRAC, 2012).

El sistema permite obtener datos en tiempo real de los puntos de almacenamiento mediante el acceso a un sitio interactivo, al igual que datos históricos, estadísticas, gráficos, etc. Desde cualquier lugar con conexión a internet (HIDROFRAC, 2012).

En Chile se encuentra el Sistema Nacional de Calidad de Aguas, es un sistema cuyo objetivo general, es publicar los datos de calidad de aguas provenientes de estaciones de monitoreo de entidades del gobierno, como la Dirección General de Aguas, así como también los datos de calidad de agua provenientes de instituciones privadas.

Para llevar su funcionamiento a cabo está aliado con el Sistema nacional de información ambiental (SINIA), el cual es administrado por el ministerio del medio ambiente y está conformado por un conjunto de bases de datos (cartográficos, gráficos, documentales, legales, etc.), equipos (informáticos y humanos), programas y procedimientos dedicados a gestionar la información acerca del ambiente y los recursos naturales del país, de manera integrada e interpretable (Ministerio del medio ambiente, 2011).

Otro de los países que cuenta con métodos de monitoreo de la calidad del agua, aunque no funciona exactamente como sistema, es Brasil, donde hace algunos años se creó la Red Nacional de Monitoreo de Calidad de Agua Superficial (RNQA), iniciativa que surge tras la Evaluación Nacional de la Calidad del Agua donde se analizaron las situaciones que se presentan con respecto al estado del agua superficial. La red tiene como objetivo permitir la gestión sistemática de los recursos hídricos, considerando los aspectos cuantitativos y cualitativos, de la articulación con SNIRH, la cual es la Red Nacional de Hidrometeorológica y Recursos de Información Nacional de Agua (Agencia Nacional De Aguas).

Por otro lado, al igual que Brasil, México cuenta con una Red de monitoreo de la calidad del agua que cuenta con 1,815 sitios a lo largo y ancho del país, cuyos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos son llevados a cabo en la Red Nacional del Laboratorios, el cual está constituido por 13 laboratorios ubicados en organismos de cuenca y 15 en direcciones locales. Además, desde 2005 se llevan a cabo monitoreos biológicos en algunas regiones del país, que permiten evaluar la calidad del agua con métodos sencillos y de bajo costo.

La red está dividida en subredes que se encuentran en tres zonas que son: cuerpos superficiales con 842 sitios de monitoreo, zonas costeras con 172 sitios y aguas subterráneas con 714 sitios. La red se divide en cuatro subredes: una Red Primaria que cuenta con 508 sitios, una Red Secundaria con 400, de Estudios Especiales con 820 sitios y los restantes 87 en una Red de Referencia de Agua Subterránea (Red de monitoreo de la calidad de agua, 2012).

Mientras tanto en Estados Unidos existe un Sistema de Monitoreo de la Calidad del Agua llamado EMMI, el cual nace por la necesidad de conocer el estado de los cuerpos de agua que venían presentando problemas de sanidad, como presencia de pesticidas y otros analitos medidos rutinariamente por lo que entonces era la División de Tecnología

Industrial. El sistema cuenta con sensores ubicados en puntos estratégicos y una plataforma donde se muestran los resultados obtenidos tras los análisis.

Los métodos publicados por lo general se concentran en objetivos específicos de análisis y la información que permite a los usuarios evaluar si los datos de un método particular serán comparables con los datos producidos por otros métodos y diseños de proyectos (National Water Quality Monitoring Council).

3.2.2. Ámbito nacional.

Colombia, aun cuando cuenta con una gran riqueza hídrica, no posee sistemas suficientes para monitorear la calidad de las aguas, pues en el Valle de Aburrá se han implementado este tipo de estrategias, a través de la Red de monitoreo ambiental del río Aburrá-Medellín- RedRío, cuyo objetivo es suministrar información analizada en forma regular y eficiente.

El monitoreo de la calidad del agua se fundamenta en el conocimiento de la evolución de las concentraciones de los contaminantes, las tendencias, la ocurrencia de episodios de contaminación que inciden directamente en las condiciones de mezcla y dispersión de los contaminantes.

Además, con el fin sensibilizar y capacitar a los usuarios del agua en la región metropolitana se presentan de manera digital plegables, cartillas, boletines, presentaciones, entre otros elementos, que la Entidad realiza, para instar al conocimiento y para la protección, recuperación y conservación del recurso agua en la región metropolitana, con la Cartilla Evaluación Técnica y Económica de Tecnologías para Reúso de Aguas de Proceso en industrias de los sectores de alimentos, textil, curtimbres y galvanoplastia; y la Guía metodológica para determinar módulos de consumo y factores de vertimiento de agua (Recurso Hídrico, 2014).

Se puede evidenciar el Sistema de estadísticas REDCAM, que tiene como significado Red de Monitoreo de la Calidad de aguas marinas y costeras de Colombia, siendo este un programa de carácter interinstitucional y es una herramienta útil para la gestión y toma de decisiones del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y de las Corporaciones Autónomas Regionales con injerencia costeras y en general del SINA, en temas de contaminación marina-costera.

La información contenida en este sistema proviene de los nodos que lo componen, como son MADS, CIOH, CORPONARIÑO, CRC, CVC, CODECHOCÓ, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CORALINA, EPA Cartagena, que desde el año 2001 han aportado datos al sistema de monitoreo, además de la información primaria colectada durante los monitoreos de la REDCAM liderados por el INVEMAR. De esta manera la REDCAM se ha convertido en un programa pionero en su clase no solo en Colombia, sino en otros países de la región (INVEMAR, 2011).

Como ya se ha mencionado, a nivel Nacional no existen muchos sistemas de monitoreo, sin embargo, periódicamente se realizan monitoreos desde las diferentes instancias distritales o municipales, cuyos resultados son reportados al Sistema de Información de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano-SIVICAP, el cual facilita las actividades de Inspección, Vigilancia y Control del agua en el país. Actualmente, se encuentra en funcionamiento el nuevo sistema-SIVICAP WEB, para reporte en línea de la información de la calidad del agua e incluye el cálculo de los indicadores IRCA, IRABA, BPS Y MAPA DE RIESGO. Además, permite compartir más eficientemente la información generada y actualizada, con los diferentes usuarios directos o indirectos del sector (Instituto Nacional de Salud).

3.2.3. Ámbito local.

La ciudad de Cartagena no cuenta con un sistema de monitoreo de calidad de agua, por el contrario, cuenta con un control realizado de forma manual por parte de la Empresa Aguas de Cartagena. El laboratorio de aguas desarrolla un programa de monitoreo de la calidad del agua antes de su tratamiento, durante el proceso de tratamiento y cuando se distribuye a la ciudad.

Diariamente se toman entre 8 y 13 muestras en diferentes puntos de la ciudad, con el propósito de valorar sus condiciones fisicoquímicas y bacteriológicas y aplicar correctivos necesarios de encontrar alguna anomalía.

El Laboratorio participa desde el año 2000 en el Programa Interlaboratorios de Control de calidad del Agua Potable (PICCAP), organizado por el Instituto Nacional de Salud. El Ministerio de Protección Social periódicamente le ha renovado la autorización para realizar análisis de calidad al agua potable, lo que lo mantiene como uno de los pocos laboratorios del departamento de Bolívar autorizados para analizar la calidad del agua para consumo humano (Aguas de Cartagena , 2016).

4. OBJETIVOS.

4.1. OBJETIVO GENERAL.

Diseñar una arquitectura para un sistema de monitoreo de calidad de agua de los caños y lagos internos del distrito de Cartagena de indias soportada en tecnologías de internet de las cosas.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Identificar requisitos del sistema de monitoreo de calidad de agua de los caños y lagos internos del distrito de Cartagena de Indias.
- ✓ Diseñar las Vistas Arquitectónicas al sistema de monitoreo de calidad de agua y alertas temprana de inundaciones de los caños y lagos internos del distrito de Cartagena de indias, implementando 4 + 1 y UML 2.0.
- ✓ Desarrollar un perfil operativo basado en la arquitectura con el fin de validar el modelo arquitectónico.
- ✓ Desplegar un sensor piloto en un punto de los caños y lagos internos del distrito de Cartagena de indias, que este perfil operativo sirva para demostrar el correcto funcionamiento del sistema.

5. ALCANCE.

El objetivo principal del proyecto fue diseñar una arquitectura para el sistema de monitoreo de la calidad del agua de los caños y lagos internos del distrito de Cartagena de Indias. Con base en el objetivo general y los objetivos específicos, el alcance de este está delimitado por los siguientes aspectos:

- Se realizó una arquitectura del sistema de monitoreo de calidad de agua de los caños y lagos del distrito de Cartagena de Indias, con las vistas 4 +1 y UML 2.0.
- Se realizó un perfil operativo del sistema basándose en la arquitectura, implementando la funcionalidad principal del sistema para poder demostrar el correcto funcionamiento de esta y del sistema, el cual se desarrolló en tecnología web.
- Se implementó un sensor piloto que mida uno o más de los parámetros mencionados en el marco teórico, el cual está ubicado en determinado cuerpo de agua de la ciudad de Cartagena y este contará con tecnología de internet de las cosas.
- El horizonte temporal marcado por el estudio y la investigación corresponde a lo establecido en el diagrama de actividades extendiéndose aproximadamente seis (6) meses.

Las necesidad que llevó a realizar este proyecto es que el sistema de monitoreo implementado puede prevenir enfermedades a personas que viven alrededor de los caños y lagos, además de conservar y preservar los ecosistemas que se encuentran en estos cuerpos de agua. Las limitaciones que se tuvo en la realización del proyecto es que una parte del componente electrónico que se utilizó en el sensor tiene muy poca documentación de uso.

6. METODOLOGÍA.

Se alcanzó por completo el desarrollo de los objetivos planteados en este proyecto, se realizó la clasificación en diferentes distribuciones, para saber el tipo de naturaleza de su investigación, y definir la metodología que permitió alcanzar dicho propósito. Las clasificaciones asignadas son:

- Investigación bibliográfica: Se realizó investigaciones teóricas para identificar diseños de arquitecturas de sistemas software de monitoreo de calidad de agua o afines, también documentos relacionados con sistemas de autónomos y autosuficientes que utilicen energía renovable, entre otros aspectos, todo esto fue con la finalidad de tener conocimientos previos y fundamentos validos reducido para haber realizado de forma óptima el proyecto.
- Investigación aplicada: Se aplicaron los conocimientos en el contexto del desarrollo de servicios soportados en tecnologías de Internet de las cosas, también conocimientos relacionados con condiciones ambientales que permiten valorar calidad de cuerpos de agua, el cual tuvo aplicación directa a los problemas de la sociedad y al sector productivo. Estos conocimientos se evidencian en el diseño de la arquitectura y el perfil operativo que valida la arquitectura.

La investigación tuvo un enfoque cualitativo durante la etapa de recolección, dado que la información descriptiva de los procesos permitió identificar variables para mejorar los cuerpos de agua. Luego, en la etapa de procesamiento de información y análisis de resultados se utilizó un enfoque cuantitativo donde se generaron informes estadísticos relacionados con los diferentes datos que se tomaron a través de los sensores utilizados en el perfil operativo.

Las fuentes de información primarias para la realización de este proyecto han sido entrevistas con el experto Javier Alejandro Mouthon Bello PhD, director del programa Ingeniería Civil de la Universidad de Cartagena, también al subdirector Técnico de Desarrollo Sostenible EPA

Cartagena y personas que viven alrededor de los caños y lagos internos de Cartagena de Indias. Además, las fuentes secundarias fueron bases de datos especializadas adscritas a la biblioteca Universidad de Cartagena y libros especializados en tecnologías de desarrollo de aplicaciones web y diseño de arquitectura de estos.

Para la obtención de la información necesaria, han sido investigadas las necesidades que tienen cada uno de los actores mencionados con anterioridad, se hicieron uso de los siguientes instrumentos de recolección de información:

- Entrevistas: Comunicación establecida entre el investigador y el sujeto de estudio a fin de obtener respuestas verbales a las interrogantes planteadas sobre el problema propuesto. Es decir, en esta investigación se realizaron entrevistas a algunas de las fuentes primarias, como el PhD Javier Alejandro Mouthon Bello y el subdirector Técnico de Desarrollo Sostenible EPA Cartagena.

Para elaborar el análisis e interpretación de los resultados obtenidos de las preguntas realizadas de forma individual a las fuentes primarias, a través de la entrevista y encuesta, se realizó un cuadro de resultados en donde se muestra la información recopilada en las encuestas y se creó un listado de necesidades priorizadas y significativas, de esta forma se tuvo un punto de partida de la investigación.

Para alcanzar los objetivos planteados se utilizó la metodología de desarrollo RUP (Rational Unified Process) y se hizo la siguiente adaptación por iteraciones:

Iteración 1.

- **Identificar requisitos del sistema de monitoreo de calidad de agua de los caños y lagos internos del distrito de Cartagena de Indias.**

Se hizo la construcción y aplicación de los diferentes métodos de recolección de información, con los resultados obtenidos se analizaron para adquirir los requerimientos del sistema.

Iteración 2.

- **Diseño de las Vistas Arquitectónicas al sistema de monitoreo de calidad de agua y alertas temprana de inundaciones de los caños y lagos internos del distrito de Cartagena de indias, implementando 4 + 1 y UML 2.0.**

A partir de la aplicación de las técnicas de recolección de información y de los requerimientos, se definió y modeló la arquitectura, además de los artefactos de diseño del perfil operativo.

- **Desarrollo de un perfil operativo basado en la arquitectura con el fin de validar el modelo arquitectónico.**

Se realizó el desarrollo de un perfil operativo teniendo en cuenta el diseño de la arquitectura, y los componentes electrónicos utilizados para la conformación del sensor son: Sensor de PH para Arduino BNC sonda de electrodo, sensor de temperatura sumergible, una placa GSM/GPRS SHIELD con referencia SIM808 y por último tenemos el ARDUINO Uno R3 MEGA328P.

Iteración 3.

- **Despliegue de un sensor piloto en un punto de los caños y lagos internos del distrito de Cartagena de indias, que este perfil operativo sirva para demostrar el correcto funcionamiento del sistema.**

Se realizó el diseño, desarrollo e implementación del sensor piloto, se identificó un punto estratégico en donde se posiciono dicho sensor y posteriormente se hizo la ubicación.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

7.1. REQUISITOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA DE LOS CAÑOS Y LAGOS INTERNOS DEL DISTRITO DE CARTAGENA DE INDIAS.

A partir de la aplicación de las técnicas de recolección de información como lo es la entrevista, se realizó esta a Arturo Marrugo funcionario del EPA Cartagena, en el cual nos brindó la información necesaria para hacer la extracción de los requisitos que debe contemplar el sistema. Para ello se utilizó el estándar de IEEE 830-1998 y la información suministrada está registrada en el documento “Especificación de requerimientos sistema de monitoreo de calidad de agua”. La lista de requerimientos funcionales son los siguientes:

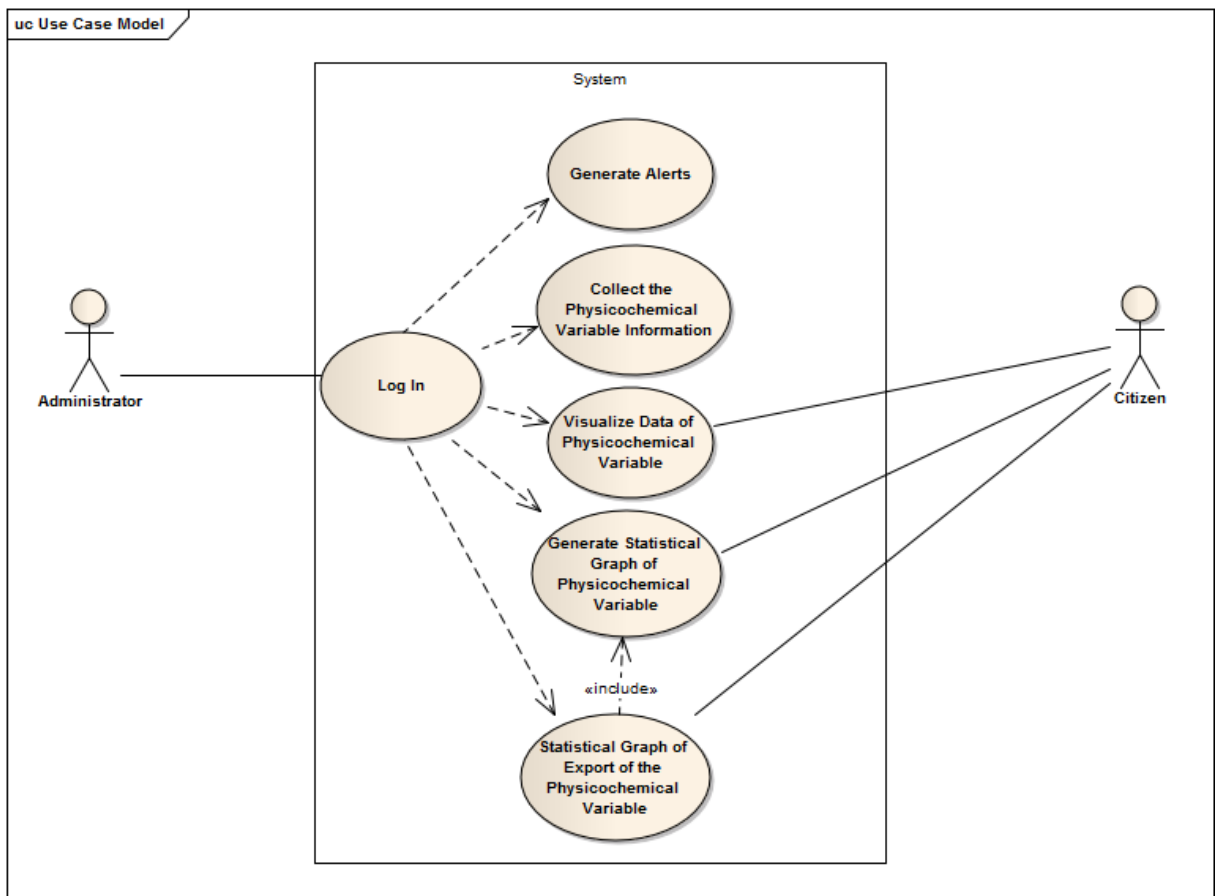


Figura 6. Diagrama de casos de uso.

Tabla 1. Requerimiento funcional autenticación.

Identificación del requerimiento:	RF01
Nombre del Requerimiento:	Autenticación de Administrador.
Características:	Los administradores deberán identificarse para acceder a cualquier parte del sistema.
Descripción del requerimiento:	El sistema podrá ser usado por cualquier tipo de actor, el único que tiene mayor acceso son los administradores.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> • RNF01 • RNF02 • RNF05 • RNF08
Prioridad del requerimiento: Alta	

Tabla 2. Requerimiento funcional registrar administrador.

Identificación del requerimiento:	RF02
Nombre del Requerimiento:	Registrar administrador.
Características:	Los administradores deberán estar registrado para tener acceso a sus actividades.
Descripción del requerimiento:	El sistema solo permitirá registrar a un Administrador si otro administrador lo autoriza. El administrador debe suministrar datos como: CI, Nombre, Apellido, E-mail, Usuario y Password.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> • RNF01 • RNF02 • RNF05 • RNF08
Prioridad del requerimiento: Alta	

Tabla 3. Requerimiento funcional visualizar información de variable.

Identificación del requerimiento:	RF03
Nombre del Requerimiento:	Visualizar información de variable fisicoquímica.
Características:	El sistema ofrecerá al usuario información general acerca de las mediciones de las variables fisicoquímicas.
Descripción del requerimiento:	Consultar y visualizar información de las variables fisicoquímica de los cuerpos de agua.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none">• RNF01• RNF02
Prioridad del requerimiento:	Alta

Tabla 4. Requerimiento funcional generar gráfica.

Identificación del requerimiento:	RF04
Nombre del Requerimiento:	Generar grafica estadística de variable fisicoquímica.
Características:	El sistema ofrecerá la opción de generar grafica estadística de variable fisicoquímica.
Descripción del requerimiento:	Muestra información en forma de grafica estadística de variable fisicoquímica.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none">• RNF01• RNF02
Prioridad del requerimiento:	Alta

Tabla 5. Requerimiento funcional generar alertas.

Identificación del requerimiento:	RF05
Nombre del Requerimiento:	Generar alertas.
Características:	El sistema ofrecerá al administrador la opción de generar alertas.
Descripción del requerimiento:	Permitir al administrador generar alertas.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> • RNF01 • RNF02
Prioridad del requerimiento: Media	

Tabla 6. Requerimiento funcional generar alertas de valores críticos.

Identificación del requerimiento:	RF06
Nombre del Requerimiento:	Generar alertas de valores críticos de las variables.
Características:	El sistema generara alertas cuando las variables fisicoquímicas estén en valores críticos.
Descripción del requerimiento:	El sistema generara alertas cuando las variables fisicoquímicas estén en valores críticos para tomar medidas correctivas.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> • RNF01 • RNF02 • RNF05
Prioridad del requerimiento: Alta	

Tabla 7. Requerimiento funcional medir variable.

Identificación del requerimiento:	RF07
Nombre del Requerimiento:	Medir variable fisicoquímica.
Características:	El sistema medirá variable fisicoquímica.
Descripción del requerimiento:	Medir variable fisicoquímica para saber el estado de los cuerpos de agua.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> • RNF01 • RNF02 • RNF05 • RNF06 • RNF07 • RNF08
Prioridad del requerimiento: Alta	

Tabla 8. Requerimiento funcional exportar gráfica.

Identificación del requerimiento:	RF08
Nombre del Requerimiento:	Exportar gráfico estadístico de variable fisicoquímica.
Características:	El sistema ofrecerá la opción de generar exportar la gráfica estadística de variable fisicoquímica.
Descripción del requerimiento:	Permite la descarga de la información en forma de grafica estadística de variable fisicoquímica.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> • RNF01 • RNF02
Prioridad del requerimiento: Alta	

7.2. ARQUITECTURA PARA EL SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA DE LOS CAÑOS Y LAGOS INTERNOS DEL DISTRITO DE CARTAGENA DE INDIAS.

7.2.1. Modelo de dominio

El modelo del dominio es la representación conceptual de todos los temas relacionados con el problema específico, en este se identifican los conceptos o entidades más relevantes del problema en conjunto con sus relaciones. En este caso su representación es la siguiente. El concepto *Sensor*, tiene como relación *monitoring* al concepto *WaterBody* este contiene como atributo *physicochemical Parameters*. Además, el concepto *Sensor* envía los datos recolectados a través de esa relación al concepto *Information*, y el concepto o entidad *Citizen* puede *observar* la información suministrada sobre el estado de los cuerpos de agua.

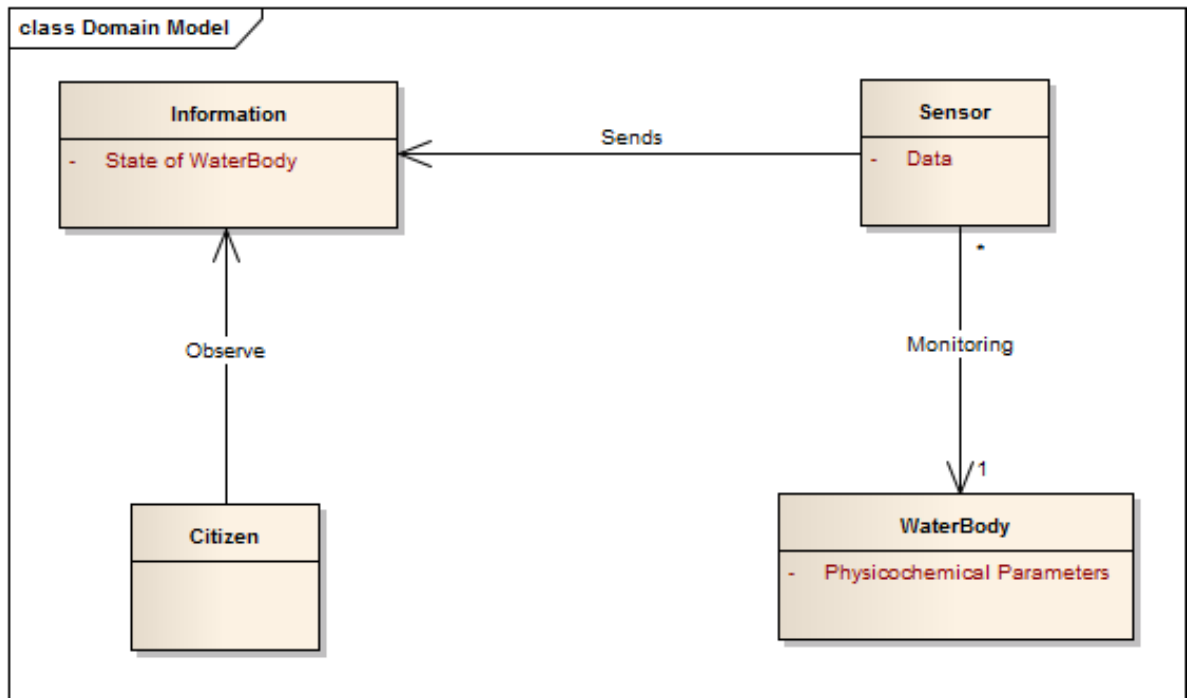


Figura 7. Modelo de Dominio.

El modelo de dominio también es representado por medio gráfico y está evidenciado como lo muestra la imagen siguiente, en esta se muestra el flujo de información que inicia en el *sensor* con la recolección de datos de *waterbody*, los cuales se envían a través de la nube a la plataforma para que *citizens* puedan observarla.

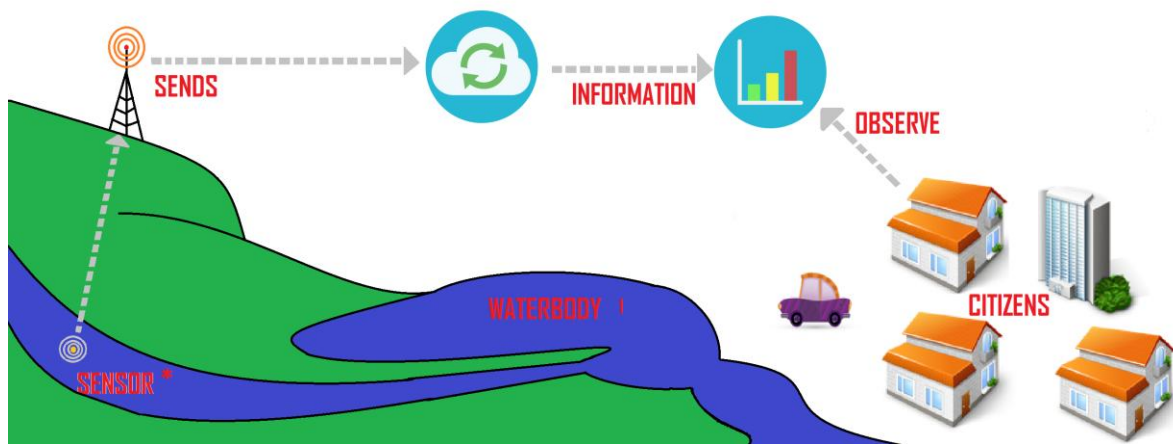


Figura 8. Modelo de dominio ilustración

7.2.2. Vista Lógica.

En esta vista se representa la funcionalidad que el sistema proporcionara a los *usuarios finales*. Es decir, se ha de representar lo que el sistema debe hacer, y las funciones y servicios que ofrece. Los diagramas que se utilizan para representar esta vista en el documento son los diagramas de componentes.

El sistema está dividido en varios paquetes (*Ver Figura 9*) entre los cuales y a muy bajo nivel se encuentra el paquete que lleva por nombre Sensor (Sensor)), que tienen dos componentes, el primero es Recolectar Información Variable Físicoquímica (Collect the

Physicochemical Variable Information) y el segundo es Enviar Información Variable Físicoquímica (Send Physicochemical Variable Information), que a su vez tienen relación o flujo de información con el componente Broker MQTT (Broker MQTT) que se encuentra en el paquete Servidor MQTT (MQTT Server). El componente anteriormente mencionado tiene flujo directo con el componente Registrar datos (Record Data) que se encuentra en la capa de acceso a datos (Data Access Layer).

Registrar datos (Record Data) tiene una relación directa con el componente Base de Datos (*DataBase*) que se encuentra en la capa de datos (*Data Layer*), aquí termina el proceso que va desde recolección de información a incluirlo en la base de datos (*Ver Figura 9*).

Otro de los paquetes es la capa de acceso a datos (Data Access Layer), la cual tiene tres componentes que son: Registrar datos (Record Data) que ya fue mencionado anteriormente, Leer datos (Read Data) que es el que se encarga de tomar los datos del componente Base de Datos (*DataBase*) por medio de una relación, y por último tenemos a Interpretar (Interpreter), el cual tiene un vínculo con el segundo componente de esta misma capa y también crea una relación con el componente analizador (*Analizer*), el cual se encuentra en una capa de un nivel más alto de abstracción que es la capa lógica del negocio (*Business Logical Layer*).

La capa lógica del negocio (*Business Logical Layer*) posee cuatro componentes que son: Visualizador (*Visualizer*), Generador (*Generator*), Conversor (*Converter*) y Analizador (*Analyzer*), en donde los tres primeros componentes mencionados tienen relación de flujo de información con el cuarto.

La capa de más alto nivel de abstracción es la capa de presentación (*Presentation Layer*), en ella encontramos varios componentes como lo son: Visualizar sensores (*Visualize Sensors*), que tiene un flujo de información con el componente Visualizar Información de Variable Físicoquímica (*Visualize Data of Physicochemical Variable*), otro componente de esta capa es Generar Gráfico Estadístico de Variable Físicoquímica (*Generate Statistical Graph of Physicochemical Variable*), que tiene flujo de información con Exportar Gráfico Estadístico de Variable Físicoquímica (*Statistical Graph of Export of the Physicochemical Variable*).

La relación que tiene la capa de presentación con la capa lógica del negocio es la siguiente: Los componentes Visualizar Sensores y Visualizar Información de Variable Físicoquímica están relacionados con flujos de información independiente con el componente visualizador (*Visualizer*). Los componentes Generar Gráfico Estadístico de Variable Físicoquímica y Exportar Gráfico Estadístico de Variable Físicoquímica de la capa presentación tienen relación con los componentes Generador y conversor respectivamente.

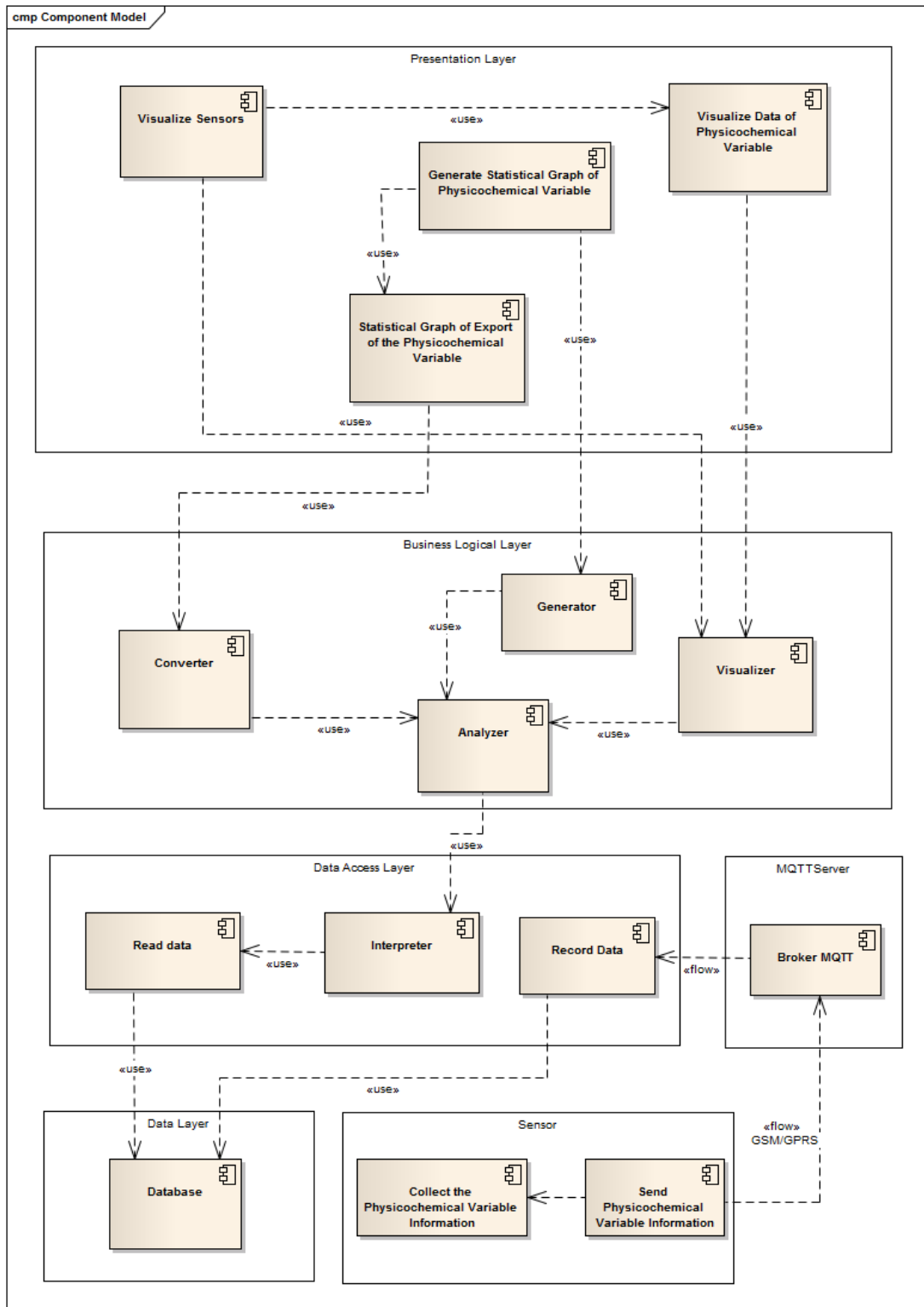


Figura 9. Diagrama de componentes

7.2.3. Vista de Desarrollo.

Kruchten (1995) citado por Moya Ricardovista (2012), menciona que esta vista muestra los elementos o componentes que integran el sistema y la dependencia que hay entre estos componentes.

El diagrama de paquetes del sistema está compuesto por cinco paquetes que son: Vista (*View*), Lógica (*Logic*), Acceso (*Access*), Broker MQTT (*BrokerMQTT*) y Sensor (*Sensor*). En el paquete vista (*View*) se tiene definidas cinco clases (*Ver Figura 10*), una de estas es MenúPrincipal (*MainMenu*) que está relacionada con Visualizar datos (*VisualizeData*), PáginaInicial (*HomePage*), ExportarDatos (*ExportData*), GenerarGraficos (*GenerateGraph*) y por último IniciarSesion (*Login*).

El paquete Sensor (*Sensor*) tiene cuatro clases definidas que son: RecolectarDatos (*CollectData*) que tiene como atributo estado (*state*) y como método MedirEstado (*MeasureState*), esta clase tiene relación con la clase EnviarDatos (*SendData*), que tiene método EnviarInformación (*SendInformation*) y se relaciona con la clase ConexionMQTT (*MQTTConnection*), ConexionMQTT tiene tres atributos los cuales son Contraseña (*password*), ServidorMQTT (*MQTTServer*) y Usuario (*user*), todos estos de tipo carácter. En este mismo paquete encontramos a la clase RecibirDatos (*ReceiveData*) que tiene relación con ConexionMQTT (*MQTTConnection*) que ya se ha mencionado anteriormente.

El paquete Broker MQTT (*BrokerMQTT*) tiene cinco clases definidas ValidaCliente (*ValidateClient*) y ValidaConexion (*ValidateConnection*), las cuales tienen relacion entre ellas. Otra clase que se encuentra en este paquete es ValidarCredenciales (*ValidateCredentials*) que tiene relación con EnviarDatos (*SendData*) y RecibirDatos (*ReceiveData*).

El paquete Acceso (*Access*) posee una sola clases que es BaseDatos (*DataBase*) que tiene dos métodos que son : Abrir (*Open*) y Guardar (*Save*).

Por último y no menos importante tenemos el paquete Lógica (*Logic*) el cual posee once clases que son CuerpoAgua (*WaterBody*), esta clase posee tres atributos, estado (*state*), nombre (*name*) y ubicación (*location*). Tenemos otra clase llamada GenerarAlarma (*GenerateAlarm*) que tiene relación con la clase anteriormente mencionada y posee un método llamado igual que la clase.

En este mismo paquete tenemos la clase ExportarGrafica (*ExportGraph*) que tiene el método Exportar (*Export*) y se relaciona con la clase GenerarGrafica (*GenerateGraph*), GenerarGrafica (*GenerateGraph*) tiene atributo *grap* (*grap*) y el método Generar (*Generate*) que se relaciona con la clase CuerpoAgua (*WaterBody*) mencionada anteriormente. ValidarCredenciales (*ValidateCredentials*) es otra clase incluida en este mismo paquete y tiene el método VCredenciales (*Vcredentials*) y se relaciona con la clase Leer (*Read*) que también tiene relación con CuerpoAgua (*WaterBody*).

La clase ConexionMQTT (*MQTTConnection*) tiene tres atributos (*Ver Figura 9*), contraseña (*password*), servidorMQTT (*MQTTServer*) y usuario (*user*), también posee un método llamado Conectar (*Connect*), además tiene una relación con la clase EnviarDatos (*SendData*), esta posee un método llamado EnviarInformacion (*SendInformation*). La clase ConexionMQTT (*MQTTConnection*) también tiene relacion con la clase RecibirDatos (*ReceiveData*), que a su vez tiene relación con la clase Escribir (*Write*), esta posee el atributo estado (*state*) y el método escribir (*write*), la clase Escribir (*Write*) tiene relación con la clase BaseDato (*DataBase*) mencionada anteriormente. Por ultimo tenemos la clase MedirEstadoCuerpoAgua (*MeasureWaterBody*) y tiene el atributo cuerpoAgua (*waterBody*).

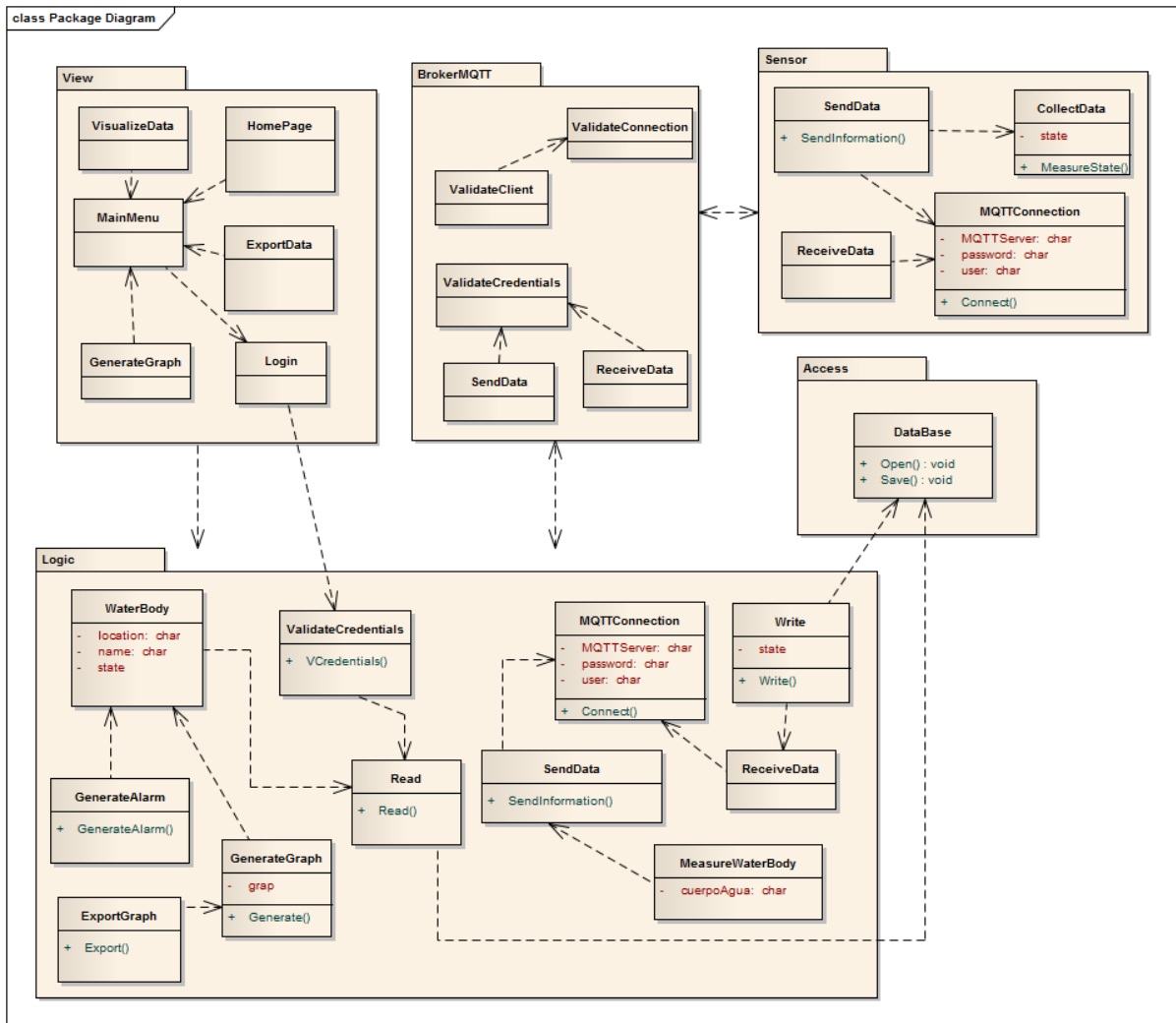


Figura 10. Diagrama de paquets.

7.2.4. Vista de Escenarios.

Esta vista representa la interacción de los actores con las funcionalidades del sistema de acuerdo con lo establecido en las vistas anteriormente mencionadas. La vista de escenarios (*Ver Figura 11*) muestra la relación entre el actor primario (*Administrator*) con los casos de uso; *Generate alerts*, *Collect the Physicochemical Variable information*, *Generate Statistical Graph of Physicochemical Variable* y *Statistical Graph of Export of the Physicochemical Variable*. El actor secundario (*citizen*) solo interactúa con *Visualize Data of Physicochemical Variable*, *Generate Statistical Graph of Physicochemical Variable* y *Statistical Graph of Export of the Physicochemical Variable*.

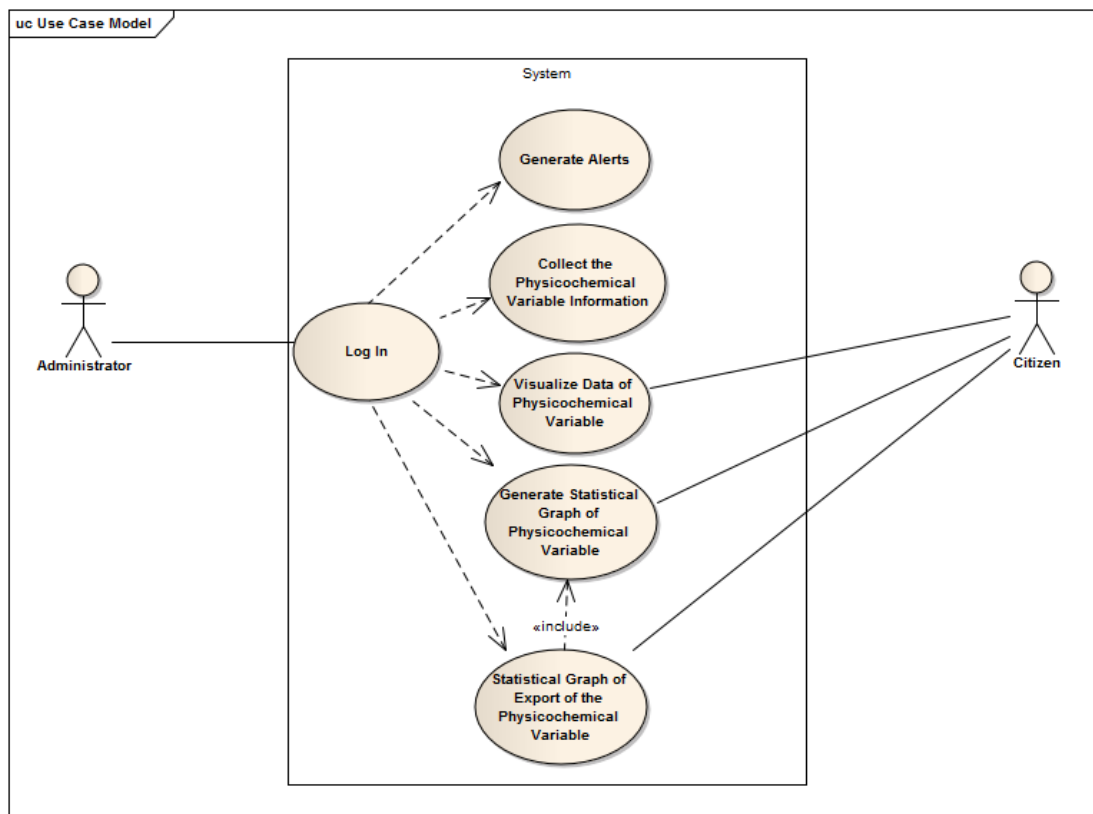


Figura 11. Diagrama de casos de usos.

7.2.5. Vista de Procesos.

Kruchten (1995) citado por Moya Ricardovista (2012), menciona que la vista de procesos se muestran los procesos que hay en el sistema y la forma en la que se comunican estos procesos, es decir, el flujo de trabajo paso a paso de negocio y operacionales de los componentes que conforman el sistema.

Esta vista es representada a través del diagrama de flujo (Ver Figura 12), el cual empieza con la medición que hace el sensor en cuanto a la variable físico-química que corresponde (*Sensor Measure Physicochemical Variable*), obteniendo varios datos, luego estos datos a través del protocolo MQTT se envían a un Broker (*MQTT Broker Sensor Data*) que a su vez de envían a los clientes o suscriptores de dicho Broker (*MQTT Broker Data from Sensors to Subscribers*), se interpretan todos los datos recolectados por el sensor (*Interpreting Data from Sensors*), puesto que la recolección de los mismos tiene un periodicidad establecida, para posteriormente obtener una base de información (*Information Base*) que brinda una serie de funciones o *activities* que son escogidas por los actores mencionados anteriormente, las cuales son; ***Generate alerts***, ***Visualize Physicochemical Variable information***, ***Generate Statistical Graph of Physicochemical*** y ***Statistical Graph of Export of the Physicochemical Variable***.

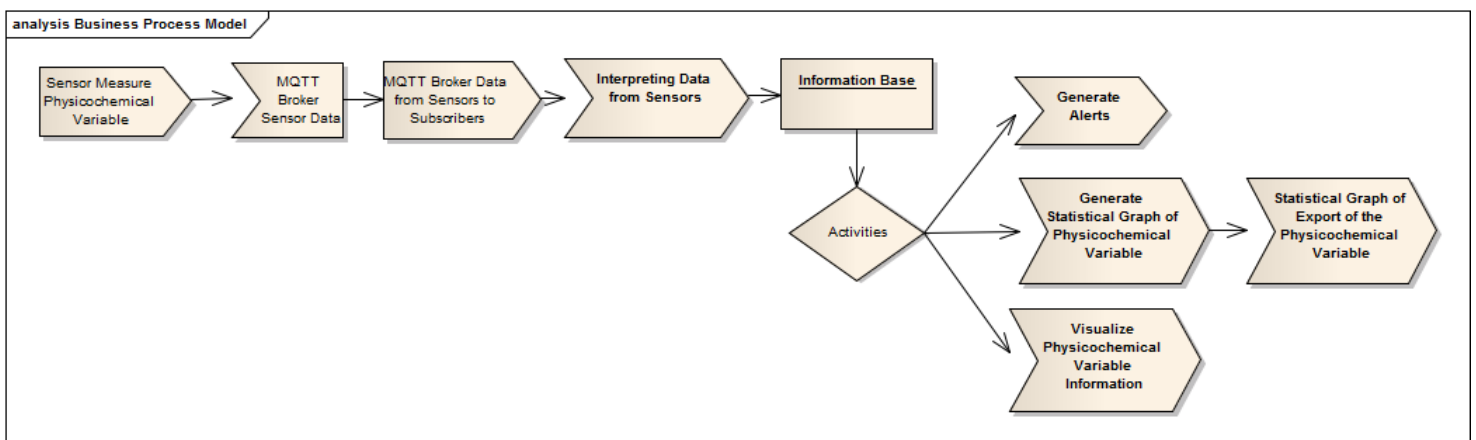


Figura 12. Diagrama de flujo.

7.2.5.1. Diagrama actividades caso de uso generar alertas.

La actividad generar alertas (*Ver Figura 13*) inicia con Seleccionar la información (*select information*) por parte de administrador (*administrator*) que posteriormente se va a verificar o comparar con tablas que están en base de información, estas tienen datos que se toman como referencia para decidir si se genera la alerta (*generate una alert*), si esta se da se envía la alerta a las entidades de control (*Send alert to control entities*) terminando así la actividad.

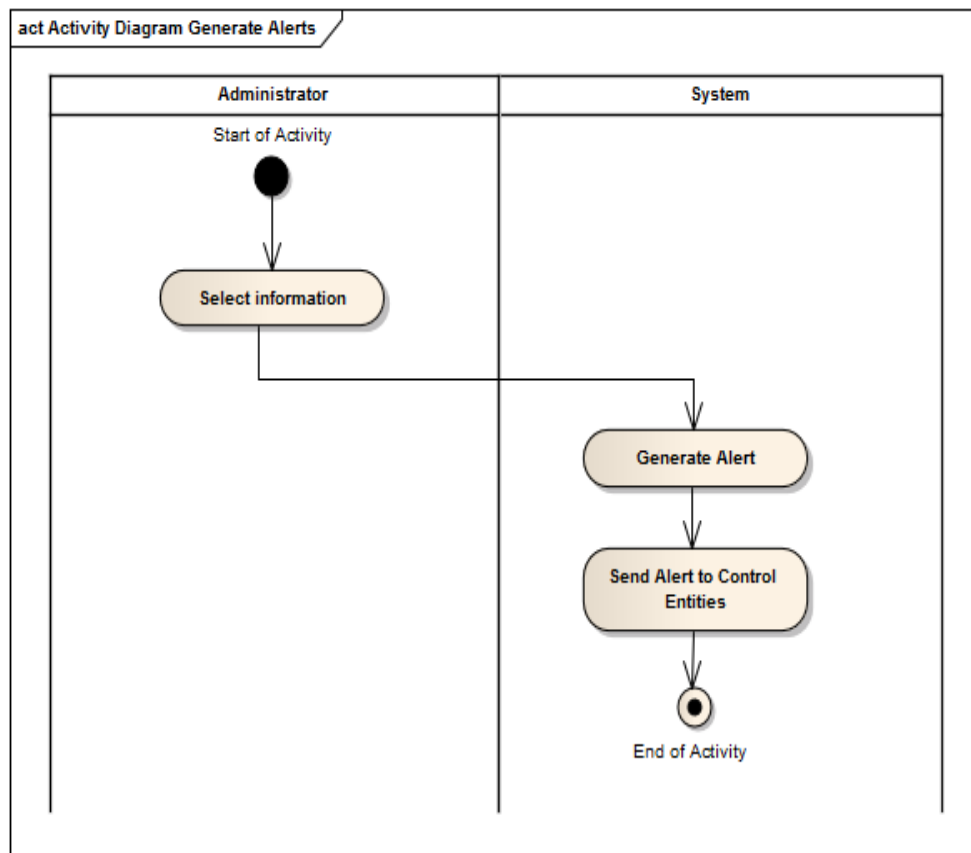


Figura 13. Diagrama de actividades, Generar alertas

7.2.5.2. Diagrama actividades caso de uso exportar gráficas.

La actividad exportar gráficas (*Ver Figura 14*) inicia con seleccionar información (*select information*) por parte del administrador (*administrator*) que posteriormente se va a verificar o comparar con tablas que están en base de datos, esta información se utiliza para generar un gráfico estadístico de la variable físico-química (*Generate Statistical Graph of Physicochemical Variable*), la cual tendrá la opción de exportar un gráfico estadístico (*Export Statistical Graph of the Physicochemical Variable*), el Sistema (*System*) realizará la actividad de convertir la gráfica a formato de imagen JPG (*Converts to JPG format*) y el usuario tendrá acceso a la imagen con facilidad concluyendo así la actividad (*Send JPG file to User*).

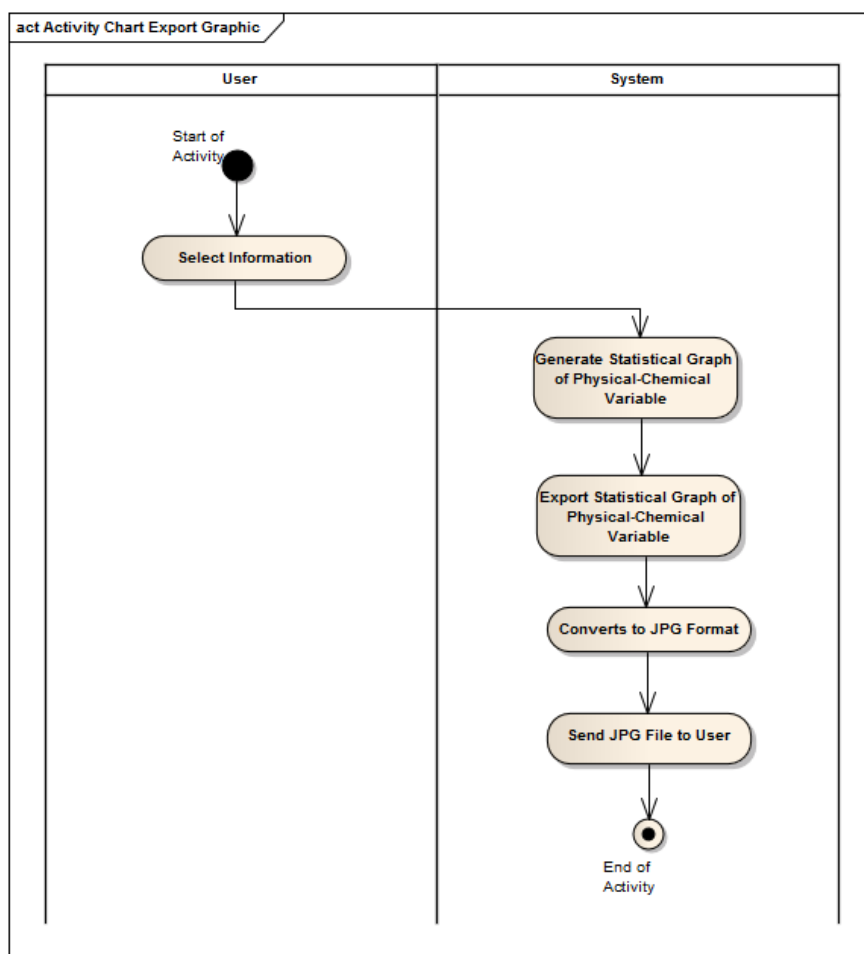


Figura 14. Diagrama de actividades, Exportar gráficas

7.2.5.3. Diagrama actividades caso de uso generar gráficas

La actividad generar gráficas (*Ver Figura 15*) inicia con seleccionar información (*select information*) por parte del usuario (*User*) que posteriormente se va a verificar o comparar con las tablas que están guardadas en base de datos, esta información se utiliza para generar un gráfico estadístico de la variable físicoquímica (*Generate Statistical Graph of Physicochemical Variable*), posteriormente se realiza la actividad de Convertir información de variables en gráfico estadístico (*Convert Variable Information into Statistical Graph*), terminando con la actividad de mostrar al usuario el gráfico estadístico (*Show Statistical Graph to User*).

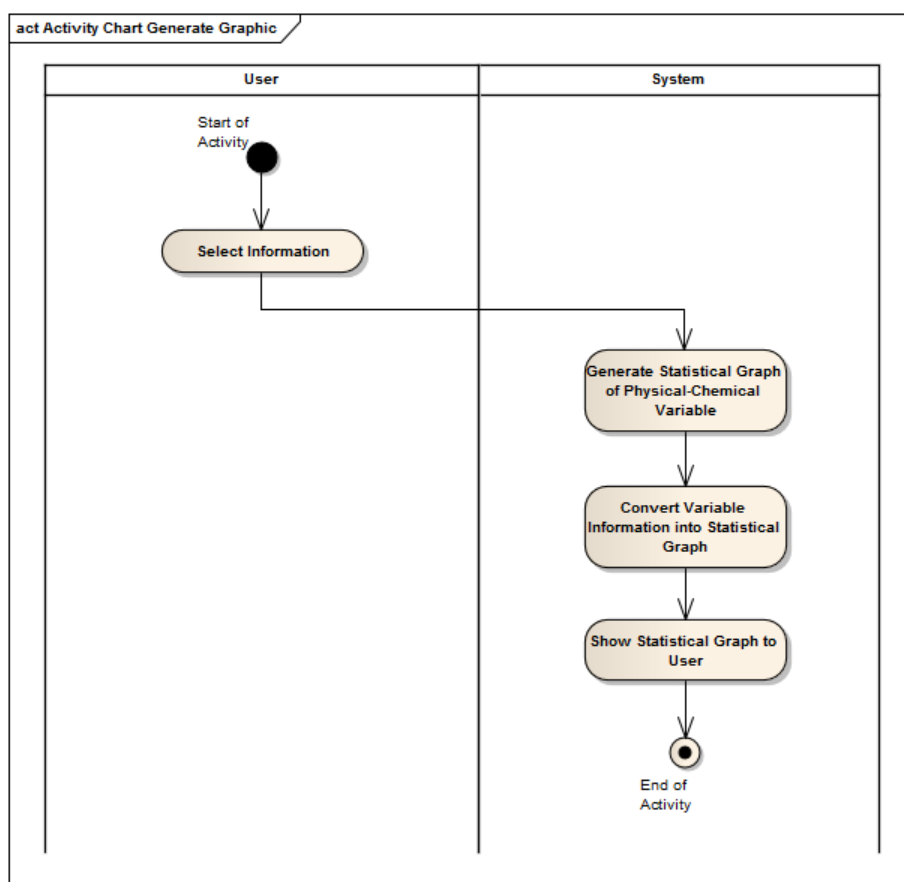


Figura 15. Diagrama de actividades, Generar gráficas

7.2.5.4. Diagrama actividades caso de uso recolección de información

La actividad inicia con recolectar información de la variable físico-química (*Collect Variable Physical-Chemical Information*) (Ver Figura 16), por parte del sensor (*sensor*), que posteriormente enviará esa información (*Send Physical-Chemical Variable Information*) por medio de protocolo MQTT a un Broker MQTT (*Receives data from the sensors*), este bróker recibe la información y a su vez envía los datos a los clientes o suscriptores (*Send data to the subscriber*) en este caso es el sistema (*system*), interpreta la información (*Interpreting Information*) y la almacena en una base de datos o base de información. (*Information Base*), dando por terminada la actividad.

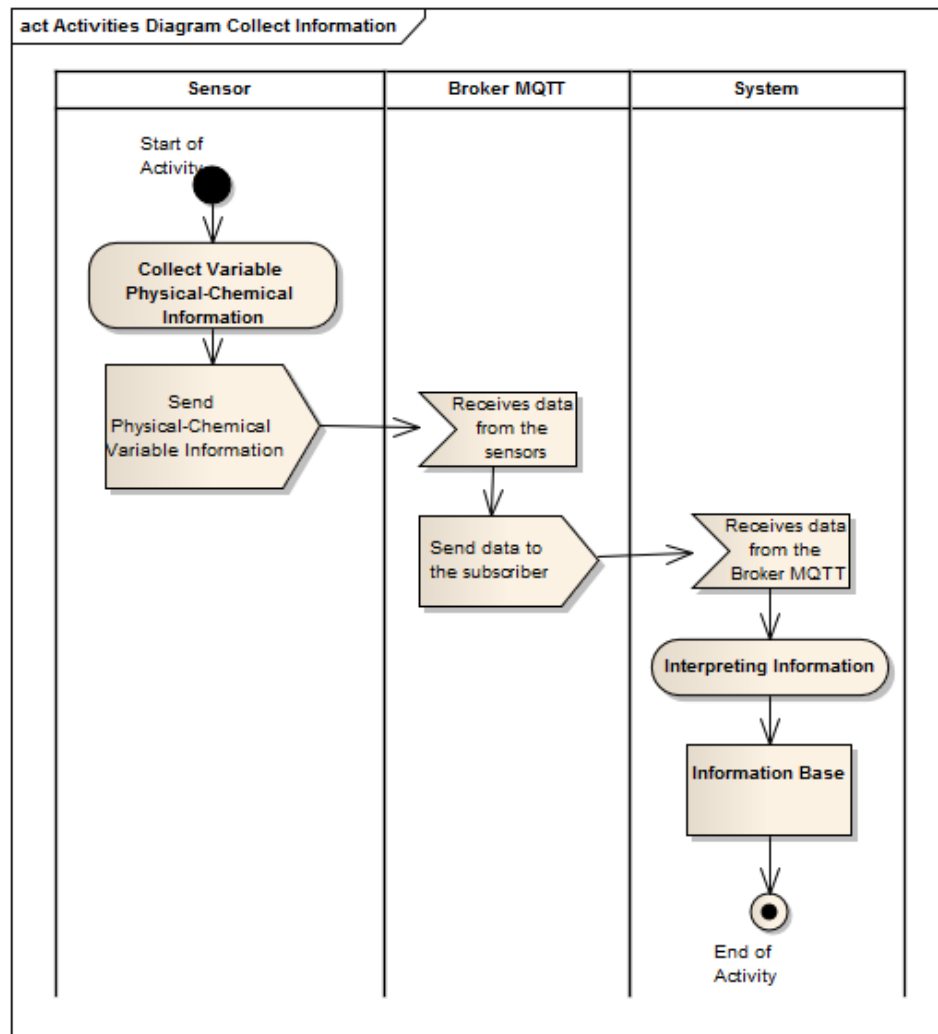


Figura 16. Diagrama de actividades, Recolección de información.

7.2.5.5. Diagrama actividades caso de uso visualizar información

La actividad visualizar información (*Ver Figura 17*) inicia con abrir página web (*Open web page*) por parte del usuario (*User*), seleccionando la información de la variable físico-química a observar, el sistema (*system*) seleccionar información de variables físico-químicas pedida por el usuario (*Select Physical-Chemical Variable Information*), luego el sistema (*system*) envía la información de variables físico-químicas (*Send Physico-Chemical Variable Information*), para finalizar se visualiza la información requerida por parte del usuario (*View Physico-Chemical Variable Information*).

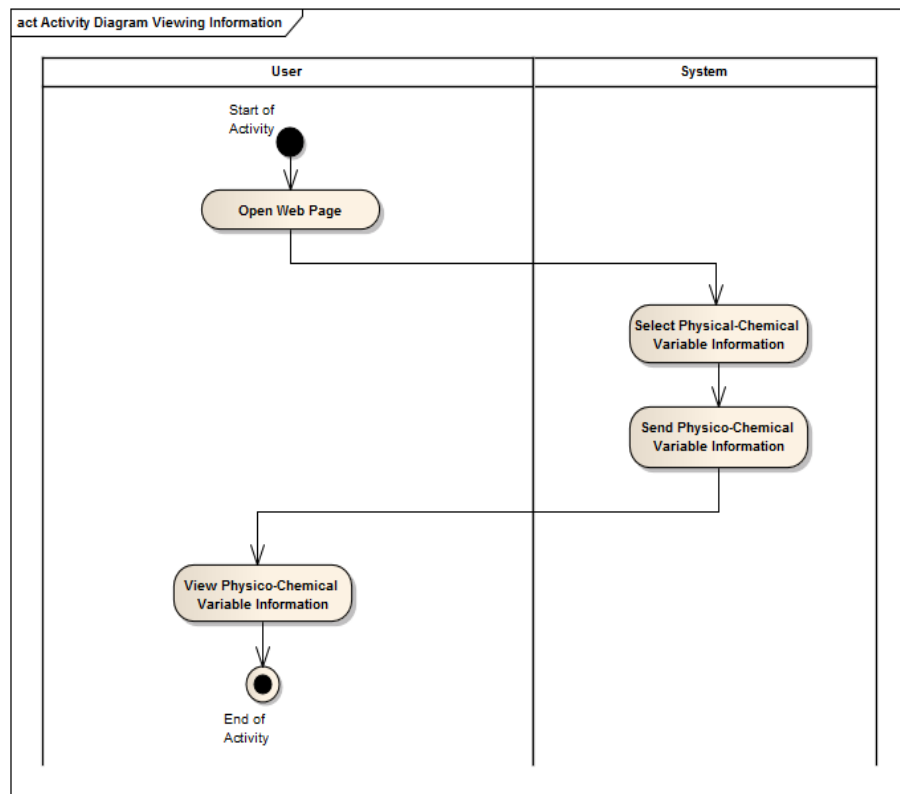


Figura 17. Diagrama de actividades, Visualizar información.

7.2.6. Vista Física

Esta vista se encarga de representar los principales subsistemas y dar solución a los requisitos no funcionales del sistema. En esta vista se muestra (Ver Figura 18) componentes hardware y de software, estos elementos son, dispositivo móvil (*mobile*) y computador (*PC*), en los cuales se podrá ingresar a la plataforma por medio del navegador web (*browser*) de preferencia para ver la información de la variable físico-química que requiera, sensor (*sensor*) que recolecta los datos y por medio del protocolo MQTT (*MQTT Service*) los envía a un Broker (*Broker MQTT*), este broker tiene flujo de información con un servidor web, este servidor (*web service*) gestiona la información de todos los procesos requeridos por el sistema creando un puente de acceso a él por medio del dispositivo móvil o el computador, también realiza la misma acción con el servidor de base de datos (*Database server*) en donde esta almacenada toda la información recolectada por el sensor (*sensors*).

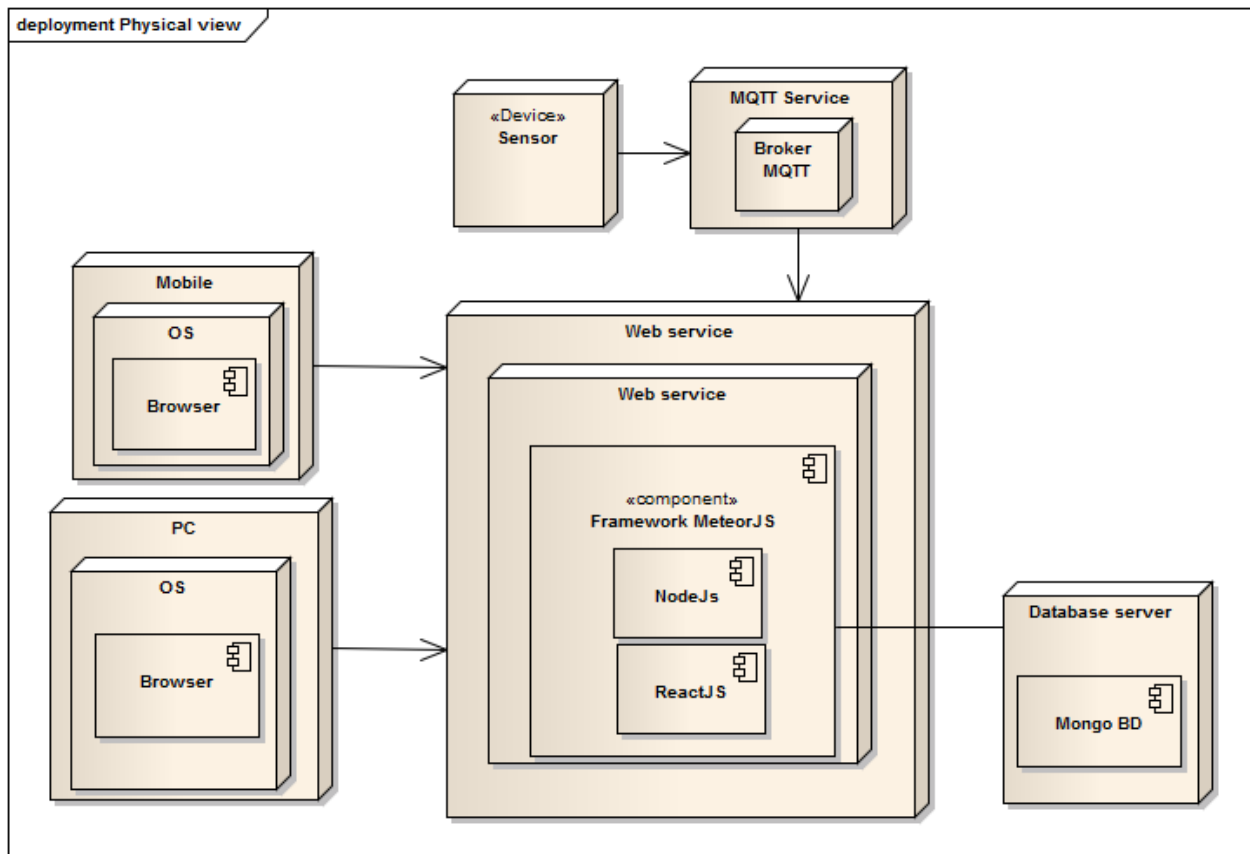


Figura 18. Diagrama de despliegue.

7.3. PERFIL OPERATIVO DEL SISTEMA DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA DE CAÑOS Y LAGOS INTERNOS DEL DISTRITO DE CARTAGENA DE INDIAS.

Un perfil operativo es un aspecto particular de un objeto o cosa que se encuentra en funcionamiento, en este caso el perfil operativo que se realizó para el sistema de monitoreo de calidad de agua de caños y lagos internos del distrito de Cartagena de Indias es con la finalidad de verificar la operatividad de un segmento de la arquitectura mencionada anteriormente.

Para tener en cuenta se realizó una síntesis de los casos de usos mostrados anteriormente y para identificar los componentes desarrollados en el perfil operativo. De acuerdo con diagrama de casos de uso (Ver Figura 11) y siguiendo con la arquitectura general, este posee dos actores que son el Administrador (*Administrator*) y el ciudadano (*citizen*), el primer actor interactúa con los casos de uso; Recolectar Información Variable FísicoQuímica (*Collect the Physicochemical Variable information*), Generar Gráfico Estadístico de Variable FísicoQuímica (*Generate Statistical Graph of Physicochemical Variable*) y Visualizar Información de Variables FísicoQuímicas (*Visualize Data of Physicochemical Variable*).

El actor secundario (*citizen*) solo interactúa con Visualizar Información de Variables FísicoQuímicas (*Visualize Data of Physicochemical Variable*) y Generar Gráfico Estadístico de Variable FísicoQuímica (*Generate Statistical Graph of Physicochemical Variable*). (Ver Figura 19)

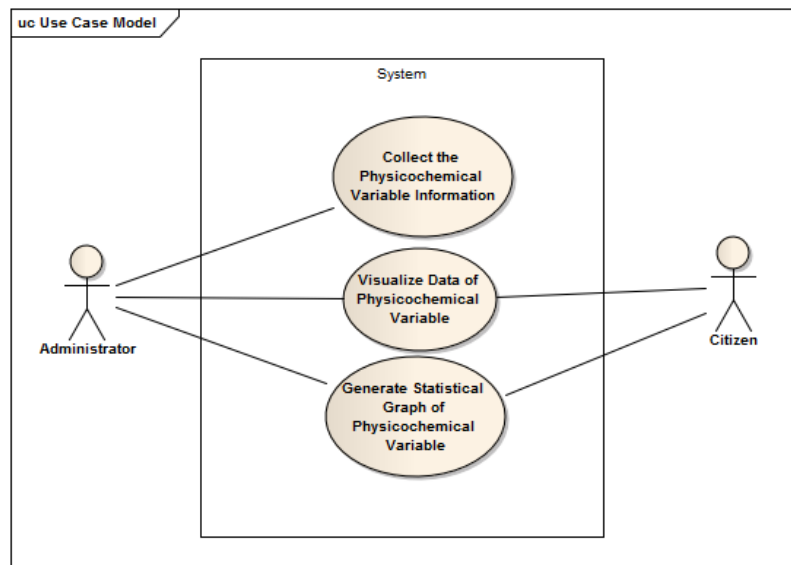


Figura 19. Diagrama de casos de uso perfil operativo.

Teniendo en cuenta la vista de procesos en el diagrama de flujo (*Ver Figura 12*), el proceso se inicia con la medición de variable fisicoquímica a través del sensor, este se puede ver evidenciado en diagrama de casos de uso (*Ver Figura 11*), atendiendo el requerimiento funcional medir variable (*Ver Tabla 7*). Para esta actividad se utilizó la tecnología ARDUINO, la cual posee componentes hardware y componentes software, en el componente hardware se utilizaron los siguientes elementos: Sensor de PH (*Ver Figura 21, numeral 5*), sensor de temperatura (*Ver Figura 21, numeral 1*), una placa GSM/GPRS SHIELD (*Ver Figura 21, numeral 4*) y por último tenemos el ARDUINO Uno R3 MEGA328P (*Ver Figura 21, numeral 3*). Los sensores son los que inician el proceso de recolección de variables fisicoquímicas, estos están conectados al ARDUINO UNO R3 (*Ver Figura 20*). El componente software que se utilizó para la programación de la placa ARDUINO es el entorno de desarrollo libre de la misma placa.

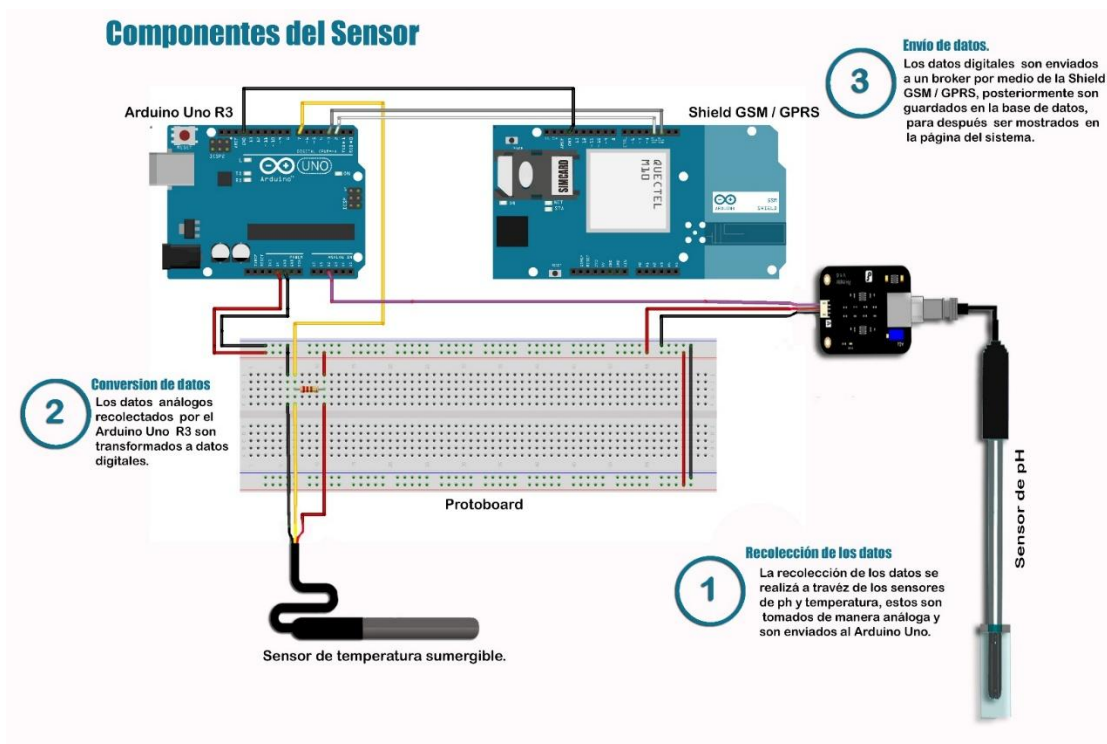


Figura 20. Componentes del sensor.

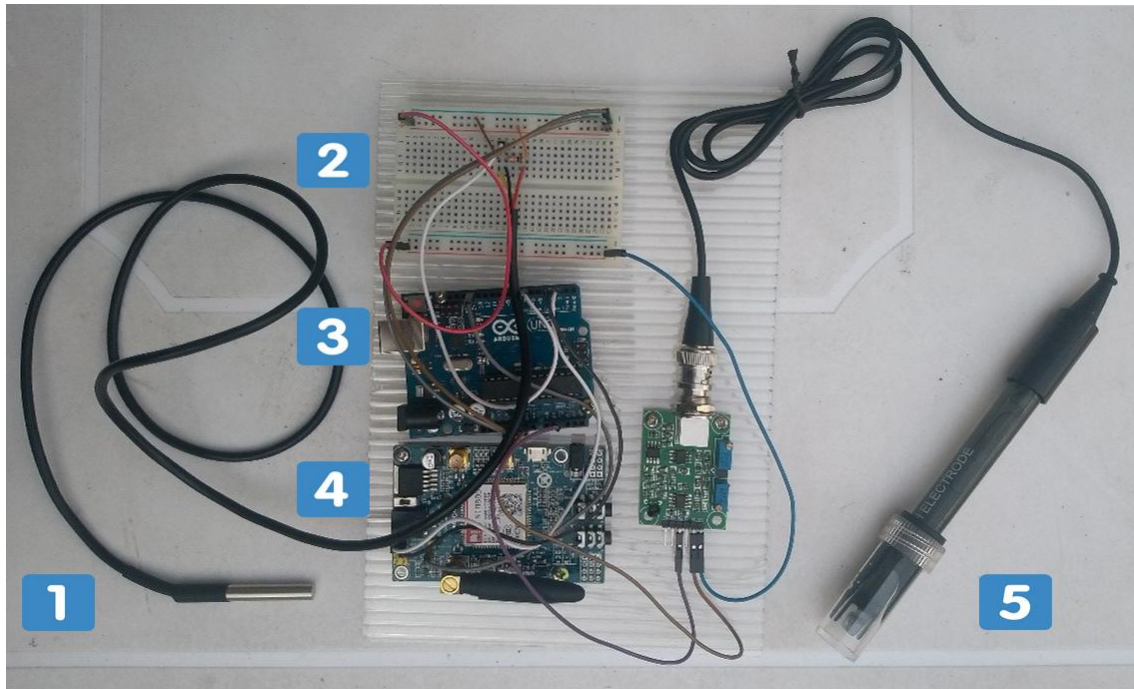


Figura 21. Componentes físicos del sensor.

Siguiendo el flujo de información las variables fisicoquímicas medidas por el sensor se envían a un servidor MQTT (Ver Figura 22) por medio de la placa GSM/GPRS SHIELD, que para aspectos requeridos por el perfil operativo, se utilizó cloudMQTT (84Codes), este servidor posee un Broker MQTT (Ver Figura 12), el cual funciona como intermediario entre los datos recibidos por el sensor y los suscriptores. Este procedimiento se puede ver evidenciado en Diagrama de componentes (Ver Figura 9) en el cual la capa de sensor se comunica con el flujo de información a la capa MQTTServer, además en la vista física en el diagrama de despliegue (Ver Figura 18) se tiene la relación entre el artefacto Sensor y el Servicio MQTT y dentro de este posee un Broker MQTT.

Proceso de recolección, procesamiento y visualización de datos

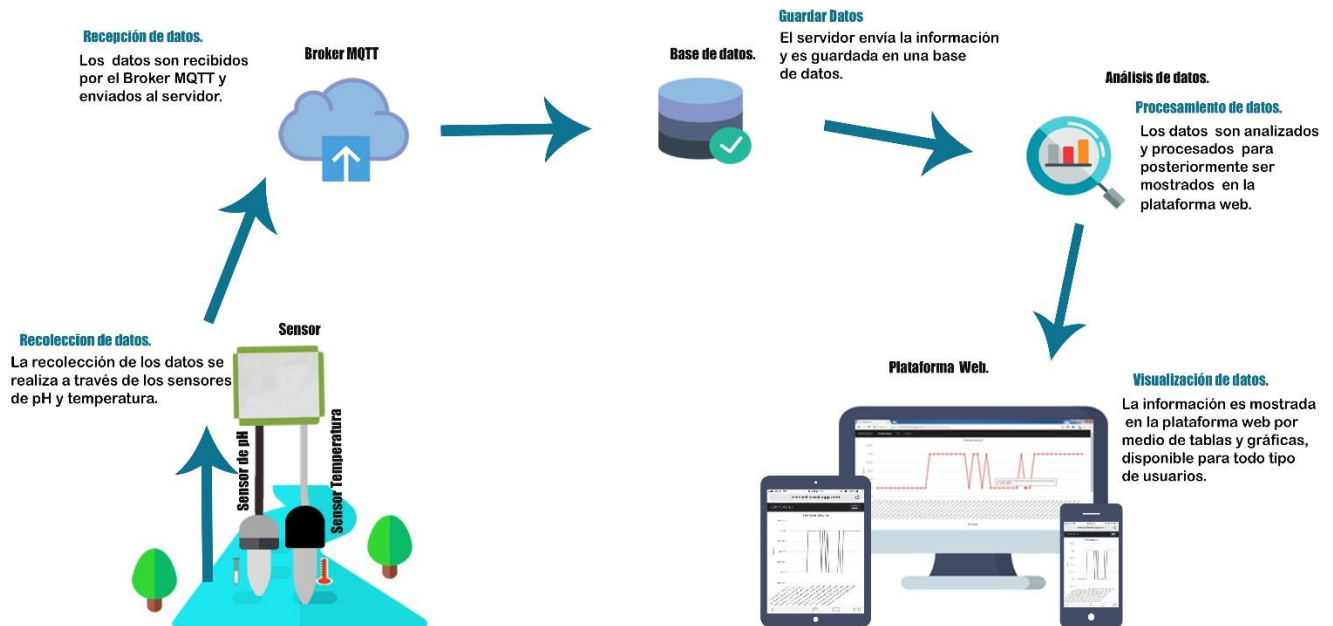
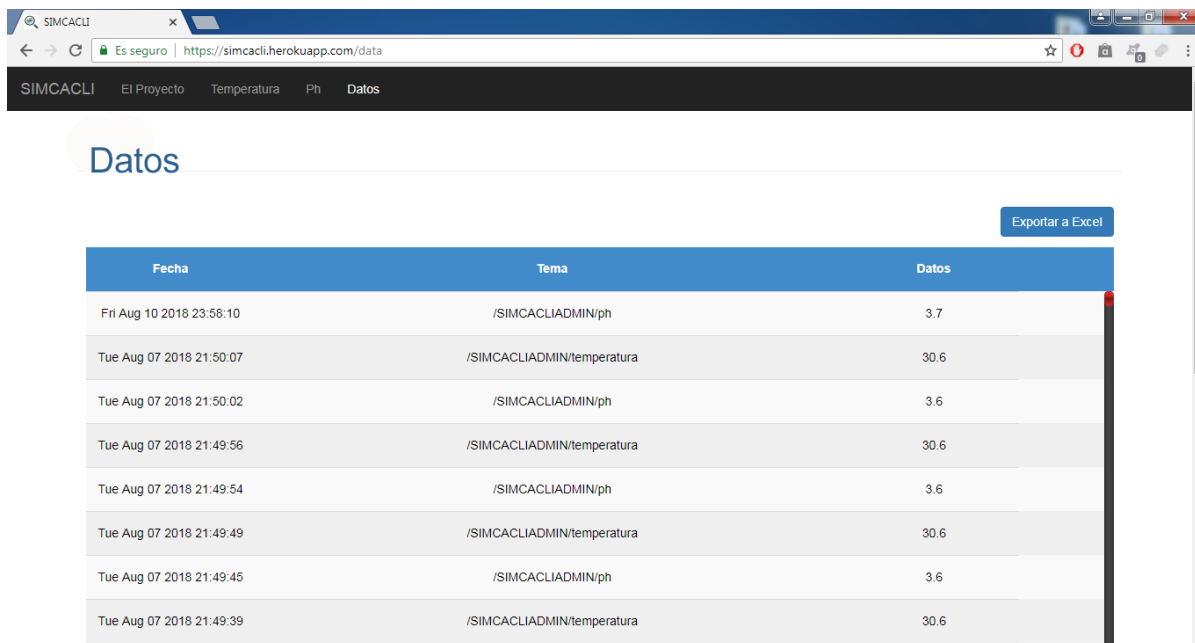


Figura 22. Proceso de recolección, procesamiento y visualización de datos

Luego el flujo de información muestra que los datos recolectados por los sensores son interpretados, todo este procedimiento se hace para tener un margen de error mínimo. Esta actividad se puede ver evidenciada en el diagrama de componentes, en la capa de acceso a los datos (*Ver Figura 9*).

Después que los datos son interpretados, estos son guardados en una base de datos. La tecnología utilizada para el desarrollo de esta base de datos fue MongoDB (MongoDB, Inc.), el cual pertenece a un framework llamado MeteorJS (Meteor Development Group), La información guardada en la base de datos conforman una base de información que se toma para realizar ciertas actividades específicas, una de ellas es visualizar todos los datos recolectados por los sensores (*Ver figura 23*) y la segunda es generar gráfico estadístico de los datos recolectados por los sensores (*Ver figura 24*). Estas funciones son utilizadas por medio de una plataforma web llamada SIMCACLI (Quintana Fajardo, Rodriguez Ribon, & Sarabia Caffroni), construida y desarrollada con las tecnologías del framework mencionado anteriormente, y se puede evidenciar ingresando a la ruta <https://simcacli.herokuapp.com/>.

Para utilizar la función visualizar todos los datos recolectados por los sensores se debe ingresar a la plataforma en la ruta <https://simcacli.herokuapp.com/> y seleccionar la opción *Datos* que se encuentra en el menú, esta muestra una tabla que inicialmente muestra los últimos datos recolectados. Además, los datos pueden ser exportados a un archivo Excel, presionando el botón *Exportar a Excel* que se encuentra en la parte superior derecha (Ver figura 23).



Fecha	Tema	Datos
Fri Aug 10 2018 23:58:10	/SIMCACLIADMIN/ph	3.7
Tue Aug 07 2018 21:50:07	/SIMCACLIADMIN/temperatura	30.6
Tue Aug 07 2018 21:50:02	/SIMCACLIADMIN/ph	3.6
Tue Aug 07 2018 21:49:56	/SIMCACLIADMIN/temperatura	30.6
Tue Aug 07 2018 21:49:54	/SIMCACLIADMIN/ph	3.6
Tue Aug 07 2018 21:49:49	/SIMCACLIADMIN/temperatura	30.6
Tue Aug 07 2018 21:49:45	/SIMCACLIADMIN/ph	3.6
Tue Aug 07 2018 21:49:39	/SIMCACLIADMIN/temperatura	30.6

Figura 23.Tabla de datos recolectados por sistema SIMCACLI.

Para utilizar la función generar gráfico estadístico de los datos recolectados por los sensores se debe ingresar a la plataforma en la ruta <https://simcacli.herokuapp.com/> y seleccionar la opción *Temperatura* (Ver figura 24) o *Ph* (Ver figura 25) que se encuentra en el menú, esta opción muestra la consolidación de los últimos datos recolectados.

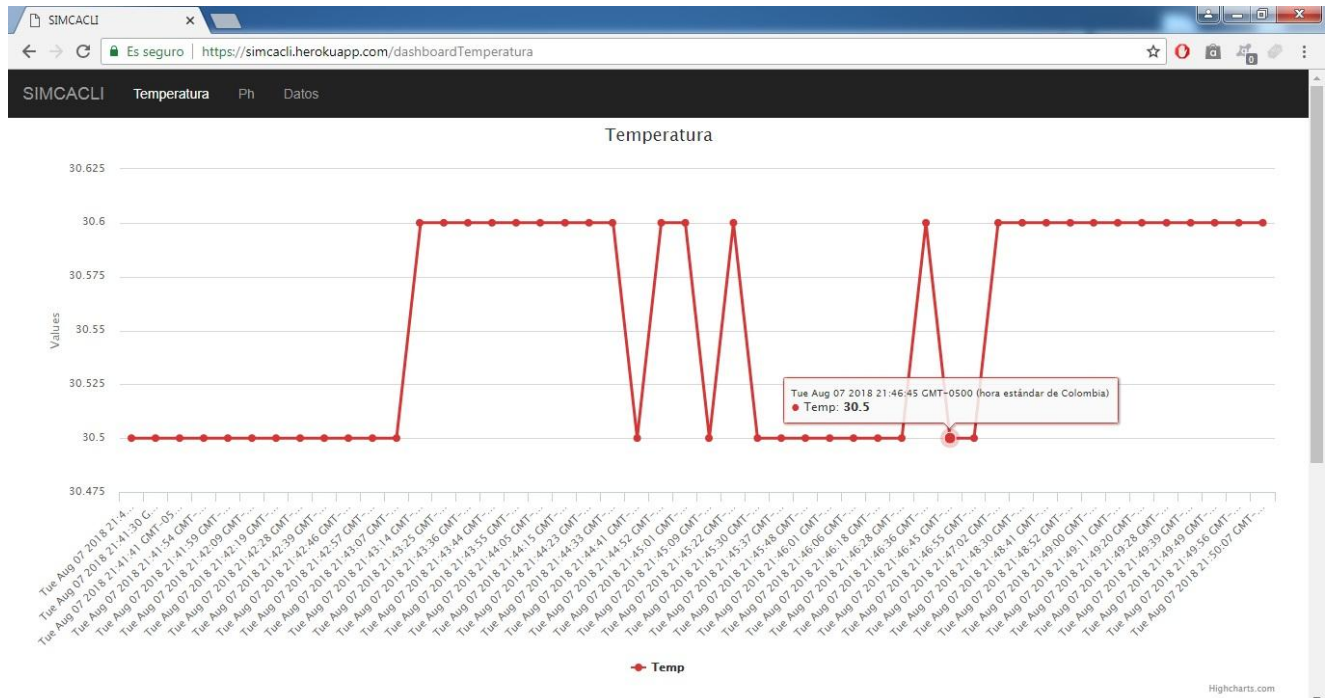


Figura 24. Gráfica de Temperatura SIMCACLI.

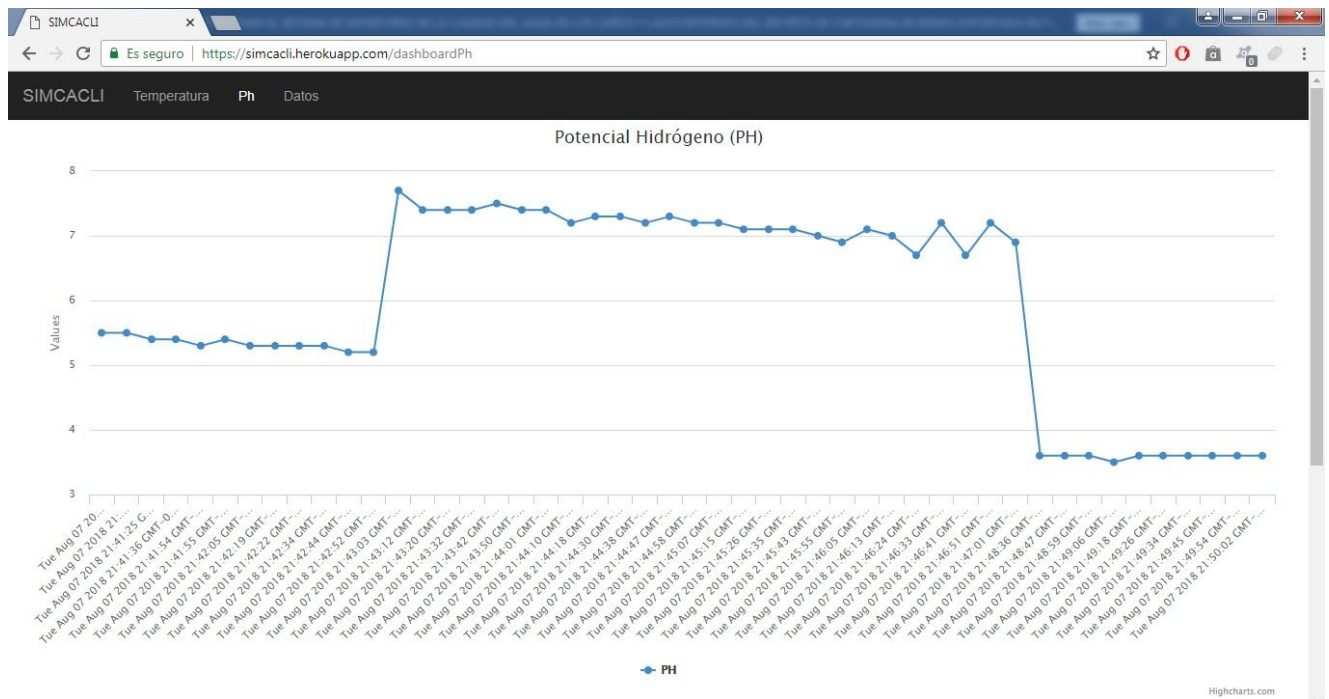


Figura 25. Gráfica de pH SIMCACLI.

Por otro lado, donde inicia el proceso de recolección, el sensor, posee un recubrimiento en la parte exterior para la protección de los elementos electrónicos, este recubrimiento es una estructura diseñada en este proyecto en forma rectangular con una capa gruesa de policarbonato. Además, posee en sus partes laterales una envoltura de espuma de polietileno, evitando que se hunda en el caño el sensor. (Ver figura 26).



Figura 26. Sensor parte externa.

7.4. PILOTO FUNCIONAL DEL SISTEMA DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA DE CAÑOS Y LAGOS INTERNOS DEL DISTRITO DE CARTAGENA DE INDIAS.

Para evidenciar el funcionamiento del piloto funcional del sistema de monitoreo de la calidad de agua de caños y lagos internos del distrito de Cartagena de indias se realizaron dos casos de estudio, cada uno con especificaciones y contextos diferentes, en donde se hizo la comparación de datos recolectados con respecto a datos normales en el contexto seleccionado, los casos o pruebas realizadas son los siguientes.

7.4.1. Caso uno prueba controlada del piloto funcional.

La prueba controlada se realizó en una piscina, teniendo en cuenta elementos importantes del contexto, en el cual se estableció un procedimiento del inicio de esta (Ver tabla 9), se verificó que no existiese personal humano en la piscina, se revisó la

conectividad de los componentes electrónicos y eléctricos que conforman el sensor. Posteriormente se ingresó al agua el dispositivo por un periodo de tiempo de treinta minutos y se comprobó el cargue de datos a la plataforma <https://simcacli.herokuapp.com/>. Los datos obtenidos sensor de temperatura tiene un promedio de 28.7°C (*Ver figura 27*) y los datos del sensor de pH tiene un promedio de 6.5 (*Ver figura 28*).

Tabla 9: Protocolo de prueba 1.

Prueba 1:	Funcionamiento sensor de temperatura y de pH.		
Tipo de prueba	Tomar datos a través de los sensores.		
Ubicación:	Piscina.		
Fecha:	21 de junio de 2018		
Hora inicio:	10: 40 pm	Hora fin:	11:10pm
Procedimiento:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Establecer el inicio de la prueba 2. Verificar que no este personal humano en el sitio de prueba. 3. Energizar el equipo o los equipos necesarios para la prueba. 4. Verificar si el sensor se encuentra energizado 5. Verificar si los sensores están calibrados. 6. Ingresar el sensor en el agua. 7. Verificar el funcionamiento. 8. Verificar que los datos se visualicen en la plataforma. 		
Datos adicionales:	Prueba controlada en una piscina libre de personal humano.		

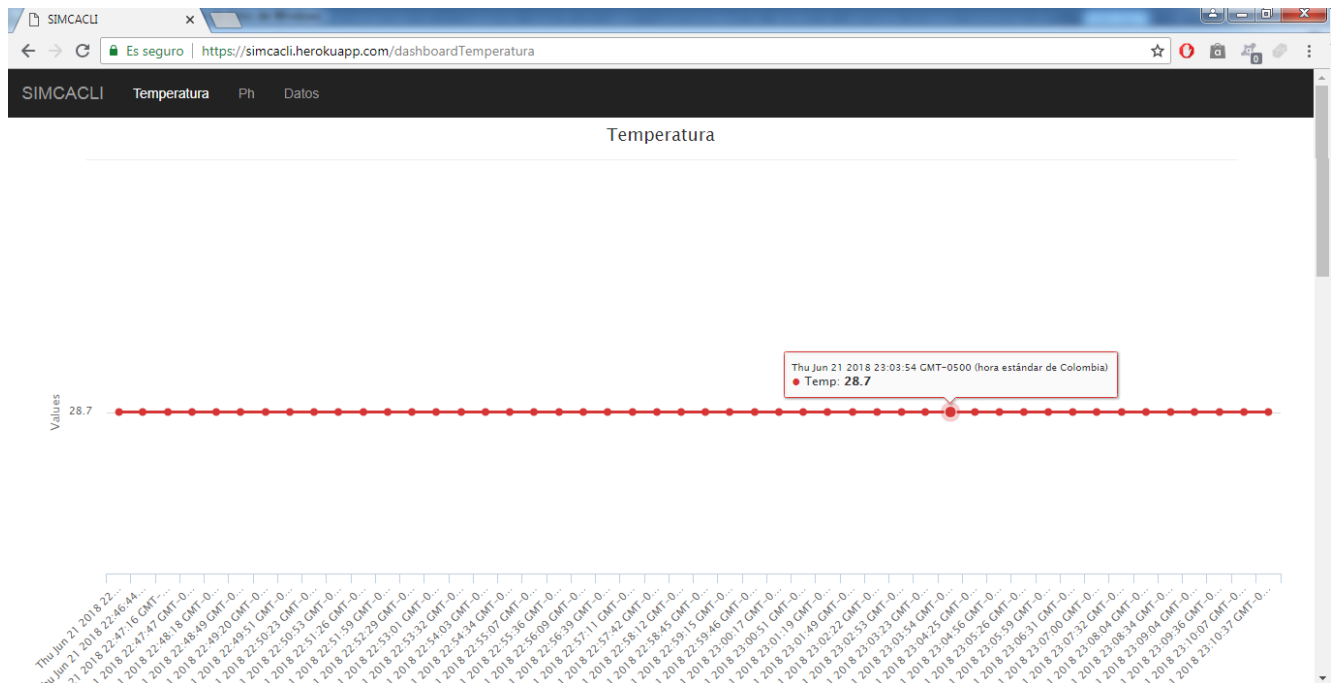


Figura 27. Datos de sensor de temperatura prueba controlada

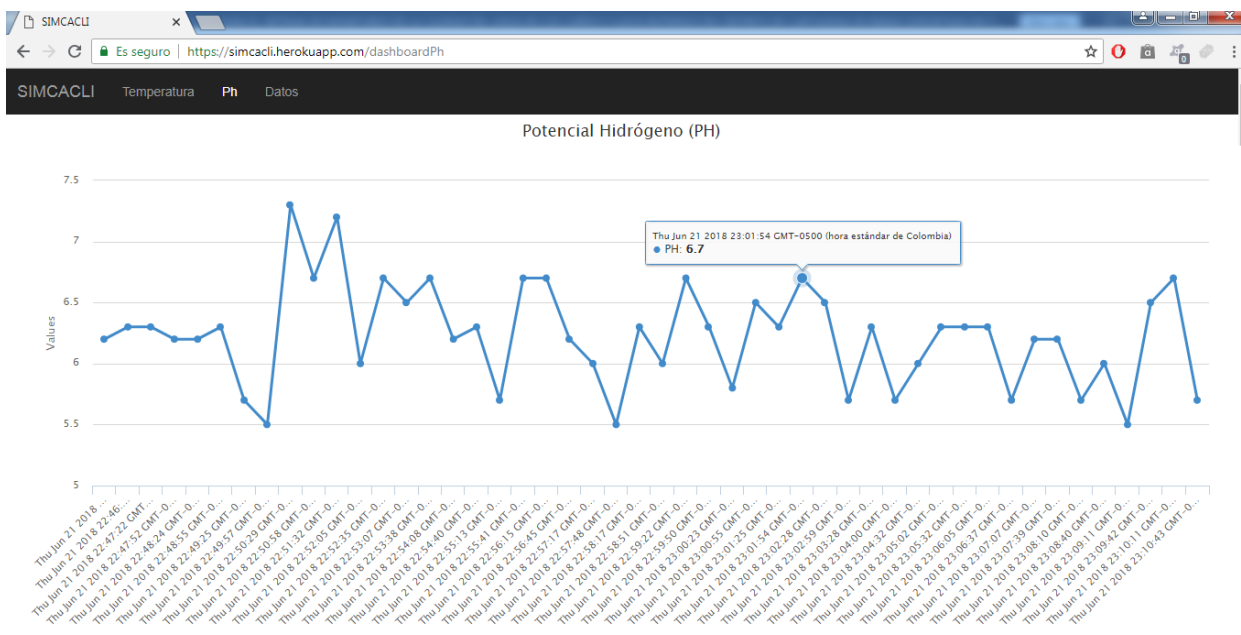


Figura 28. Datos de sensor de pH prueba controlada

7.4.2. Caso dos prueba controlada del piloto funcional en un caño de la ciudad.

La prueba del piloto funcional se realizó en un caño interno de la ciudad de Cartagena de Indias que lleva por nombre Laguna del Cabrero, este cuerpo de agua es aledaño al parque Espíritu del manglar, en donde se ingresó para llegar al cuerpo de agua. Teniendo en cuenta elementos importantes del contexto, en el cual se estableció un procedimiento del inicio de esta (*Ver tabla 10*), se revisó la conectividad de los componentes electrónicos y eléctricos que conforman el sensor, se colocaron los elementos de protección al componente humano y posteriormente se ingresó al agua el dispositivo por un periodo de tiempo de treinta minutos; se comprobó el cargue de datos a la plataforma <https://simcacli.herokuapp.com/>. Los datos obtenidos sensor de temperatura tiene un promedio de 32.3°C (*Ver figura 29*) y los datos del sensor de pH tiene un promedio de 7.2 (*Ver figura 30*).

Tabla 10. Protocolo de prueba 2.

Prueba 2:	Funcionamiento sensor de temperatura y de pH.		
Tipo de prueba	Tomar datos a través de los sensores.		
Ubicación:	Laguna del Cabrero, aledaña al parque espíritu del Manglar.		
Fecha:	24 de junio de 2018		
Hora inicio:	4: 30 pm	Hora fin:	5:00pm
Procedimiento:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Establecer el inicio de la prueba 2. Energizar el equipo o los equipos necesarios para la prueba. 3. Verificar si el sensor se encuentra energizado 4. Verificar si los sensores están calibrados. 5. Colocar los elementos de protección. 6. Ingresar el sensor en el agua. 7. Verificar el funcionamiento. 8. Verificar que los datos se visualicen en la plataforma. 		
Datos adicionales:	Prueba controlada en un caño interno de la ciudad de Cartagena de Indias, Protección para ingresar sin riesgo el sensor.		

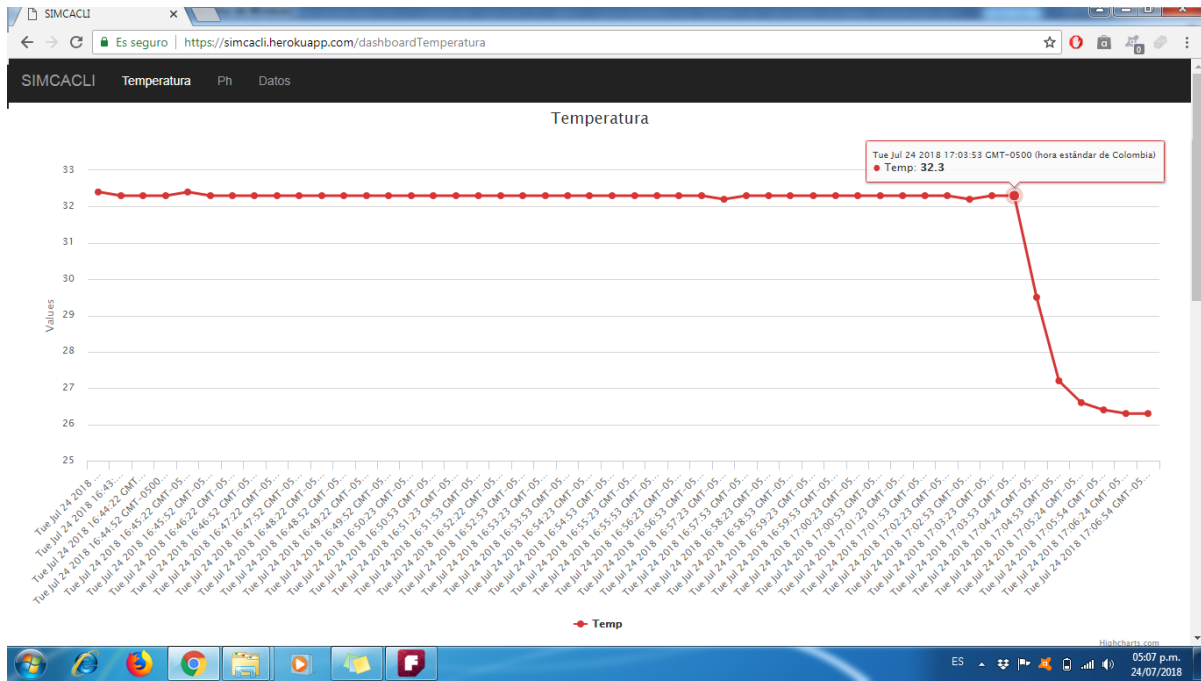


Figura 29. Datos de sensor de temperatura prueba en cuerpo de agua.

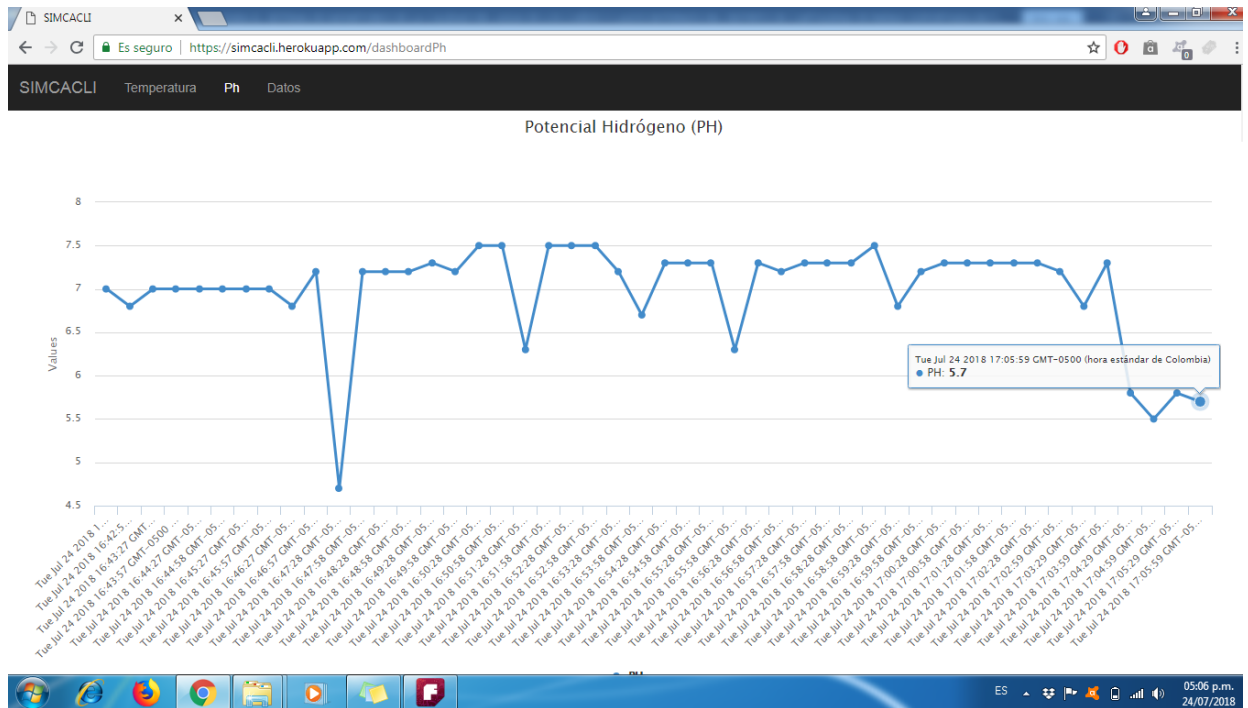


Figura 30. Datos de sensor de pH prueba en cuerpo de agua

8. CONCLUSIONES.

Durante el desarrollo de este proyecto se logró dar cumplimiento a los objetivos planteados, evidenciando que el diseño de la arquitectura hace parte de la solución a la problemática central, cumpliendo con las exigencias y necesidades planteadas en los requerimientos establecidos en el documento “*Especificación de requerimientos sistema de monitoreo de calidad de agua*”. Además, se plasmó la organización del sistema a través de diagramas y modelos. De igual forma, se evidenciaron las características esenciales para el buen funcionamiento de este sistema.

El proyecto ratifica la posibilidad de brindar una solución dirigida a entidades encargadas de la preservación del medio ambiente de la ciudad, para conocer la realidad del estado del agua de los caños y lagos internos del Distrito de Cartagena de Indias. Con esto, no sólo se genera un beneficio institucional, sino que también se consolida como un beneficio para las comunidades aledañas a los caños y lago, que padecen por problemas de sanidad y salud a causa del mal estado de estas aguas.

8.1. Requisitos del sistema de monitoreo de calidad de agua de los caños y lagos internos del Distrito de Cartagena de Indias.

A partir de la entrevista aplicada a Arturo Marrugo funcionario del EPA Cartagena, dio como resultado la extracción de los requisitos que contemplan un sistema de monitoreo de calidad de agua de los caños y lagos del Distrito de Cartagena de Indias, esta información está registrada en el documento “*Especificación de requerimientos sistema de monitoreo de calidad de agua*” bajo el estándar de IEEE 830-1998. En este documento reposan los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema, además tiene los componentes esenciales para su óptimo funcionamiento.

8.2. Arquitectura para el sistema de monitoreo de calidad de agua de los caños y lagos internos del distrito de Cartagena de Indias.

El resultado principal del proyecto es una arquitectura de software para un sistema de monitoreo de calidad de agua de los caños y lagos internos del distrito de Cartagena de Indias. Esta arquitectura hace que se tenga conocimiento de cómo está compuesto el sistema, mostrando todas las especificaciones que lo comprenden tanto en la parte física como en la parte lógica. Además, se pone en conocimiento todo el proceso que conlleva a la recolección de los datos, envío y la persistencia de ellos.

8.3. Perfil Operativo del sistema de monitoreo de calidad de agua de los caños y lagos internos del distrito de Cartagena de indias.

Una parte importante de la arquitectura del sistema de monitorio de calidad de agua de los caños y lagos internos del Distrito de Cartagena de Indias es la recolección de información, este segmento se ha puesto en funcionamiento a través de un perfil operativo, con la finalidad de validar la arquitectura mencionada. En el perfil operativo se ha construido un sensor que da como resultado la medición de variables fisicoquímicas de temperatura y pH en tiempo real, mejorando así el procedimiento de toma de datos por parte de entidades que lo hacen manualmente. Además, los datos recolectados pueden ser observados en una plataforma de acceso público para que usuarios conozcan los estados de los cuerpos de agua en tiempo real.

8.4. Piloto Funcional del sistema de monitoreo de calidad de agua de los caños y lagos internos del distrito de Cartagena de indias.

8.4.1. Caso uno prueba controlada del piloto funcional.

Teniendo en cuenta que el pH es uno de los parámetros más importantes en una piscina y que el valor normal para que el agua este en óptimas condiciones para los bañistas puede oscilar entre 7,2 y 7,6 (tu&co). Teniendo en cuenta las condiciones óptimas y la prueba realizada por el sensor en donde se obtuvo 6.5 de pH (*Ver figura 28*), da como resultado que el agua en la piscina esta acida y puede provocar problemas para las personas y para los elementos que componen el estanque.

La temperatura es muy relativa en una piscina y puede variar dependiendo de las condiciones climáticas, de la condición térmica que tengamos y de la actividad que se vaya a realizar (Pool Natural). En el caso uno prueba controlada era una piscina en exterior y el dato que se obtuvo fue de 28.7°C (*Ver figura 27*), un parámetro que se encuentra en el rango de este tipo de estanques.

8.4.2. Caso dos prueba controlada del piloto funcional en un caño de la ciudad.

Se realizó el caso dos de prueba en un caño de la ciudad que lleva por nombre Laguna del Cabrero, en el cual se deben tener en cuenta que el agua es relativamente salada, siendo

esta ligeramente alcalina, y el valor de su pH está entre 7.5 y 8.4 y varía en función de la temperatura; si ésta aumenta, el pH disminuye y tiende a la acidez; también puede variar en función de la salinidad, de la presión o profundidad y de la actividad vital de los organismos marinos (Cifuentes Lemus, Torres Garcia , & Frías). Teniendo en cuenta los datos normales de este cuerpo de agua y en comparación con el dato de pH obtenido que es 7.2 (*Ver figura 30*) nos da como resultado un estado normal del cuerpo de agua, igualmente la temperatura se encuentra en un rango normal.

El desarrollo de este proyecto responde la pregunta del problema planteado “¿Cómo obtener información de forma oportuna y económica acerca de las condiciones que miden la calidad de agua de los caños y lagos internos del distrito Cartagena de Indias?”, a través de una arquitectura del sistema y un piloto funcional que cumple a cabalidad con los objetivos generales y específicos, planteados en los requerimientos, lo que significa que el proyecto no arrojó resultados inesperados.

El piloto funcional mejora la recolección de variables fisicoquímicas que hacen parte de la calidad de agua, tomando los datos en tiempo real a diferencia del actual proceso, donde se retrasa el desarrollo del tratamiento de los datos por ser realizado de forma manual y periódica. Los datos de las variables fisicoquímicas son recolectados de manera oportuna a través de un sensor creado en este proyecto, que tiene un bajo costo en sus componentes. Además, estos datos son mostrados en una plataforma totalmente libre al público que ha sido construida con elementos totalmente nuevos y con características óptimas para el tratamiento de la información.

9. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.

Al desarrollar el perfil operativo, la principal limitación que se encontró fue no contar con una gran cantidad de información referente a las tecnologías utilizadas por ser relativamente nuevas, además, los alojamientos en donde se puede posicionar el sitio web o plataforma son relativamente costosos. Además, el dispositivo electrónico debe ser anclado en el cuerpo de agua, todo esto con la finalidad que las corrientes de agua o el viento puedan dar mucho movimiento al mismo y retrasar el proceso de recolección.

El estudio realizado en este proyecto puede ser tomado como referencia para futuros proyectos que busquen mejorar la obtención de información de variables fisicoquímicas de calidad de agua o incluso añadir más dispositivos que puedan tomar diferentes variables que no se tuvieron en cuenta en este proyecto, como pueden ser Nivel del agua, humedad de suelo, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y turbiedad. Además, se puede mejorar el sensor para que trabaje con energía solar y sea totalmente independiente.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

84Codes. (s.f.). *CloudMQTT*. Obtenido de <https://www.cloudmqtt.com/>

Agencia Nacional De Aguas. (s.f.). *Monitoreo*. Obtenido de <http://www3.ana.gov.br/portal/ANAES/destacado/monitoreo>

Aguas de Cartagena . (25 de 01 de 2016). *Calidad del Agua Potable en Cartagena*. Obtenido de <https://www.acuacar.com/Acuacar/Medioambiente/CalidaddelaguaenCartagena.aspx>

Beltrán, A., & Suárez, L. (2010). *Diagnóstico ambiental de los cuerpos internos de agua de la ciudad de Cartagena de indias*. Obtenido de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2016/10/DIAGNOSTICO-AMBIENTAL-CUERPOS-INTERNOS-compressed.pdf>

Carbotecnia. (3 de octubre de 2014). *PH del Agua*. Obtenido de <https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/que-es-el-ph-del-agua/>

Cifuentes Lemus, J., Torres Garcia , M., & Frías , M. (s.f.). *EL OCÉANO Y SUS RECURSOS II. LAS CIENCIAS DEL MAR: OCEANOGRAFÍA GEOLÓGICA Y OCEANOGRAFÍA QUÍMICA*. Obtenido de XII. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AGUA DE MAR: SALINIDAD, CLORINIDAD Y pH: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/htm/sec_17.html

Environment and Climate Change Canada . (2013). *Escala de pH*. Obtenido de <https://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=En&n=FD30C16-1>

Fisicoquímicos, P. (s.f.). *Parámetros fisicoquímicos: temperatura*. Obtenido de <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-temperatura.pdf>

Flood Maps. (2017). *FLOOD MAPS*. Obtenido de <http://flood.firetree.net/?ll=10.4233,-75.5231&zoom=14&m=1&type=hybrid>

García, I. L. (2015). ESTUDIO DEL IMPACTO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA TRANSICIÓN DE INTERNET AL INTERNET DE LAS COSAS (IoT) PARA EL CASO COLOMBIANO. 33.

HIDROFRAC. (2012). Obtenido de Monitoreo: <http://www.hidrofrac.com.ar/monitoreo.html>

IGAC. (s.f.). Obtenido de <https://www.igac.gov.co/>

Ingeniería MCI Ltda. (s.f.). *Arduino Uno R3*. Obtenido de <http://arduino.cl/arduino-uno/>

Ingeniería MCI Ltda. (s.f.). *Arduino.cl*. Obtenido de <http://arduino.cl/que-es-arduino/>

Instituto de Hidráulica de Saneamiento Ambiental, U. (2014). *Valoración de los niveles de riesgos ambientales en el Distrito de Cartagena de Indias*. Cartagena.

Instituto Nacional de Salud. (s.f.). *SIVICAP*. Obtenido de Vigilancia de la Calidad del Agua: <http://www.ins.gov.co/sivicap/Paginas/sivicap.aspx>

INVEMAR. (2011). *Monitoreo de los Ambientes Marinos (ARGOS)*. Obtenido de REDCAM: <http://siam.invemar.org.co/siam/redcam/index.jsp>

INVEMAR, CLIMARE. (2011). *Climate and Development Knowledge Network (CDKN)*. Obtenido de <http://cambioclimatico.invemar.org.co/lineamientos-de-adaptacion-cartagena>

Kruchten, P. (1995). *Architectural Blueprints — The “4+1” View Model of Software Architecture*, .

LENNTECH. (s.f.). *Conductividad del agua*. Obtenido de <http://www.lenntech.es/aplicaciones/ultrapura/conductividad/conductividad-agua.html>

Martelo. (28 de Octubre de 2015). *Cartagena, en riesgo por aumento del nivel del mar*. Obtenido de EL Universal: <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/cartagena-en-riesgo-por-aumento-del-nivel-del-mar-209676>

Martínez, C. (2013). *Cartagena, con riesgos mayores frente al cambio climático*. Obtenido de El Universal: <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/cartagena-con-riesgos-mayores-frente-al-cambio-climatico-120483>

Meteor Development Group. (2012). *Meteor*. Obtenido de <https://www.meteor.com/>

Ministerio del medio ambiente, S. (2011). *Sistema Nacional de Calidad de Aguas*. Obtenido de <http://sinia.mma.gob.cl/que-es-sinia/>

Mohn, E. (2015). Internet of Things. En *Salem Press Encyclopedia of Science*.

MongoDB, Inc. (2009). *MongoDB*. Obtenido de <https://www.mongodb.com/>

Moya, R. (2012). *Modelo “4+1” vistas de Kruchten (para Dummies)*. Obtenido de <https://jarroba.com/modelo-41-vistas-de-kruchten-para-dummies/>

Naciones Unidas. (22 de 10 de 2014). *Calidad del Agua*. Obtenido de <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

National Water Quality Monitoring Council. (s.f.). Obtenido de <http://acwi.gov/monitoring/>

Pool Natural. (s.f.). *Pool Natural*. Obtenido de <https://www.poolnatural.com/2016/09/14/cual-es-la-temperatura-ideal-para-una-piscina/>

Pressman, R. (2010). *Ingeniería del Software Un Enfoque Practico* (Vol. 7). MCGRAW-HILL.

Quintana Fajardo, B. F., Rodriguez Ribon, J., & Sarabia Caffroni, J. J. (2018). *SIMCACLI*. Obtenido de <https://simcacli.herokuapp.com/>

Rational Unified Process. (2011). Best Practices for Software Development Teams . *Rational the Software Development Teams* , 1.

Recurso Hídrico. (2014). Obtenido de Área Metropolitana Valle de Aburrá: <http://www.metropol.gov.co/recursohidrico/Pages/default.aspx>

Red de monitoreo de la calidad de agua. (2012). *Atlas Digital del Agua México* . Obtenido de Sistema Nacional de Información del Agua: <http://www.conagua.gob.mx/atlas/>

REGMURCIA. (s.f.). *Masa de agua*. Obtenido de http://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=c,365,m,2624&r=ReP-9346-DETALLE_REPORTAJESPADRE

Sierra Ramiez , C. A. (2011). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*.

Sociedad Ibérica de Construcciones Eléctricas, S.A. (2015). *Sistema Automático De Información De La Calidad Del Agua (Saica)*. Obtenido de [http://www.sice.com/sites/Sice/files/2016-10/MA_SAICA_ESP_\(11\).pdf](http://www.sice.com/sites/Sice/files/2016-10/MA_SAICA_ESP_(11).pdf)

THE USGS WATER SCIENCE SCHOOL. (s.f.). Obtenido de pH -- Water properties: <https://water.usgs.gov/edu/ph.html>

Torres. (2 de Agosto de 2012). *El Universal*. Obtenido de

<http://www.eluniversal.com.co/cartagena/local/contaminacion-en-manga-genera-alarma-personeria-86100>

Torres. (29 de Noviembre de 2012). *El Universal*. Obtenido de

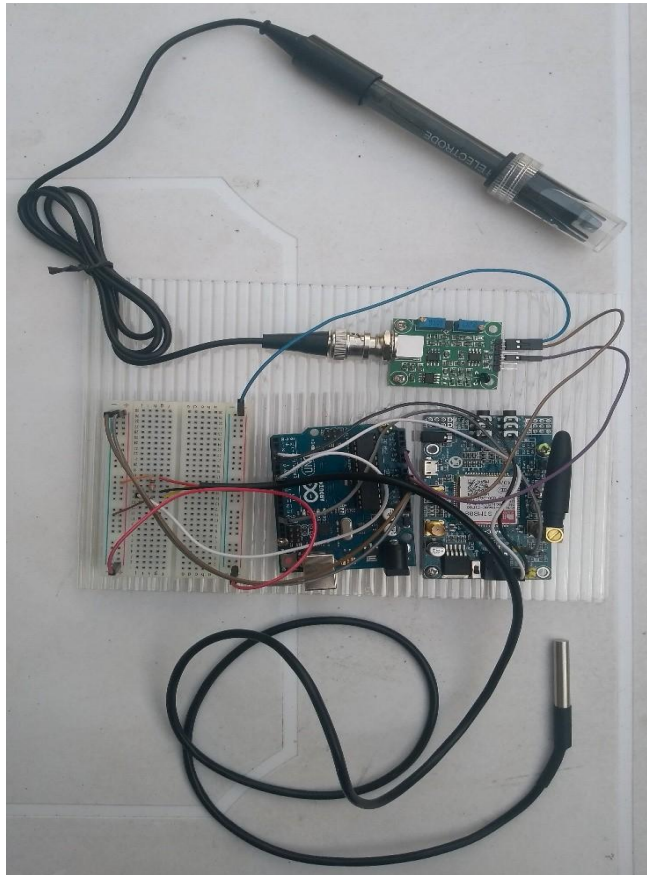
<http://www.eluniversal.com.co/cartagena/local/la-vida-animal-subsiste-en-los-humedales-contaminados-de-cartagena-100011>

tu&co. (s.f.). *tu&co*. Obtenido de <https://www.tuandco.com/aprendeymejora/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-el-ph-en-la-piscina/>

Yébenes Gálvez, J. (s.f.). *¿Qué es MQTT?* Obtenido de <https://geekytheory.com/que-es-mqtt>

11.ANEXOS.

Anexo 1. Componentes electrónicos del sensor.



Anexo 2. Prueba controlada en la piscina.



Anexo 3. Prueba controlada en un caño de la ciudad de Cartagena.



Anexo 4. Verificación de recolección de datos de un caño de la ciudad de Cartagena.

