

**MAPA GEOGRAFICO DE RIESGO DE CALIDAD DE  
FUENTES HIDRICAS AFERENTES AL ACUEDUCTO  
MEDIANTE INTERNET DE LAS COSAS – IoT –**

Autor: Nicolas Laverde Pinzón

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en  
Telecomunicaciones

Tutor: Ing. Luis Fernando González De La Calle

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES  
BOGOTA D.C

2016

## Resumen

Con la evolución de la tecnología, día a día, la automatización y el monitoreo remoto son conceptos que van tomando cada vez más fuerza, lo cual abre un campo de investigación y desarrollo muy grande en cuanto a tecnología se refiere, es por esto que se ha desarrollado un trabajo de grado orientado a la conexión de dispositivos de uso diario y cotidiano en las industrias con el internet, lo que conocemos hoy en día como Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en ingles “Internet of Things”). Una tecnología que está emergiendo y abriendo las puertas a la industria para disminuir los costos de infraestructura y la facilidad del acceso a la información desde cualquier lugar del mundo.<sup>[1]</sup>

Es por esto que se ha planteado implementar la tecnología IoT para atender el requerimiento hecho por el gobierno Colombiano en el artículo 15 del decreto 1575 de 2007 en el que exigen a los gobiernos, departamentales, municipales y distritales diseñar e implementar mapas de riesgo de la calidad de las fuentes hídricas que abastecen los acueductos en el país. Este proyecto es un piloto de un sistema de recolección de datos mediante sensores, y presentados al público mediante el uso de la tecnología IoT y la plataforma de Windows Azure.<sup>[2]</sup>

Cabe aclarar que los datos medidos son datos ficticios simulados mediante el uso de servicios web por lo que no se realizaron pruebas con sensores reales ni se tuvo contacto alguno con el agua de los ríos. Sin embargo en este proyecto si se presenta una evaluación de costos de un sistema que se podría implementar de manera real.

## Justificación

Esta propuesta tiene dos razones fundamentales para su realización, como primera medida dar cumplimiento a la normativa del gobierno Colombiano de diseñar e implementar un mapa de riesgo de la calidad del agua para el consumo humano definida en el decreto 1575 de 2007. En segunda medida pretende solucionar los problemas que existen de costos de infraestructura, masificación de la información recopilada en los mapas de riesgo, y utilización del Internet de las cosas para la publicación de los mapas de riesgo diseñados por los gobiernos distritales, municipales.

## Preliminares

Se definieron los siguientes preliminares o conceptos previos para el proyecto:

- Internet de las Cosas: Internet de las cosas es un concepto que se refiere a la comunicación e interconexión de diferentes dispositivos de uso cotidiano mediante internet y demás servicios de red.<sup>[1]</sup>
- Mapa de Riesgo de Calidad del Agua: Según el decreto 1575 de 2007 un mapa de riesgo es un instrumento encargado de definir las acciones de inspección, vigilancia y control del riesgo asociados a la calidad de las fuentes hídricas que abastecen cada uno de los centros de acopio y distribución de agua potable, diseñado y ejecutado con el fin de garantizar el conocimiento del estado de cada una de estas fuentes.<sup>[2]</sup>
- Agua Potable: Se le considera agua potable a aquella que es apta para el consumo humano y además cumple con los requisitos físicos, químicos y microbiológicos según lo establece la norma NTC – ISO 813<sup>[3]</sup>

- Sensor: Es un dispositivo electrónico con la capacidad de medir distintas características para su conocimiento y control <sup>[4]</sup>
- Unidad Nefelométrica de Turbidez: La unidad Nefelométrica de turbidez expresada por sus siglas en inglés NTU, es la unidad internacional utilizada para expresar la medición de la turbidez de un fluido determinado <sup>[5]</sup>
- Tecnología 3G: El término 3G se refiere a la tercera generación de telefonía móvil. Caracterizada por ser una red convergente de voz y datos. Esta tecnología fue desarrollada inicialmente para el servicio de telefonía móvil, pero también tiene la capacidad de integrar servicios exclusivos como el acceso a internet mediante una conexión por modem USB para lo que requiere un dispositivo conocido como la Sim Card. <sup>[6]</sup>

# Tabla de Contenido

1.	Problema de Investigación .....	5
1.1	Decreto 1575 de 2007 “Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano”.....	5
1.2	Reglamentación sobre parámetros de calidad del agua .....	5
1.3	Planteamiento del problema.....	5
2.	Características Del Agua De Algunas Fuentes Hídricas Colombianas Que Abastezcan Acueductos Para La Selección De Sensores. ....	7
2.1	Parámetros de Calidad del Agua Potable según la Norma Técnica 813.....	7
2.2	Parámetros de Calidad del Agua Potable Seleccionados para su medición. ....	8
3.	Comparación Técnica Y Económica De Sensores De Agua Potable En Línea Versus Las Características Del Agua. 9	
3.1	Sensores Estudiados.....	9
3.1.1	Libelium.....	9
3.1.2	METTLER TOLEDO.....	10
3.2	Sensores seleccionados.....	11
4.	Costos Y Tecnologías De Acceso Desde Los Sensores Hacia Internet En Un Ambiente De Operaciones. ....	12
5.	Mapa de riesgo mediante una plataforma virtual en Windows Azure implementado internet de las cosas - IoT - que muestre el estado del agua en las fuentes de abastecimiento mediante la medición simulada de los sensores. ....	14
5.1	Arquitectura Conceptual del Servicio.....	14
5.2	Definición de Roles Principales de la plataforma virtual .....	14
5.3	Arquitectura Funcional del Servicio.....	15
5.4	Diagrama de Almacenamiento Cómputo y Conectividad. ....	16
5.5	Arquitectura Detallada del servicio .....	17
5.6	Mapa de riesgo de la calidad del agua.....	18
6.	Elaboración de propuesta económica de sistema de análisis de la calidad del agua.....	23
7.	Consideraciones y Discusión .....	28
8.	Conclusiones.....	29
9.	Referencias.....	30

## **1. Problema de Investigación**

### **1.1 Decreto 1575 de 2007 “Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano”.**

Este decreto tiene como objeto “establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua”. El artículo 15 del decreto 1575 de 2007 estipula que la autoridad sanitaria competente, es la responsable de elaborar, revisar y actualizar el Mapa de riesgo de calidad de Agua para Consumo Humano de los sistemas de abastecimiento y distribución en la jurisdicción respectiva. Dice que se debe coordinar con las entidades competentes de cada jurisdicción, la identificación de los factores de riesgo, y las características físicas, químicas y microbiológicas, de las fuentes de agua aferentes a las captadoras de agua y que puedan afectar la salud humana. [2]

### **1.2 Reglamentación sobre parámetros de calidad del agua**

El “Estándar del reglamento Nacional de Planeación de Agua” EPA-815-F-00-007, de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, presenta las características físicas químicas y microbiológicas contaminantes que se presentan en el Agua a la salida de los Acueductos, y decretan la Meta del Nivel Máximo del Contaminante (MNM) que es el nivel de un contaminante en el agua en el cual no existe ningún riesgo para la salud, también se puede encontrar el Nivel Máximo del Contaminante (NMC), que se refiere al máximo nivel tolerable de un contaminante en el agua. De igual manera presenta la Técnica de Tratamiento (TT), los riesgos que implican para la salud cada contaminante si supera el NMC, y las fuentes de contaminación más comunes en el Agua. [7]

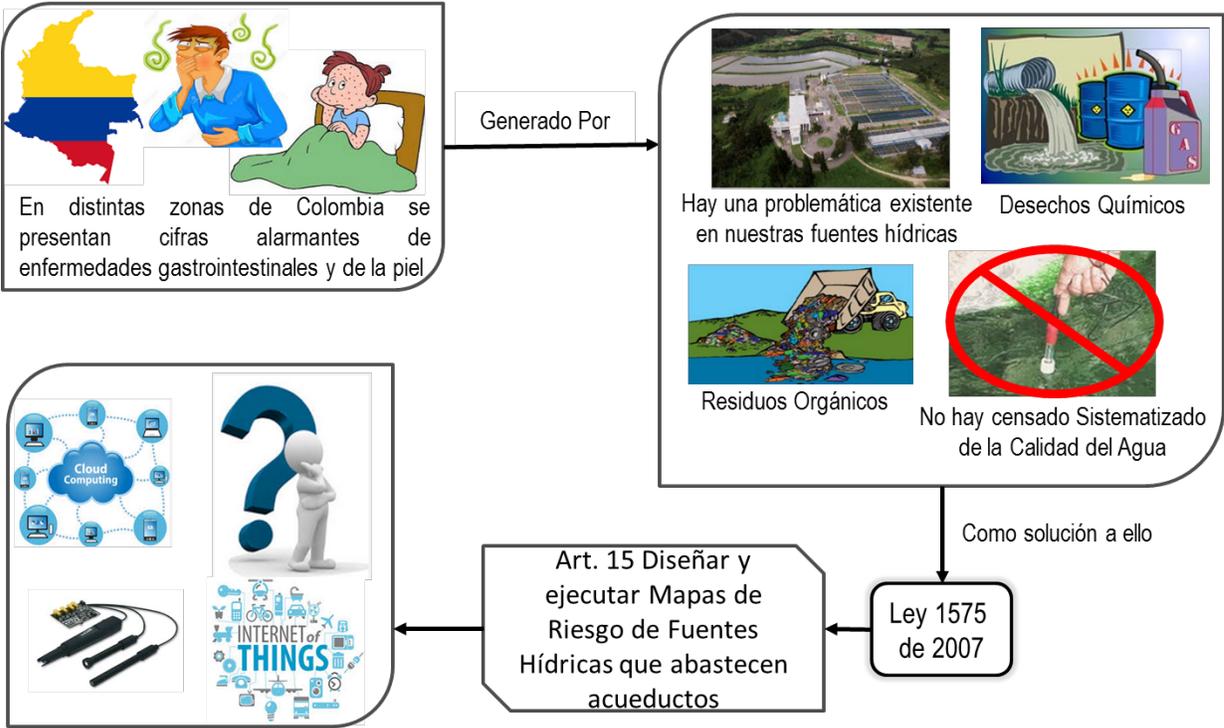
La Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 813 tiene como objeto establecer los requisitos físicos, químicos y microbiológicos que debe cumplir el agua proveniente de cualquier sistema de abastecimiento para que sea considerada potable, aplica para todo el territorio nacional. [3]

### **1.3 Planteamiento del problema**

En cuestión de lo dicho por el decreto 1575 de 2007, no se desarrolló este proyecto como solución a un problema, sino como gestión a un requerimiento, buscando brindar una solución aplicada con ingeniería de telecomunicaciones a lo expuesto por el artículo 15 de esta ley la cual ordena a todos los gobiernos municipales, distritales y departamentales de la república de Colombia a Diseñar e implementar mapas de riesgo de la calidad del agua que abastece los acueductos que distribuyen el servicio de agua potable en el país, para garantizar que la prevención de enfermedades gastrointestinales y de la piel entre muchas otras que se producen por el consumo de agua contaminada, además de la desinformación que existe entre la población al no existir una masificación de los datos<sup>[2][8]</sup>

En la siguiente figura se representa de manera gráfica el planteamiento del problema, se puede apreciar un problema como lo es las altas cifras de enfermedades gastrointestinales y de la piel en diferentes zonas del territorio nacional, varios estudios han demostrado que estas enfermedades y demás problemas son generadas por que las fuentes hídricas y de abastecimiento de los acueductos que suministran agua para el consumo en las diferentes poblaciones se encuentran contaminadas de diferentes agentes como los desechos químicos y los recursos orgánicos además de la falencia presentada en la no sistematización del censado de la calidad del agua y por ultimo pero no menos importantes la desinformación por parte del gobierno hacia la población ya que no hay una fuente confiable de información.

Como solución al problema de contaminación y las enfermedades que conllevan este factor el gobierno nacional mediante el artículo 15 del decreto 1575 de 2007 ordena diseñar y ejecutar mapas de riesgo de todas las fuentes hídricas que abastecen los acueductos, en atención a este requerimiento se plantea diseñar un sistema en cloud computing utilizando sensores en línea e integrando estas tecnologías mediante un protocolo de transmisión de datos para brindar a la ciudadanía una solución disponible, confiable y garante de su derecho a la vida.



Dibujo 1. Planteamiento del problema

## 2. Características Del Agua De Algunas Fuentes Hídricas Colombianas Que Abastezcan Acueductos Para La Selección De Sensores.

Para esta sección del proyecto se analizó el reglamento técnico que rige a Colombia, donde se dedicó la investigación a las características físicas y químicas del agua.

### 2.1 Parámetros de Calidad del Agua Potable según la Norma Técnica 813.

Como primera medida se analizaron las características físicas del agua. En la tabla 1. Se encuentra las características físicas del agua según la NTC-ISO 813 tal como se ve a continuación:

REQUISITOS	VALOR
Color, expresado en unidades de la escala Pt-Co. Max.	15
Olor y Sabor	Inobjetable
Turbiedad, Expresada en Unidades Nefelométricas de Turbidez	2
Solidos totales, expresado en mg/dm <sup>3</sup> . Max	200

Tabla 1. Características Físicas Permisibles en el Agua Potable. <sup>[3]</sup>

Una vez analizadas las características físicas del agua, el paso a seguir fue consultar las características químicas del agua, siguiendo con el estudio de la norma se analizaron las características químicas del agua tal como está en la tabla 2. Además en la norma se proponen los siguientes enunciados:

- “El agua potable deberá tener mínimo 0.2 mg/dm<sup>3</sup> y un máximo de 1.0 mg/dm<sup>3</sup> de cloro residual libre en la red (Cl<sub>2</sub>)” <sup>[3]</sup>
- “El cloro total deberá tener una concentración máxima en el agua de 1.2mg/dm<sup>3</sup>” <sup>[3]</sup>
- “El agua potable deberá tener un intervalo de pH entre 6.5 a 9.0 unidades de pH” <sup>[3]</sup>

SUSTANCIA	EXPRESADA COMO	VALOR PERMITIDO (mg/L)	
		MIN	MAX
Arsénico	As	0	0,05
Aluminio	Al	0	0,2
Bario	Ba	0	1
Boro	B	0	1
Cadmio	Cd	0	0,005
Cianuro	CN	0	0,1
Cinc	Zn	0	5
Cloruros	Cl	0	250
Cobre	Cu	0	1
Cromo hexavalente	Cr <sup>-6</sup>	0	0,05
Dureza total	CaCO <sub>3</sub>	30	150
Fenoles	Fenol	0	0,001
Fluoruros	F <sup>-</sup>	0	1.7
Hierro total	Fe	0	0,3
Magnesio	Mg	0	36
Manganeso	Mn	0	0,1
Mercurio	Hg	0	0,001

Nitratos	NO <sub>3</sub>	0	45
Nitritos	NO <sub>2</sub>	0	0,01
Plomo	Pb	0	0,01
Plata	Ag	0	0,05
SAB	SAB	0	0,5
Selenio	Se	0	0,01
Sulfatos	SO <sub>4</sub>	0	250
Grasas y Aceites		0	No detectable

Tabla 2. Características Químicas Permisibles en el Agua. <sup>[3]</sup>

## 2.2 Parámetros de Calidad del Agua Potable Seleccionados para su medición.

Al realizar una breve comparación de distintos fabricantes de sensores y descubriendo cuales características son más comerciales para su medición se seleccionaron los siguientes parámetros para realizar la selección de sensores.

En la tabla 3 se puede apreciar las características físicas que fueron seleccionadas, para que al basarse en ellas se realice la selección de los sensores que serán presentados en la propuesta económica:

REQUISITOS	VALOR
Turbiedad.	2 Unidades Nefelometrías de Turbidez

Tabla 3. Características Físicas seleccionadas para su medición <sup>[3]</sup>

A continuación en la tabla 4 se encuentran las características químicas que fueron seleccionadas para realizar la posterior selección de los sensores.

SUSTANCIA	EXPRESADA COMO	VALOR PERMITIDO (mg/L)	
		MIN	MAX
Cloruros	Cl	0	250
Cobre	Cu	0	1
Fluoruros	F-	0	1.7
Nitratos	NO <sub>3</sub>	0	45
pH		6.5 pH	9.0 pH
Plata	Ag	0	0.05

Tabla 4. Características Químicas seleccionadas para su medición <sup>[3]</sup>

### 3. Comparación Técnica Y Económica De Sensores De Agua Potable En Línea Versus Las Características Del Agua.

Posterior a la selección de las características del agua que van a ser medidas se realizó la selección de los sensores, para este fin se compararon de forma técnica y económica los sensores de dos fabricantes de los cuales posteriormente se seleccionara el que ofrezca una solución más completa y económicamente viable.

#### 3.1 Sensores Estudiados

Se realizó la comparación entre dos fabricantes, el primero de ellos es Libelium y el otro es la firma Mettler Toledo.

##### 3.1.1 Libelium

En términos generales Libelium es una empresa multinacional española fabricante de sensores y demás dispositivos para la conexión de estos y de la integración de sistemas para el monitoreo remoto.<sup>[9]</sup>

En la tabla que se encuentra enseguida se encuentran los sensores marca Libelium y sus características técnicas las cuales serán comparadas con otro fabricante.

SENSOR	RANGO DE CONCENTRACIÓN MOL/L	RANGO DE PH	RANGO DE TEMPERATURA	DIMENSIONES(MM)
pH	N/A	0-14	5 – 60	12 x 160
Turbiedad	0-2000 NTU	N/A	5 – 60	10 x 155
Fluoruros	$10^{-1}$ - $10^{-6}$	5 – 7	5 – 60	10 x 155
Cobre	$10^{-1}$ - $10^{-6}$	2 – 12	5 – 60	10 x 155
Plata	$10^{-1}$ - $10^{-6}$	4 – 7	5 – 60	10 x 155
Nitrato	$10^{-1}$ - $3 \cdot 10^{-7}$	2 – 8	5 – 60	10 x 155
Cloruros	$10^{-1}$ - $5 \cdot 10^{-5}$	2 – 12	5 – 60	10 x 155

Tabla 5. Características Técnicas de los sensores Libelium.<sup>[10]</sup>

Una vez conocidas las características técnicas se consideraron los otros aspectos en estudio que es el costo de cada sensor. Esto para realizar la comparación técnica y económica de cada sensor y así seleccionar el mejor fabricante. En la tabla 6 se encuentran los costos para cada uno de los sensores utilizados para la medición de la característica seleccionada.

CARACTERISTICA ANALIZADA	REF.	COSTO COMERCIAL (€)
Sensor de pH	9328	17
Sensor de Turbiedad	9353-P	2,900
Sensor de Ion de Cobre (Cu <sup>2+</sup> )	9358	170
Sensor de Ion de Fluoruro (F <sup>-</sup> )	9353	170
Sensor de Ion de Plata(Ag <sup>2+</sup> )	9362	170
Sensor de Ion de Cloruro(Cl <sup>-</sup> )	9357	170

Sensor de Ion de Nitrato (NO3)	9355	170
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>€ 3767</b>

Tabla 6. Tabla de costos de los sensores Libelium. <sup>[11]</sup>

### 3.1.2 METTLER TOLEDO

Por otra parte se analizó a la empresa multinacional METTLER TOLEDO, este, “es un fabricante líder mundial de instrumentos de precisión y servicios para uso en el laboratorio y en los procesos de fabricación”. <sup>[12]</sup>

Al igual que con el primer fabricante se analizaron como primera medida las características técnicas de los sensores comparando los valores de Rango de Concentración. Rango de pH, rango de temperatura y dimensiones, en la tabla 7 se encuentran dichas características cada una tomada del datasheet de cada uno de los sensores estudiados, se presentó una dificultad en la investigación y después de comparar con varias referencias no se encontró un sensor que midiera la turbidez en el agua dentro de los parámetros requeridos, se encontraron sensores que median turbidez en otras soluciones y/o líquidos pero no cumplían con los parámetros establecidos en la tabla 1, por lo que no se podían ajustar para esta investigación. Sin embargo si se encontraron los otros sensores cuyas características técnicas se encuentran a continuación:

SENSOR	RANGO DE CONCENTRACIÓN DE MOL/L	RANGO DE PH	RANGO DE TEMPERATURA °C	DIMENSIONES(MM)
pH	N/A	0-14	0 – 50	10 x 155
Fluoruros	$10^{-1} - 10^{-6}$	4 – 10	0 – 80	10 x 155
Cobre	$10^{-1} - 10^{-6}$	2 – 8	0 – 80	10 x 155
Plata	0.01 – 108000 mg/L	2 – 12	0 – 80	10 x 155
Nitrato	$10^{-1} - 10^{-6}$	2 – 12	0 – 50	10 x 155
Cloruros	$10^{-1} - 10^{-6}$	2 – 13	0 – 80	10 x 155

Tabla 7. Características Técnicas de los sensores Mettler Toledo. <sup>[13][14][15][16][17][18]</sup>

Una vez conocidas las características técnicas se consideraron los otros aspectos en estudio que es el costo de cada sensor. Esto para realizar la comparación técnica y económica de cada sensor y así seleccionar el mejor fabricante. En la tabla 8 se encuentran los costos para cada uno de los sensores utilizados para la medición de la característica seleccionada.

CARACTERISTICA ANALIZADA	REF.	COSTO COMERCIAL (€)
Sensor de pH	pHure Sensor	84
Sensor de Ion de Cobre (Cu <sup>2+</sup> )	DX264-Cu	920
Sensor de Ion de Fluoruro (F <sup>-</sup> )	DX219-F	786
Sensor de Ion de Plata(Ag <sup>2+</sup> )	Comb Ag/S2	920
Sensor de Ion de Cloruro(Cl <sup>-</sup> )	DX235-Cl	758
Sensor de Ion de Nitrato (NO <sub>3</sub> )	DX262-NO <sub>3</sub>	805
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>4273</b>

Tabla 8. Tabla de costos de los sensores Mettler Toledo. <sup>[19]</sup>

### **3.2 Sensores seleccionados**

Una vez comparados las características técnicas y económicas de los sensores, además de asegurarse que los sensores estudiados estaban en la capacidad de medir los parámetros expuestos en las Tablas 1 y 2, tal como lo rige la norma NTC-813, se selecciona la marca Libelium para el desarrollo del proyecto por las siguientes razones.

- Son económicamente más viables ya que a pesar de tener características técnicas similares a los del otro proveedor son menos costosos, además ofrecen un servicio más completo como se podrá apreciar más adelante cuando se entregue la propuesta de solución.
- Tienen disponibilidad de dispositivos para medir los parámetros que se seleccionaron para la elección de sensores, ofreciendo dispositivos para cada una de las características seleccionadas.
- Como valor agregado ofrecen una solución que permite fácilmente enviar los valores medidos hacia la nube haciendo uso de distintos protocolos de comunicación.

#### 4. Costos Y Tecnologías De Acceso Desde Los Sensores Hacia Internet En Un Ambiente De Operaciones.

Ya se conocen los sensores que se van a presentar en la propuesta del sistema para el mapa de riesgo de Agua potable. El procedimiento realizado después de dicha selección es seleccionar una tecnología que se ajuste a las necesidades de la solución. Para esto se deben tener en cuenta varios aspectos, como son el área de estudio, y el campo de aplicación.

A continuación se encuentra una topología similar a la de la propuesta por lo cual fue utilizada como caso de estudio.

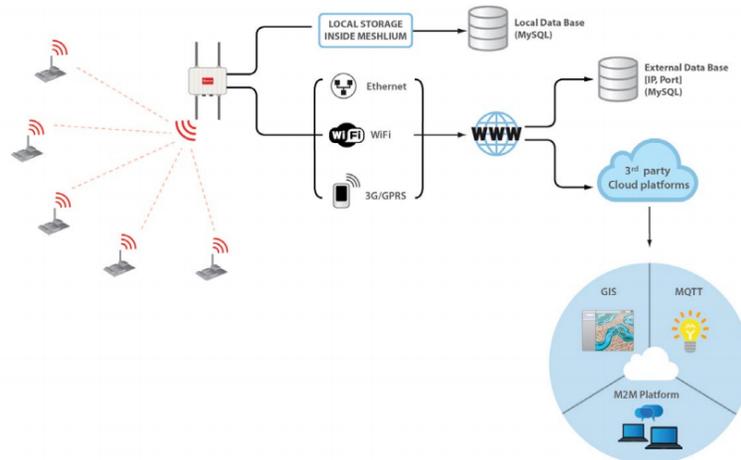


Figura 1. Topología similar a la propuesta de solución. [20]

Como se supone que es en un terreno abierto a las orillas de un río y los dispositivos están geográficamente distanciados se requiere de una tecnología que tenga la cobertura suficiente para alcanzar a comunicar todos los dispositivos. A continuación se encuentra una imagen en la cual se puede reflejar las tecnologías de comunicación y las especificaciones geográficas que deben ser tenidas en cuenta por cada tecnología.

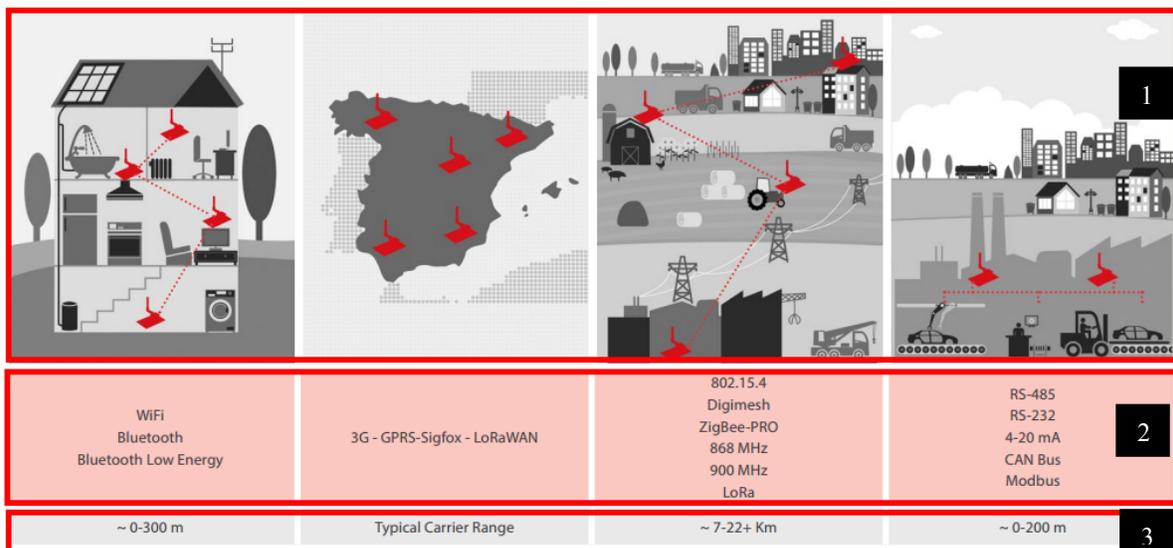


Figura 2. Condición Geográfica vs Tecnología de Transmisión vs Radios de cobertura. [11]

- 1) En este numeral se encuentran las condiciones geográficas en las que pueden encontrarse los sensores
- 2) En este están las tecnologías de comunicación para cada una de las condiciones geográficas
- 3) En el numeral 3 están los radios máximos de comunicación entre los dispositivos

Como se expuso anteriormente, las condiciones geográficas son de sensores que se encuentran a distancias grandes por lo cual se reduce la selección de tecnologías a solo 4, están son 3G, GPRS, Sigfox y LoRaWAN.

Por facilidades de acceso y configuración se selecciona la tecnología 3G como el protocolo de comunicación. Se utilizara un plan de internet móvil de CLARO ya que este operador es el de mayor cobertura a nivel nacional <sup>[21]</sup>

Se debe adquirir un plan de internet según el número de dispositivos Plug & Sense y Meshlium que se utilicen en el sistema ya que cada uno tiene un slot para conectar una tarjeta sim la cual le da el acceso a la banda de navegación 3G. A continuación se encuentra la tabla de planes y precios que ofrece Claro.

CAPACIDAD DE DATOS INCLUIDA	PLAN	CFM CON IVA *
1024 MB ( 1GB)	Plan 1000 MB 2016 Nv	\$ 30.900
1536MB (1,5GB)	Plan 1500 MB 2016 Nv	\$ 36.900
2048 MB ( 2GB)	Plan 2000 MB 2016 Nv	\$ 42.900
2560 MB (2,5 GB)	Plan 2500 MB 2016 Nv	\$ 48.900
3072 MB (3GB)	Plan 3000 MB 2016 Nv	\$ 53.900
3584 MB (3,5GB)	Plan 3500 MB 2016 Nv	\$ 57.900
5120 MB (5GB)	Plan 5000 MB 2016 Nv	\$ 64.900
6144 MB (6GB)	Plan 6000 MB 2016 Nv	\$ 69.900
7168 MB (7GB)	Plan 7000 MB 2016 Nv	\$ 74.900
8192 MB (8GB)	Plan 8000 MB 2016 Nv	\$ 80.900
10240 MB (10GB)	Plan 10000 MB 2016 Nv	\$ 107.900

Tabla 9. Planes y precios de Datos móviles en Claro <sup>[22]</sup>

## 5. Mapa de riesgo mediante una plataforma virtual en Windows Azure implementado internet de las cosas - IoT - que muestre el estado del agua en las fuentes de abastecimiento mediante la medición simulada de los sensores.

### 5.1 Arquitectura Conceptual del Servicio.

Para iniciar con el desarrollo del aplicativo fue necesario plantear una arquitectura conceptual que explique en términos generales el propósito de la plataforma y el funcionamiento del sistema conjunto para el desarrollo del Mapa de Riesgo. A continuación se encuentra representada gráficamente la arquitectura conceptual del sistema donde se puede apreciar como un usuario con un dispositivo ya sea un computador o un dispositivo móvil y acceso a internet ingresando a una interfaz web mediante un navegador de red, puede alcanzar un control de acceso el cual le permitirá ingresar a consultar el mapa de riesgo de Agua potable, y los datos y estadísticas que se encuentran en la plataforma los cuales son enviados por sensores que se encuentran midiendo en las fuentes hídricas en estudio, y enviados a través de protocolos hacia la red donde son almacenados para su análisis, consulta y presentación.

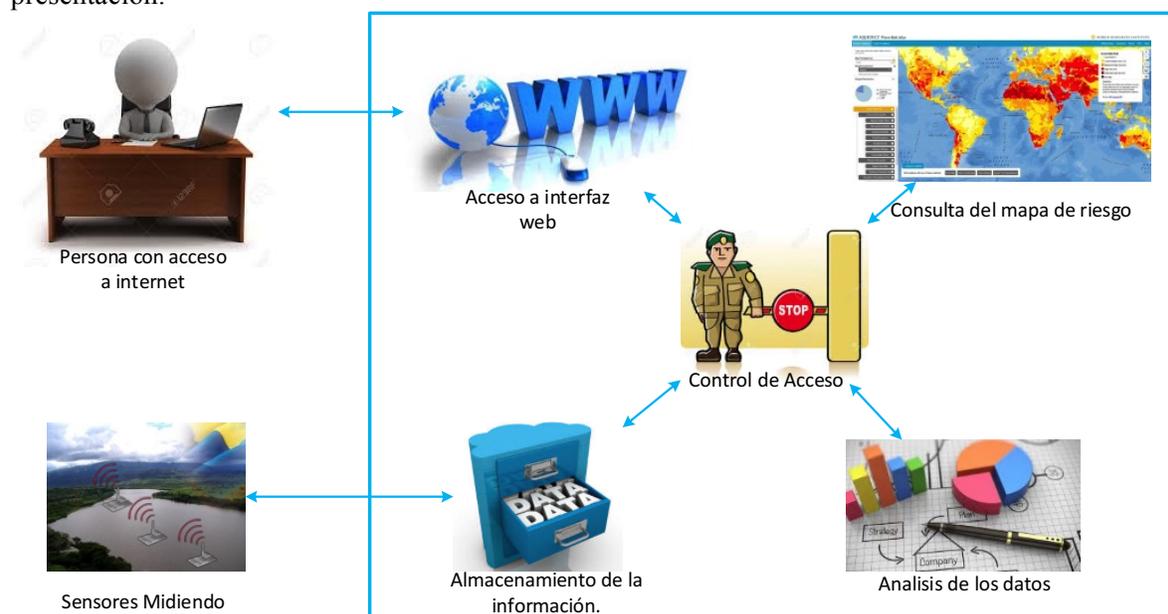


Figura 3 Arquitectura Conceptual del Sistema. Fuente: Autor.

### 5.2 Definición de Roles Principales de la plataforma virtual

Como primera medida se debía considerar la creación de unos roles para establecer un control de acceso a los usuarios y de esta manera permitir el ingreso de las personas a ciertas funciones según lo considere su rol. Así mismo se plantearon 5 roles distintos los cuales se definieron de la siguiente manera:

<p><b>Usuario:</b> Es aquel usuario que se ha registrado en la base de datos de la plataforma para tener acceso a conocer el mapa de riesgo y que está interesado en recibir estadísticas o solicitar informes de las mediciones a lo largo del tiempo además de participar en foros de discusión dentro de la plataforma y dar</p>	<p><b>Biólogo:</b> Como existen algunas mediciones que no se realizan con sensores sino se deben tomar manualmente el biólogo será aquel rol de las personas que realicen estas mediciones y requieran ingresar a la base de datos a actualizar esta medición</p>
---	---

sugerencias para la mejora en el funcionamiento del sistema.	
Administrador: El administrador será aquella persona que tenga control sobre la plataforma, y la información, entre sus privilegios esta la publicación y actualización de contenido en la plataforma, el acceso a datos y estadísticas con capacidad de escritura sobre estos y el control de acceso de los nuevos usuarios de la plataforma.	Súper Admin: El súper administrador será aquella persona que tenga control total sobre el sistema en cuestión de configuración, programación funcionamiento, comunicación, y administración de herramientas como bases de datos y directorio activo, así como también la configuración de la plataforma y a actualización permanente de la misma. De igual manera realizara un control y supervisión de este sistema para garantizar la disponibilidad del mismo.

Tabla 10. Roles definidos para el acceso a la plataforma virtual.

### 5.3 Arquitectura Funcional del Servicio.

Posteriormente se definió la arquitectura funcional del sistema en la cual se presentan las funcionalidades de Microsoft Azure que se emplearon durante el desarrollo del mapa de riesgo de agua potable, además de la definición de roles y la visualización por capas de los privilegios de cada uno de los roles. A continuación se encuentra representada gráficamente la arquitectura funcional planteada para este desarrollo.

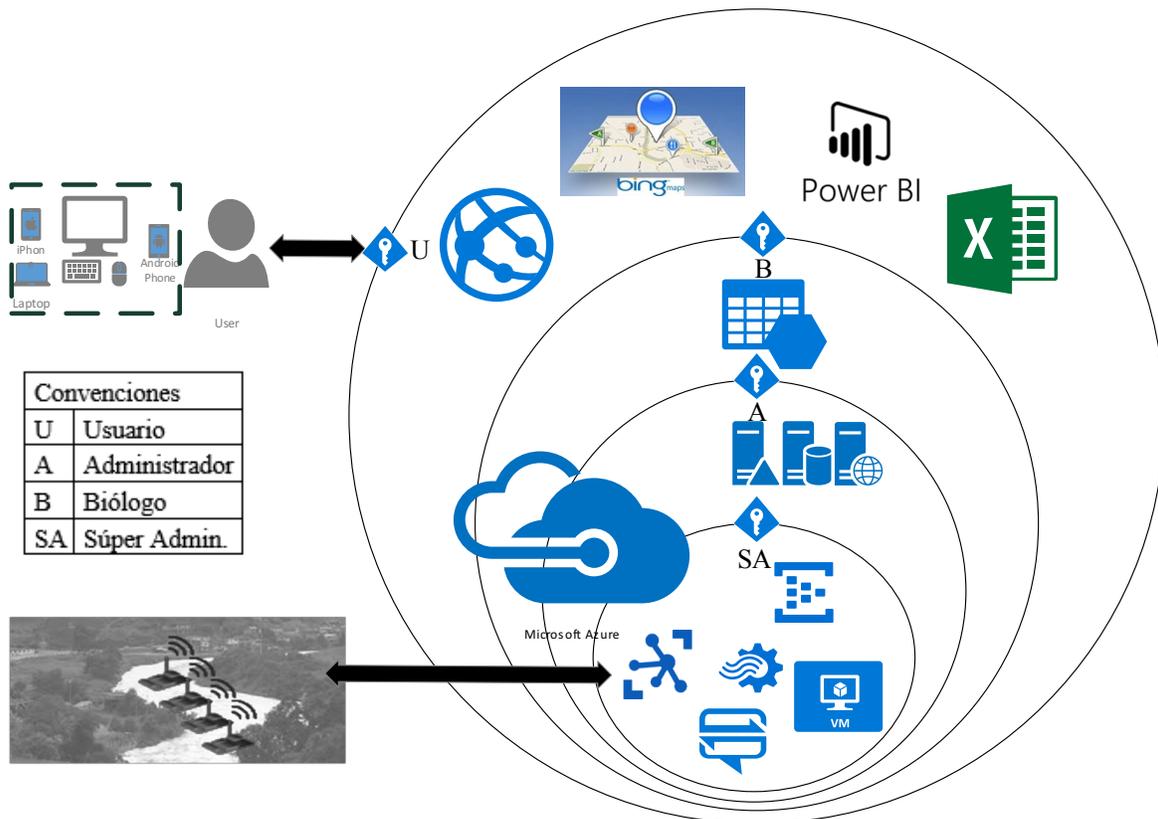


Figura 4. Arquitectura funcional del sistema.

Como se explicó en el numeral anterior se definieron 4 roles principales, según se puede apreciar en la arquitectura por capas ilustrada en la figura 4 se ve como en la parte superior se encuentran los usuarios ingresando a través de una plataforma virtual en la cual al registrarse como usuarios pueden tener acceso al mapa de riesgo de calidad del agua a datos estadísticas y gráficos. Si la persona que se registra tiene privilegios del rol Biólogo, puede acceder a la base de datos a insertar información de manera manual para que estos sean graficados mediante Power BI. En el caso que la persona que se registra sea un administrador esta persona ya tiene acceso a la administración de los servidores Web, de base de datos y de dominio donde podrá tener control sobre la plataforma como tal, los datos que se encuentran almacenados y los usuarios que se halla inscrito en este dominio. Y el último caso que se podría tener es la persona con acceso total sobre el portal Azure, el súper administrador el cual podrá modificar y configurar todos los elementos del sistema a su parecer y realizar nuevos desarrollos para mejorar el piloto.

Al otro extremo de la arquitectura se encuentran los sensores los cuales están midiendo constantemente la calidad del agua en las fuentes hídricas que se estén estudiando.

#### **5.4 Diagrama de Almacenamiento Cómputo y Conectividad.**

El siguiente diagrama pretende clasificar los elementos del sistema implementado en Windows Azure según su función principal, ya sea almacenamiento, cómputo o conectividad. Esta clasificación se hace analizando la función que cumple cada uno de los elementos funcionales de la aplicación del mapa de riesgo de fuentes hídricas. Por cómputo se entiende la capacidad que tiene un sistema para el análisis y el procesamiento de los datos con el fin de obtener un resultado al realizar un análisis a cierta información. [23] La conectividad se define como la cualidad que tienen los dispositivos para comunicarse entre si ya sea con un dispositivo de la misma tecnología o de cualquier otro tipo de dispositivo. [24] El ultimo concepto que se debe tener claro es el de almacenamiento el cual se refiere a la acción de almacenar información en algún tipo de contenedor. [25]

Basado en estos conceptos se clasificaron de la siguiente manera los elementos:

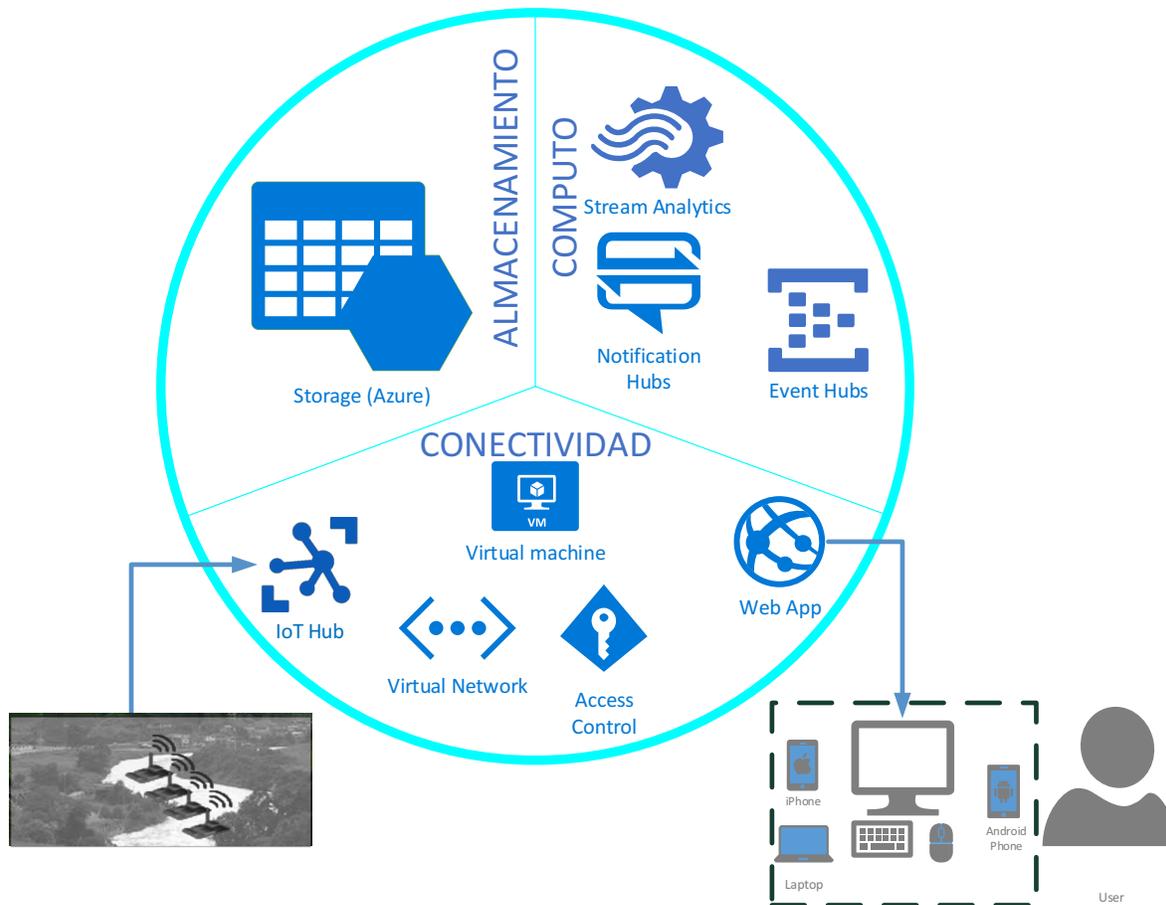


Figura 5.Arquitectura funcional del sistema

Como se puede apreciar en la imagen anterior el único elemento que tiene la funcionalidad de almacenamiento es el Storage ya que esta función solo recoge información sin transmitirla ni procesarla, por otra parte el Hub de eventos el análisis de datos y el hub de notificaciones se clasificaron como computo ya que estos toman los datos almacenados y les realizan un procesamiento, y por último se clasificaron el IoT Hub, el control de acceso, la aplicación web, la máquina virtual y la red virtual como conectividad ya que estos se utilizan para comunicar los datos entre los sensores y el usuario Final.

### 5.5 Arquitectura Detallada del servicio

Por último se realizó el diseño de la arquitectura detallada del aplicativo en donde se puede apreciar el funcionamiento de la plataforma, enfocado en describir el flujo de la información a través de cada uno de los servicios implementados desde la recolección de los datos, hasta su visualización en el mapa de riesgo por parte de los usuarios.

Empezando desde la toma de datos se encuentra que hay unos sensores en el rio recogiendo los datos (Para la implementación sin sensores se utilizó un web Job que generara datos aleatoriamente), los cuales son enviados a la nube a un IoT Hub el cual los envía a un análisis de datos donde se validan si los eventos capturados representan una alarma o no, de ser así se pasa a un hub de eventos y un hub de notificaciones donde son generadas las alarma y enviadas al storage, de no ser así se envían directamente al storage donde son almacenados en un Servidor de base de datos el cual comparte

estos datos con el API de Bing maps en el cual se pueden ver gráficamente, Toda esta información es tabulada y graficada y enviada al servidor Web donde se configura para ser mostrada en la plataforma, plataforma en la que los usuarios se tienen que registrar pasando un control de acceso en donde autentican contra el servidor de dominio en el que están definidos los roles. Y así los usuarios finales tienen el acceso a la información del mapa de riesgo de Agua potable

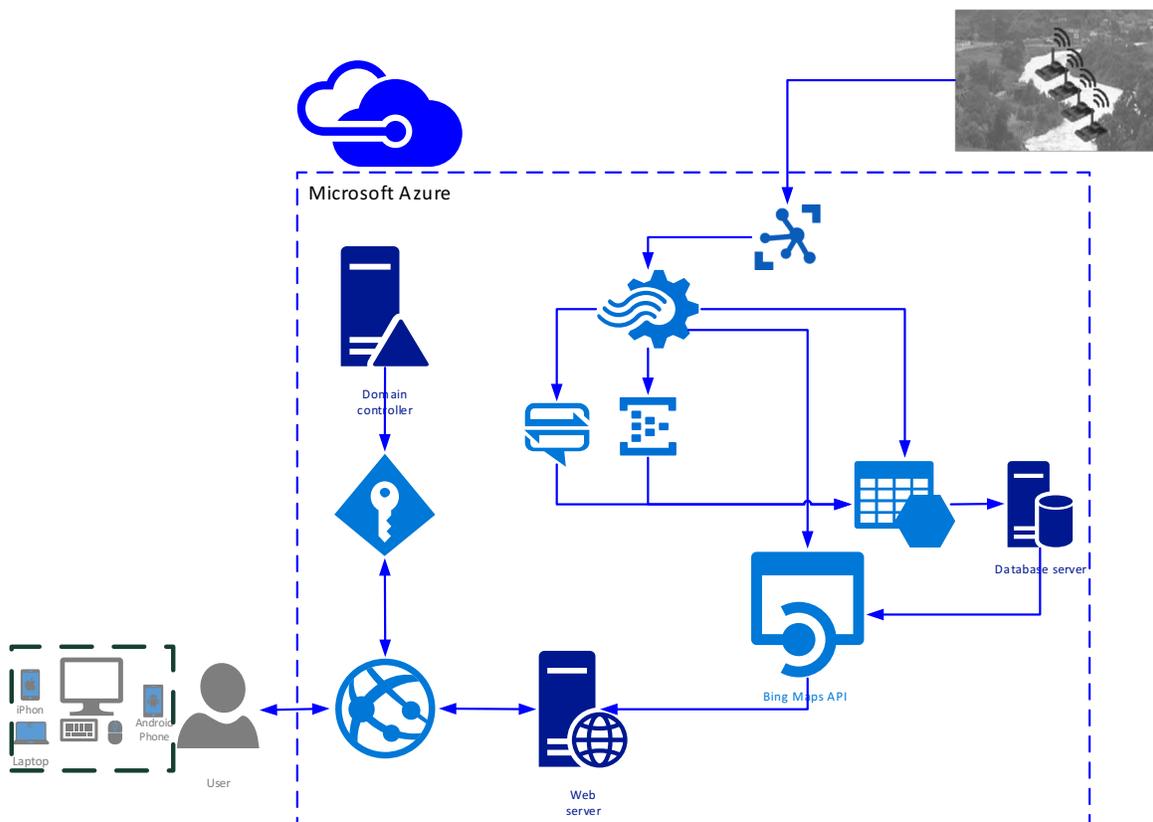


Figura 6.Arquitectura detallada del sistema

## 5.6 Mapa de riesgo de la calidad del agua

Una vez implementada la arquitectura antes presentada se obtuvo como resultado una plataforma virtual compuesta por las siguientes interfaces.

- La primera interfaz es la página de inicio que responde a la URL: [riskmapco.azurewebsites.net](http://riskmapco.azurewebsites.net), en la cual se le notifica al usuario que tiene que iniciar sesión para poder tener acceso a la plataforma.

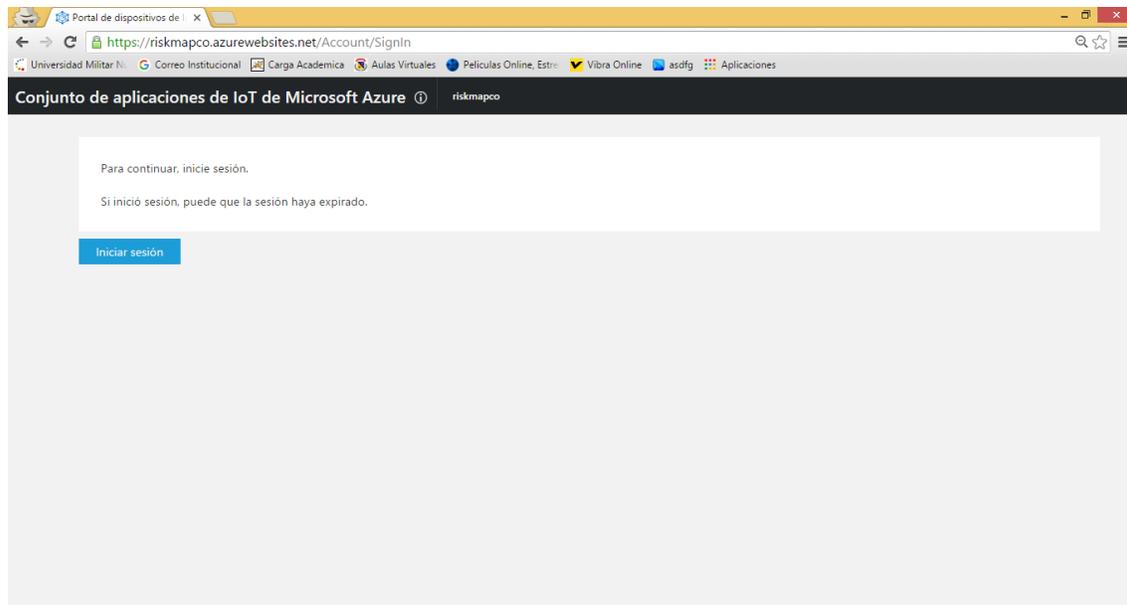


Figura 7. Interfaz de inicio de la plataforma

- Al dar clic en el botón iniciar sesión en la interfaz de inicio se abre la interfaz de inicio de sesión en la que el usuario debe autenticar haciendo uso de una cuenta de Microsoft.

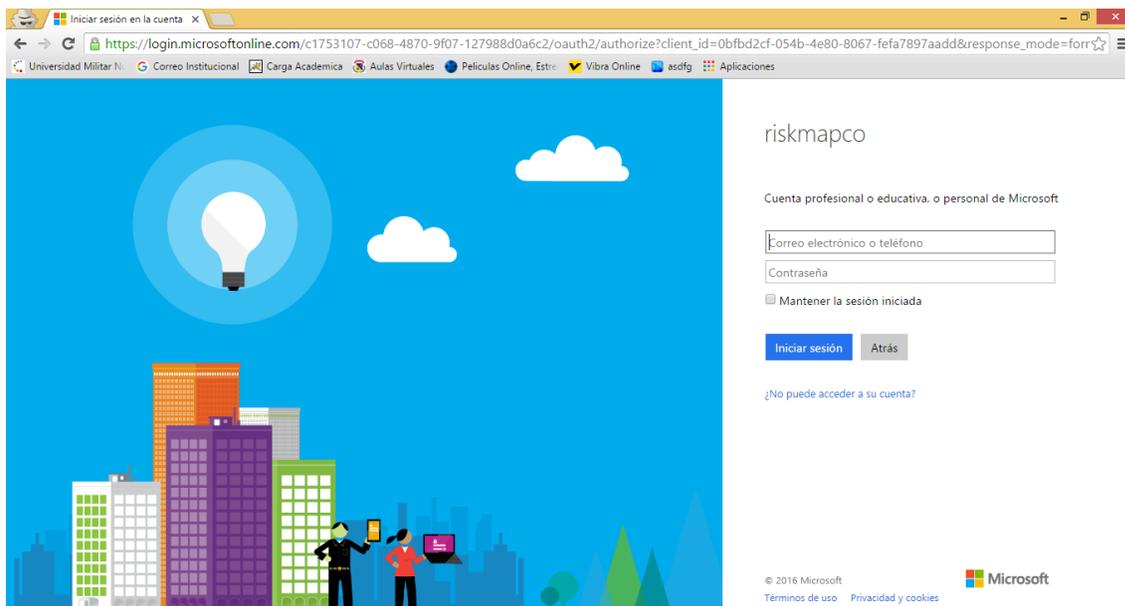


Figura 8. Interfaz de inicio de sesión a la plataforma

- Al iniciar sesión se ingresa al panel principal de la plataforma en la cual se encuentra el mapa de riesgo de calidad del agua (esquina superior izquierda), la grafica de mediciones historicas (esquina superior derecha), el historial de alarmas (esquina inferior izquierda) y las estadísticas de las mediciones como valor máximo mínimo y promedio (esquina inferior derecha)

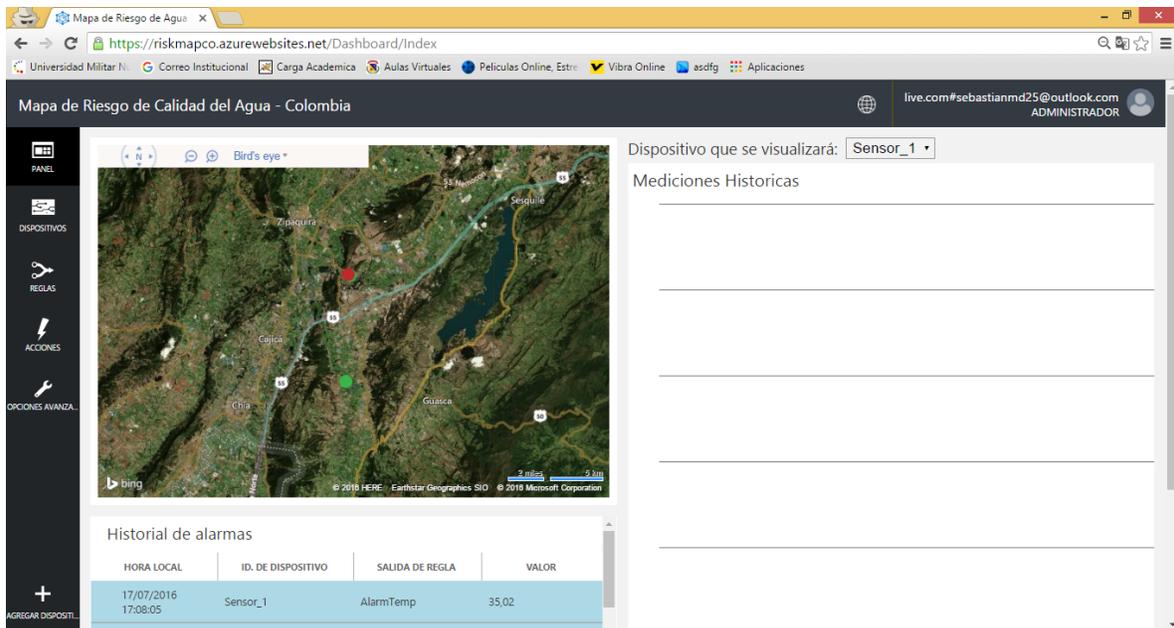


Figura 9.Vista superior del panel principal de la aplicación.

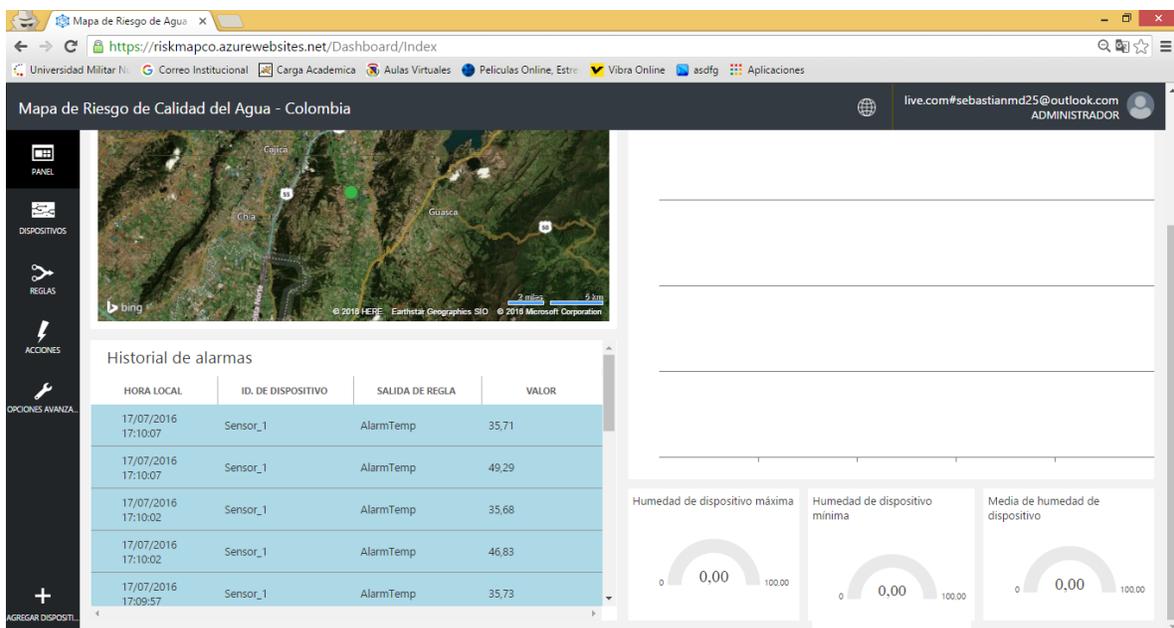


Figura 10.Vista inferior del panel principal de la aplicación

Hasta aquí llega la interfaz del usuario ya que solo tiene acceso a ver el mapa de riesgo las estadísticas y los eventos que ocurren con las mediciones, las interfaces que están a continuación se pueden ver sin modificar nada de información.

- En esta interfaz se encuentran la lista de los dispositivos conectados y las especificaciones del mismo. Un usuario normal solo puede leer esta información cuando se ingresan con credenciales de administrador se puede modificar la información de los dispositivos como el procesador el fabricante y la ubicación geográfica.

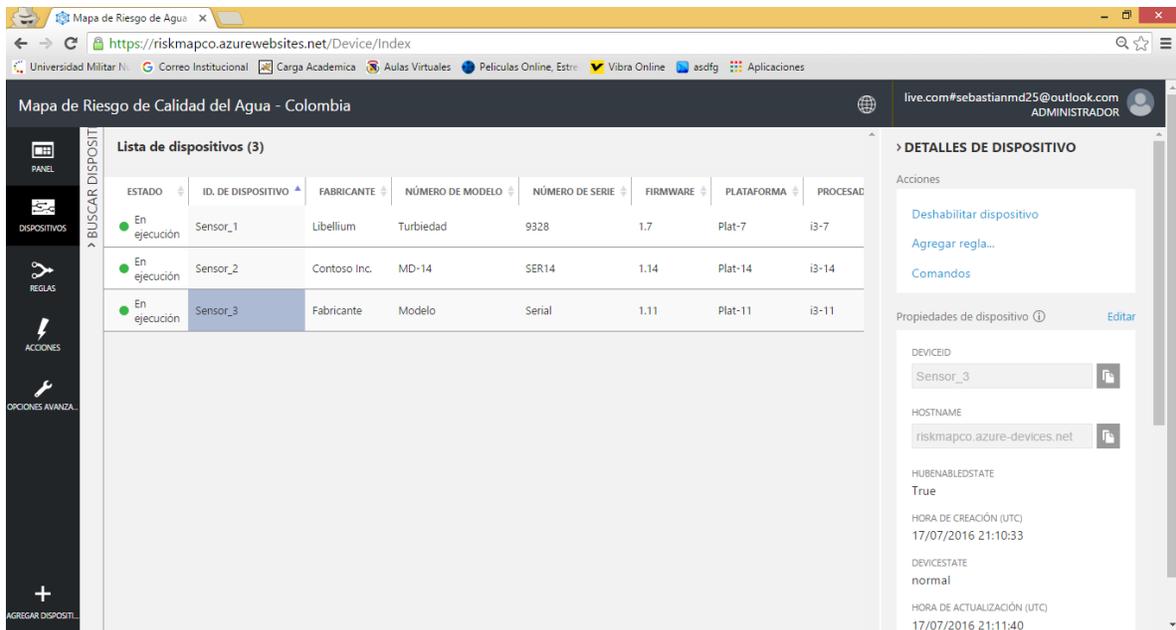


Figura 11. Interfaz donde se encuentran los dispositivos.

- En la siguiente interfaz se puede apreciar las alarmas configuradas para cada dispositivo a esta información solo se puede acceder con credenciales de administrador y se puede modificar según lo considere necesario el administrador del sistema definiendo los valores y los umbrales que generan el evento además de poder especificar la forma de notificación que se quiere tener.

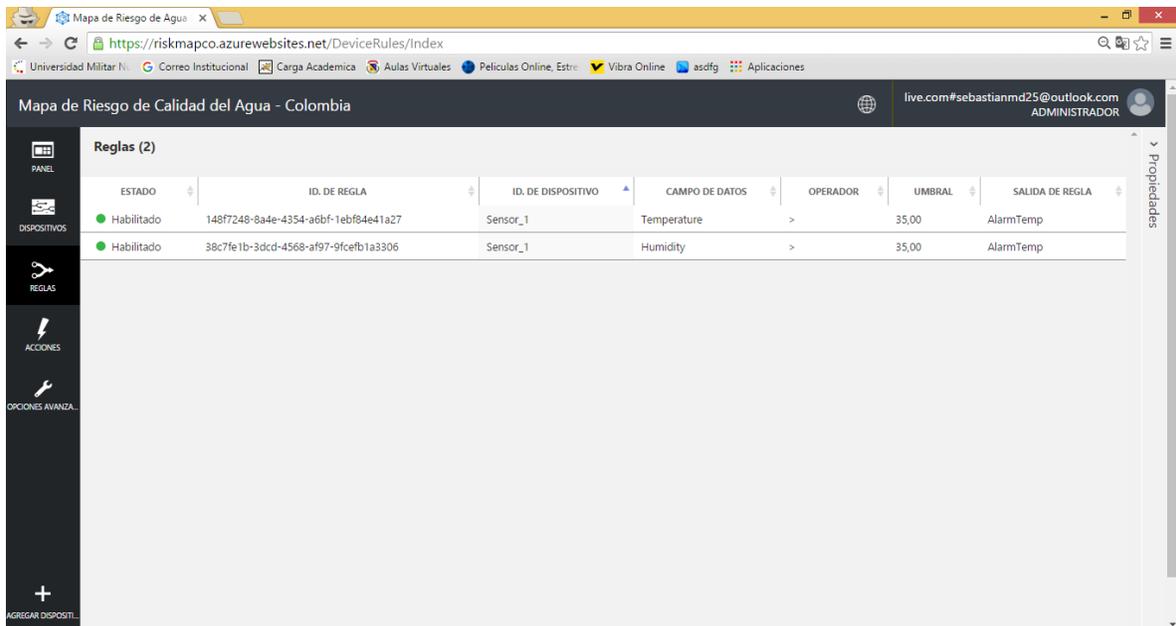


Figura 12. Interfaz donde se encuentran las alarmas configuradas para los dispositivos.

- A continuación se encuentra la interfaz de creación de nuevos dispositivos en el sistema, con credenciales de administrador se da clic en la opción agregar dispositivo lo cual abre la siguiente pantalla

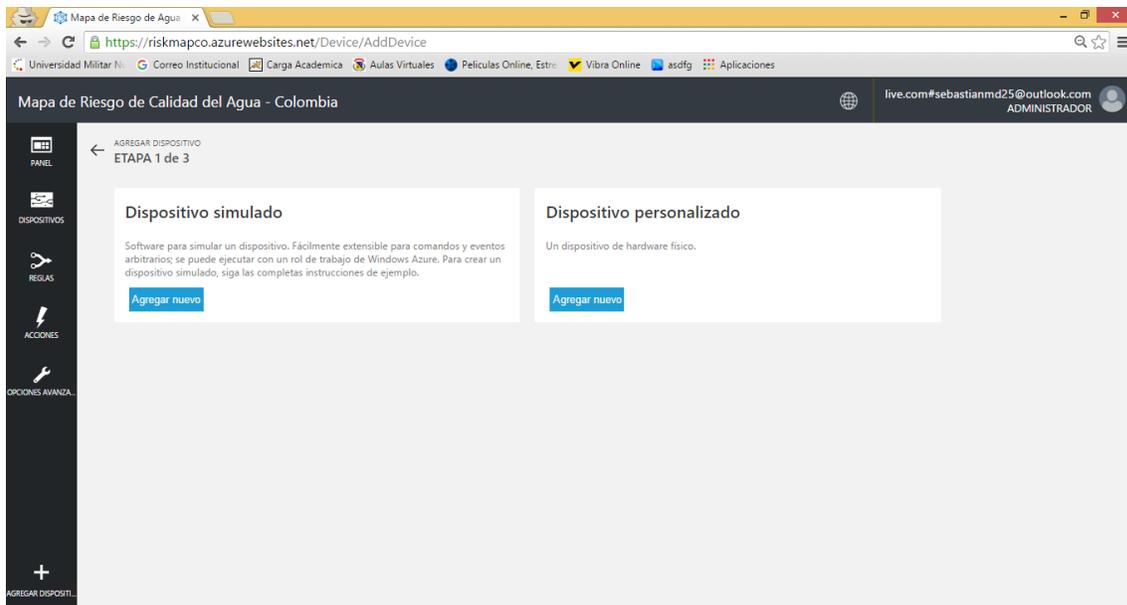


Figura 13. Interfaz donde se agregan nuevos dispositivos.

- Como no se tienen dispositivos físicos para configurar se selecciona la opción dispositivo simulado lo que lo asocia al web Job configurado para la creación de datos aleatorios a través de este dispositivo el cual se podrá ver y modificar en el menú dispositivos (figura 11). En la siguiente ventana se le asigna un nombre y se crea el dispositivo.

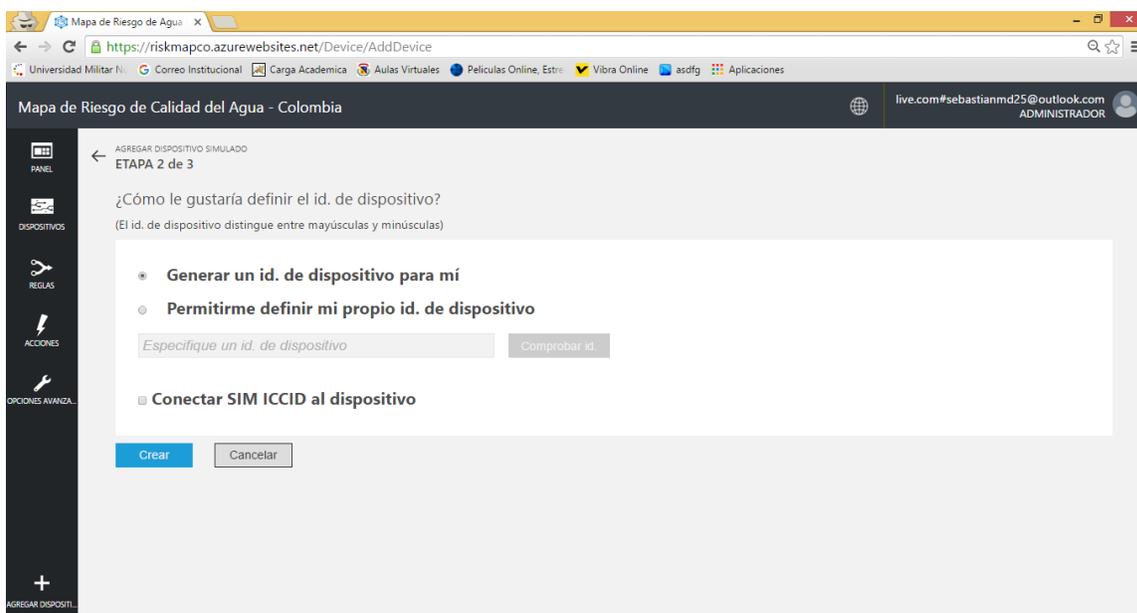


Figura 14. Interfaz donde se configura el nombre al nuevo dispositivo.

- En la ventana que se abre a continuación se muestra un resumen del dispositivo creado a lo que se da aceptar y ya se puede ver el dispositivo nuevo en el menú dispositivos (Figura 11) donde se puede configurar.

## 6. Elaboración de propuesta económica de sistema de análisis de la calidad del agua

Como primera medida se plantea la siguiente topología para este sistema, compuesta por los sensores que van conectados a los módulos plug & Sense mediante un cable, y estos a su vez están conectados mediante 3G al módulo meshlium quien también utiliza la banda 3G para enviar los datos de los sensores hacia la nube, a donde se conectarán los usuarios mediante una plataforma web para conocer el estado de los ríos estudiados.



Figura 15. Topología propuesta para la Solución

Para poder implementar esta topología se tienen que adquirir los siguientes productos los cuales se encuentran con sus respectivos precios más adelante.

- 3 Módulos Plug & Sense:



Figura 16. Módulo Wasmote <sup>[11]</sup>

- 1 Modulo Meshlium



Figura 17. Módulo Meshlium <sup>[11]</sup>

- 3 Baterías Recargables con Panel Solar Externo:



Figura 18. Panel Solar <sup>[11]</sup>

- Kit de Calibración de Sensores:



Figura 18. Kit de Calibración de Sensores. <sup>[11]</sup>

- 2 Sensores de pH



Figura 19. Sensor de pH <sup>[11]</sup>

- 1 Sensor de Turbiedad



Figura 20. Sensores de Turbiedad<sup>[11]</sup>

- 10 Sensores de Iones (2 por cada Ion analizado):



Figura 21. Ejemplo de Sensor de Iones<sup>[11]</sup>

A continuación se anexa la tabla con los costos del sistema Libelium que se puede implementar donde se encuentra el nombre del dispositivo, la referencia con la que se encuentra en el catálogo de productos publicado por este fabricante, la cantidad que se requiere para la topología de prueba que se presenta en la figura 15, el precio por unidad de cada producto según se encuentra publicado en el catálogo en vigencia para 2016, y por último el precio total de cada producto. En la última fila encontramos el costo total para la solución de Libelium.

En resumen se propuso una solución con 1 módulo meshlium, 3 módulos Plug & Sense, 3 paneles solares para la alimentación de los Plug & Sense, 2 Sensores de pH, 2 Sensores por cada Ion en estudio, 1 Sensor de Turbidez, 1 Kit de Calibración para los sensores de cada una de las características analizadas, Y adicional se adquieren unos servicios de soporte como son 5 Horas de consultoría técnica, y Servicio de programación de los módulos Plug & Sense.

En la siguiente tabla (tabla 11) se encuentra la información más detallada para la solución Libelium, esta parte solo garantiza la comunicación de los sensores hasta el módulo meshlium (Ver Figura 15) añadiendo los costos por comunicación (ver tabla 12).

Dispositivo	Referencia	Cantidad	Precio Unid.	Precio Total
Meshlium 3G-AP	M-3G	1	815 €	815 €
6600mAh rechargeable battery + external solar panel 7V – 500mA	6600-EXT	3	65 €	195 €
Plug & Sense! SW 3G	SW-3G	1	635 €	635 €
Sensor de Turbidez	9353-P	1	2.900 €	2.900 €
Plug & Sense! SWI Single 3G	SWI-S-3G	2	620 €	1.240 €
Sensor de pH	9363	2	45 €	90 €
Sensor de Ion de Cobre (Cu2+)	9358	2	170 €	340 €
Sensor de Ion de Fluoruro (F-)	9353	2	170 €	340 €
Sensor de Ion de Plata(Ag2+)	9362	2	170 €	340 €
Sensor de Ion de Cloruro(Cl -)	9357	2	170 €	340 €
Sensor de Ion de Nitrato (NO3)	9355	2	170 €	340 €
Kit Calibración de pH	9343	1	52 €	52 €
Kit Calibración de Cobre	9390	1	99 €	99 €
Kit Calibración de Fluoruro	9367	1	99 €	99 €
Kit Calibración de Plata	9392	1	99 €	99 €
Kit Calibración de Cloruro	9389	1	99 €	99 €
Kit Calibración de Nitrato	9369	1	99 €	99 €
Consultoría Técnica 5 Horas	TC – 5	1	405 €	405 €
Servicio de Programación Plug & Sense	PROG	1	500 €	500 €
<b>COSTO TOTAL DE LA SOLUCION</b>				<b>8.122 €</b>
<b>COSTO TOTAL DE LA SOLUCION (COP 1€ = \$3214) <sup>[26]</sup></b>				<b>\$26'104.108</b>

Tabla 11. Relación de Costos por servicios de Libelium. <sup>[11]</sup>

A continuación se encuentran los costos por comunicación de los sensores hacia el módulo meshlium utilizando la tecnología 3G de Claro, se consideró conectar 3 módulos waspmote por lo que se debe adquirir un plan de internet móvil para cada uno de estos módulos, ya que cada uno de estos soporta la adaptación de una tarjeta SIM para acceder a la Banda de esta tecnología.

CANTIDAD DE PLANES ADQUIRIDOS	CAPACIDAD DE DATOS INCLUIDA	PLAN	CFM CON IVA*	COSTO TOTAL MES
3	1536MB (1,5GB)	Plan 1500 MB 2016 Nv	\$ 36.900	\$ 110700

Tabla 12. Relación de costos por Servicio de Telefonía. <sup>[22]</sup>

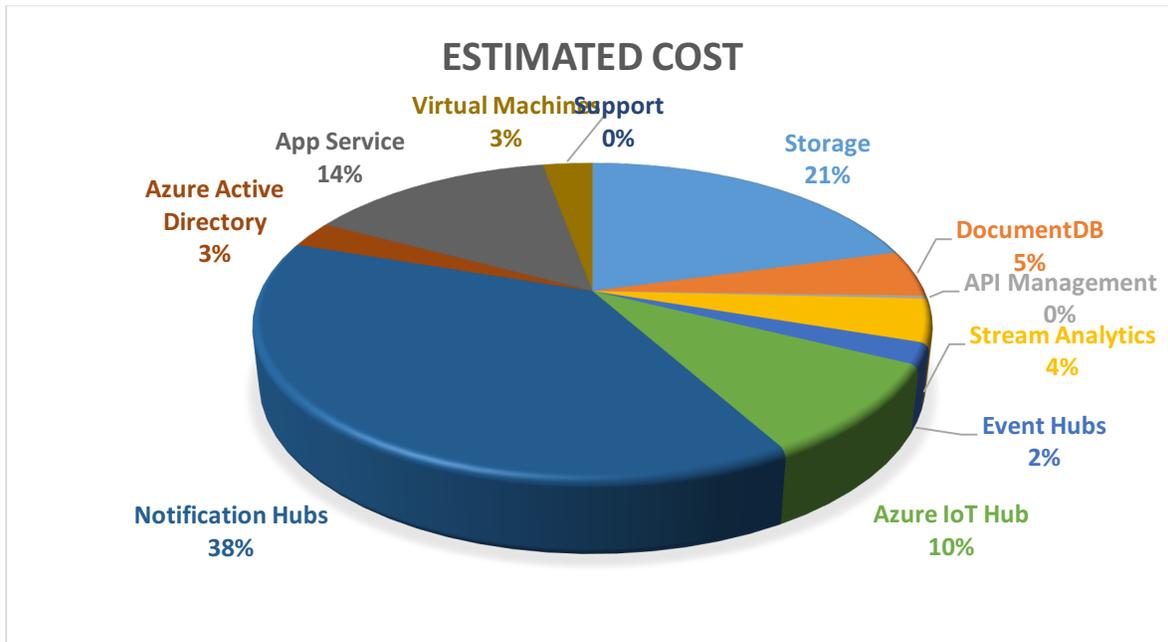
Por último se hizo el estudio de los costos en Azure para este servicio el cual se encuentra relacionado en la tabla a continuación y de igual manera se graficó distinguiendo los porcentajes para cada servicio.

En la siguiente tabla se encuentra la información de los costos que fueron calculados directamente por Microsoft al hacer una cotización de los productos que se van a requerir, implementando todos los elementos contenidos en la arquitectura detallada propuesta en la Figura 6

TIPO DE SERVICIO	NOMBRE	COSTO ESTIMADO	PORCENTAJE
Storage	Storage	€91.14	21%
DocumentDB	DocumentDB	€21.08	5%
API Management	Administración de API	€1.33	0%
Stream Analytics	Análisis de transmisiones	€19.45	4%
Event Hubs	Event Hubs	€9.43	2%
Azure IoT Hub	Centro de IoT de Azure	€42.17	10%
Notification Hubs	Hub de Notificaciones	€168.66	38%
Azure Active Directory	Directorio Activo de Azure	€11.81	3%
App Service	Servicio de aplicaciones	€62.74	14%
Virtual Machines	Máquinas virtuales	€12.55	3%
Support	Soporte Técnico	€0.00	0%
TOTAL MENSUAL		€440.36	100%
<b>TOTAL MENSUAL (COP 1€ = \$3214) [26]</b>		<b>\$1'415.317,04</b>	<b>100%</b>

Tabla 13. Costos de Azure Mensuales para la implementación de IoT<sup>[27]</sup>

En el gráfico que se encuentra a continuación está detallado la asignación de porcentajes para el costo de cada uno de los servicios, se puede observar que los mayores porcentajes pertenecen al almacenamiento y al hub de notificaciones, entendiéndose esto como que los datos no tendrán un procesamiento tan detallado a menos que se presente un evento extraño, y por otra parte el almacenamiento si será grande ya que se estarán enviando datos de manera permanente.



Grafica 1. Costos de Azure Mensuales para la implementación de IoT<sup>[27]</sup>

## 7. Consideraciones y Discusión

El desarrollo de este proyecto se realizó como un escenario piloto, se creó una plataforma virtual en la que con la ayuda de unos Web Jobs previamente configurados se simuló las mediciones de sensores para poder visualizarse en el mapa de riesgo, ya que por varias limitantes y por el alcance que se definió del proyecto no se pudieron hacer pruebas reales. Además se utilizó la suite de IoT de Azure para el desarrollo de la plataforma y los servicios en Azure. Teniendo en cuenta estas afirmaciones y al haber conocido las características del desarrollo del internet de las cosas, cabe resaltar las siguientes consideraciones que sería interesante desarrollar en trabajos futuros teniendo en cuenta los servicios que se deben implementar y los costos que se presentaron en esta propuesta buscando brindar una solución más completa y económicamente más viable:

- Implementar un sistema masivo de medición de calidad del agua en el que se utilicen dispositivos reales y se implemente en unas condiciones geográficas reales, sería bueno para medir los patrones estadísticos de los datos utilizando diferentes tecnologías, y así poder calcular datos que no se tuvieron en cuenta como los retardos en la transmisión de la información, el throughput
- Realizar pruebas reales donde no se utilicen datos simulados para diseñar un sistema que sea escalable de tal forma que se pueda implementar de manera real utilizando como casos de estudio fuentes hídricas reales y con la visualización en línea se pueda validar la información capturada por los sensores.
- Garantizar la protección de datos implementado políticas de seguridad para asegurar la confidencialidad, la integridad y la disponibilidad de los datos además de garantizar la protección de los datos del usuario con la implementación del protocolo HTTPS en la plataforma y adquiriendo un certificado de seguridad para tener la certeza de que la información de los usuarios no será fácilmente capturada por piratas informáticos.
- Implementar un mapa de riesgo de calidad del agua utilizando otras herramientas de IoT como Amazon Web Services o IBM Bluemix entre otros proveedores comparando costos, facilidad en el desarrollo e integración de servicios con respecto a otros proveedores, se debe analizar cada uno de los componentes utilizados en esta propuesta y de igual manera que se realizó en este proyecto comparar las especificaciones técnicas y el costo de los servicios haciendo una relación costo – beneficio para entender si es más viable utilizar algún proveedor de información en específico.
- Desarrollar una propuesta para la implementación de un sistema de análisis de aguas residuales y de esta manera poder controlar y garantizar la salubridad en ambos extremos de los centros de acopio y distribución de agua preservando el medio ambiente y asegurando que los usuarios puedan tener información actualizada de las fuentes hídricas de su interés.
- Analizar otros protocolos de comunicación que no se utilizaron en esta propuesta como ZigBee, LoraWAN, para saber qué ventajas y desventajas pueden tener cada uno en comparación con la tecnología 3G, además contemplar la posibilidad que existe de utilizar 4G estudiando si los dispositivos soportan esta tecnología e investigando como se podría mejorar el sistema en cuestión de tecnologías de transmisión

- Investigar acerca de nuevos proyectos que se desarrollen con respecto al tema en Colombia y que avances presentan en estos y como se podrían mejorar e implementar en caso de una posible licitación para el desarrollo de un tema similar

## **8. Conclusiones.**

Al finalizar el desarrollo de este proyecto, después de haber analizado cada uno de los procesos desarrollados y los resultados de cada uno de los procesos se puede concluir que:

- El agua al ser indispensable para la vida, debido a la necesidad que tiene nuestro cuerpo de consumirla para poder realizar sus procesos naturales para preservar nuestra vida, es igual de necesario que se desarrolle un sistema de análisis inspección y control de las fuentes hídricas para que se sigan evitando los altos índices de enfermedades y problemáticas ocasionados por el consumo de agua contaminada. Por esta razón desde el área de la ingeniería se pretende lanzar a producción sistemas como el propuesto en este proyecto para garantizar el control sobre las fuentes hídricas y el acceso de la ciudadanía a estos datos.
- La turbidez y el color del agua son las únicas características físicas que se pueden medir de manera sistematizada en el agua, ya que los demás parámetros según los expone la norma técnica colombiana 813 son parámetros que se detectan a simple vista y no se necesita un patrón o una medición más específica para su análisis.
- Los parámetros de calidad del agua que se utilizaron en el estudio de este proyecto no se seleccionaron por el índice de riesgo que cada uno de estos parámetros podría generar en el cuerpo de las personas, la fauna y la flora sino que se hizo con una previa validación en el mercado para saber que sensores eran más comerciales y basados en esto se seleccionaron los que parecían ser más fáciles de obtener,
- Los dos fabricantes sobre los cuales se realizó el estudio de comparación técnica y económica de los sensores no fueron sometidos a ningún tipo de evaluación para su selección, simplemente se seleccionaron dos fabricantes al azar sobre los cuales si se revisaron los criterios que debían cumplir y con base en esto fue que se obtuvo un fabricante seleccionado para el desarrollo de la propuesta económica.
- El sistema propuesto pretende garantizar la disponibilidad de la información del estado de las fuentes hídricas en un área geográfica determinada, implementado una tecnología que está emergiendo como es el concepto de internet de las cosas, el cual se debe trabajar más a fondo para brindar al usuario final una solución más estable, y para el administrador económicamente más viable.
- Es necesario capacitar además a la comunidad para que entre todos se pueda entender esta problemática que afecta a todos y utilizando las herramientas que se desarrollaran como la de este proyecto o trabajos futuros se cree conciencia y se entienda el riesgo al que se expone toda la población al no tener cuidado con el grado de contaminación que se tienen en las fuentes hídricas y el hecho que genera todo esto que es la mano del hombre y su paso desenfrenado de destrucción de sus propios recursos vitales.

## 9. Referencias

- [1] Conner, Margery (27 de mayo de 2010). Sensors empower the "Internet of Things" (Issue 10). pp. 32-38. ISSN 0012-7515
- [2] Decreto 1575 “Sistema Para la Protección y Control de la calidad para consumo Humano”, Ministerio de la Protección social, Republica de Colombia, 9 de Mayo de 2007.
- [3] de ICONTEC, C. T. (1994). Norma Técnica Colombiana número 813 de 1994. Normas Oficiales para la Calidad de Agua potable, por el cual se establecen los requisitos físicos, químicos y microbiológicos que debe cumplir el agua potable. Bogotá DC: ICONTEC.
- [4] Areny, R. P. (2004). Sensores y acondicionadores de señal. Marcombo.
- [5] Marcó, L., Azario, R., Metzler, C., & del Carmen, M. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). Rev. Sanid. Ambient, 82, 72-82.
- [6] Garg, V. K., & Rappaport, T. S. (2001). Wireless network evolution: 2G to 3G. Prentice Hall PTR.
- [7] Agencia de Protección ambiental de los Estados Unidos, EPA (2000). Estándares del Reglamento Nacional Primario de Agua Potable. EPA 815-F-00-007, [online] Available at: [http://water.epa.gov/drink/guide/upload/book\\_waterontap\\_full.pdf](http://water.epa.gov/drink/guide/upload/book_waterontap_full.pdf), Marzo de 2011 [Accessed 20 Jul. 2016].
- [8] Transmisión de protozoarios patógenos a través del agua para consumo humano YEZID SOLARTE, BIOL., M.SC. 1, MIGUEL PEÑA, ING. SANIT., M.SC., PH.D. 2, CARLOS MADERA, ING. SANIT., M.SC. 3
- [9] Libelium.com. (2016). About Libelium | Libelium. [online] Available at: <http://www.libelium.com/about-libelium/> [Accessed 20 Jul. 2016].
- [10] Libelium, Smart Water Ions Technical Guide, ver. 4.4, Zaragoza España: © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L.,Junio de 2016.
- [11] Libelium, Catalogo de Productos, ver. 8.6, Zaragoza España: © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L.,Marzo de 2016.
- [12] METTLER TOLEDO, (2016). Equipos & SolucionesMETTLER TOLEDO. [online] Mt.com. Available at: <http://www.mt.com/es/es/home.html> [Accessed 9 Jul. 2016].
- [13] METTLER TOLEDO. (2016). Sensores de pH para agua pura. [online] Mt.com. Available at: <http://www.mt.com/int/es/home/products/Process-analytics/pH-probe/pH-ORP-Thornton-water.html> [Accessed 8 Jul. 2016]
- [14] METTLER TOLEDO, M. (2016). DX219-F Fluoride half-cell. [online] Mt.com. Available at: [http://www.mt.com/int/es/home/products/Laboratory\\_Analytics\\_Browse/Product\\_Family\\_Browse\\_t](http://www.mt.com/int/es/home/products/Laboratory_Analytics_Browse/Product_Family_Browse_t)

titrators\_main/Product\_Family\_Titration\_Sensors/Titration\_Ion\_Selective\_sensors\_Fami/Flouride\_Electrode.html [Accessed 8 Jul. 2016].

[15] METTLER TOLEDO, M. (2016). DX264 Copper Half Cell. [online] Mt.com. Available at: [http://www.mt.com/int/es/home/products/Laboratory\\_Analytics\\_Browse/Product\\_Family\\_Browse\\_titrators\\_main/Product\\_Family\\_Titration\\_Sensors/Titration\\_Ion\\_Selective\\_sensors\\_Fami/DX264\\_Copper\\_Half\\_Cell.html](http://www.mt.com/int/es/home/products/Laboratory_Analytics_Browse/Product_Family_Browse_titrators_main/Product_Family_Titration_Sensors/Titration_Ion_Selective_sensors_Fami/DX264_Copper_Half_Cell.html) [Accessed 8 Jul. 2016].

[16] METTLER TOLEDO, M. (2016). perfectION™ comb Ag/S2 Lemo Combination Electrode. [online] Mt.com. Available at: [Http://www.mt.com/int/es/home/products/Laboratory\\_Analytics\\_Browse/Product\\_Family\\_Browse\\_titrators\\_main/Product\\_Family\\_Titration\\_Sensors/Titration\\_Ion\\_Selective\\_sensors\\_Fami/ion\\_Ag-S2\\_Lemo.html](Http://www.mt.com/int/es/home/products/Laboratory_Analytics_Browse/Product_Family_Browse_titrators_main/Product_Family_Titration_Sensors/Titration_Ion_Selective_sensors_Fami/ion_Ag-S2_Lemo.html) [Accessed 8 Jul. 2016].

[17] METTLER TOLEDO, M.(2016). DX262-NO3 Nitrate half-cell. [online] Mt.com. Available at: [http://www.mt.com/int/es/home/products/Laboratory\\_Analytics\\_Browse/Product\\_Family\\_Browse\\_titrators\\_main/Product\\_Family\\_Titration\\_Sensors/Titration\\_Ion\\_Selective\\_sensors\\_Fami/Nitrate\\_Electrode.html](http://www.mt.com/int/es/home/products/Laboratory_Analytics_Browse/Product_Family_Browse_titrators_main/Product_Family_Titration_Sensors/Titration_Ion_Selective_sensors_Fami/Nitrate_Electrode.html) [Accessed 20 Jul. 2016].

[18] METTLER TOLEDO, M. (2016). DX235-Cl Chloride half-cell. [online] Mt.com. Available at: [http://www.mt.com/int/es/home/products/Laboratory\\_Analytics\\_Browse/Product\\_Family\\_Browse\\_titrators\\_main/Product\\_Family\\_Titration\\_Sensors/Titration\\_Ion\\_Selective\\_sensors\\_Fami/Chloride\\_Electrode.html](http://www.mt.com/int/es/home/products/Laboratory_Analytics_Browse/Product_Family_Browse_titrators_main/Product_Family_Titration_Sensors/Titration_Ion_Selective_sensors_Fami/Chloride_Electrode.html) [Accessed 8 Jul. 2016].

[19] STORE. (2016). Electrodos selectivos de iones | VWR. [online] Available at: <https://es.vwr.com/store/product/561613/electrodos-selectivos-de-iones> [Accessed 8 Jul. 2016].

[20] Libelium, Waspote Plug & Sense! Technical Guide, ver. 8.6, Zaragoza España: © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., Julio de 2016.

[21] TIEMPO, E. (2015). *Claro es el mejor operador de Colombia, dice publicación internacional - Empresas - El Tiempo*. [online] El Tiempo. Available at: <http://www.eltiempo.com/economia/empresas/claro-recibe-premio-como-el-mejor-operador-movil-del-pais/15057239> [Accessed 10 Jul. 2016].

[22] Claro.com.co. (2016). *Internet Móvil | Claro Colombia*. [online] Available at: <http://www.claro.com.co/wps/portal/co/pc/personas/internet/internet-movil/Internet-movil-consumo-incluido/contenidos> [Accessed 8 Jul. 2016].

[23] Oxforddictionaries.com. (2016). *cómputo: definición de cómputo en el Diccionario Oxford (español)*. [online] Available at: <http://www.oxforddictionaries.com/es/definicion/espanol/computo> [Accessed 10 Jul. 2016].

[24] Oxforddictionaries.com. (2016). *conectividad: definición de conectividad en el Diccionario Oxford (español)*. [online] Available at: <http://www.oxforddictionaries.com/es/definicion/espanol/conectividad> [Accessed 10 Jul. 2016].

[25] Oxforddictionaries.com. (2016). *almacenamiento: definición de almacenamiento en el Diccionario Oxford (español)*. [online] Available at: <http://www.oxforddictionaries.com/es/definicion/espanol/almacenamiento> [Accessed 10 Jul. 2016].

[26] Eur.es.fxexchangerate.com. (2016). *Euro(EUR) Para Peso colombiano(COP) Tipo de Cambio Hoy - Forex - Tipo de Cambio*. [online] Available at: <http://eur.es.fxexchangerate.com/cop/> [Accessed 21 Jul. 2016].

[27] Azure.microsoft.com. (2016). Calculadora de precios | Microsoft Azure. [online] Available at: <https://azure.microsoft.com/es-es/pricing/calculator/> [Accessed 18 Jul. 2016].