

DISEÑO, PARAMETRIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE  
SENSORES PARA MONITOREO DE VARIABLES HIDROMETEOROLÓGICAS,  
COMO PARTE DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA SOBRE LOS RÍOS  
MOCOA, MULATO, SANGOYACO Y LAS QUEBRADAS TARUCA Y TARUQUITA  
EN EL MUNICIPIO DE MOCOA PUTUMAYO, EN LA EMPRESA FEDERMAN  
COMUNICACIONES.



JUAN FELIPE GÓMEZ ÁVILA

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACION.

PROGRAMA DE INGENIERIA FÍSICA

POPAYÁN

2019

DISEÑO, PARAMETRIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE  
SENSORES PARA MONITOREO DE VARIABLES HIDROMETEOROLÓGICAS,  
COMO PARTE DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA SOBRE LOS RÍOS  
MOCOA, MULATO, SANGOYACO Y LAS QUEBRADAS TARUCA Y TARUQUITA  
EN EL MUNICIPIO DE MOCOA PUTUMAYO, EN LA EMPRESA FEDERMAN  
COMUNICACIONES

JUAN FELIPE GÓMEZ ÁVILA

Trabajo en modalidad de práctica profesional presentado como requisito para  
optar al título de Ingeniero Físico

Director:

WILFRAND PEREZ URBANO

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN.

PROGRAMA DE INGENIERIA FÍSICA

POPAYÁN

2019

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

\_\_\_\_\_  
Firma del director: Willfrand Pérez Urbano

\_\_\_\_\_  
Firma del jurado: María Magdalena Falla Solorzano

\_\_\_\_\_  
Firma del jurado: Eduardo Cañola Sotelo

Popayán, 12 de Noviembre de 2019.

## DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a.

A mis padres Carlos y Gloria quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades que día a día afronto.

A mis hermanos y hermanas Julián, Sirley y Gloria por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento, gracias. A toda mi familia porque con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todas mis amigos y amigas, por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día.

## **AGRADECIMIENTOS**

Me gustaría agradecer en estas líneas la ayuda que muchas personas y colegas me han prestado durante el proceso de investigación y redacción de este trabajo. En primer lugar, quisiera agradecer a los profesores Luis Fernando Echeverri y Claudia Camargo, por su ejemplo y guía como profesionales y excelentes personas.

Así mismo, deseo expresar mi reconocimiento a la empresa Federman Comunicaciones y a todo su equipo de trabajo por brindarme las atenciones e información a lo largo de esta indagación.

Quiero agradecer de forma especial a mi jefe, Federman Escobar, que fue en todo momento una persona paciente y positiva en el transcurso de este desarrollo, por brindarme sus consejos y conocimientos de forma incondicional. por último, por ser un ejemplo que seguir como profesional y aún más importante como persona.

A la Universidad de Cauca por ser la sede de todo el conocimiento adquirido en estos años.

# CONTENIDO

	pág.
1 INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 Objetivo general .....	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
2 CONTEXTUALIZACIÓN Y ANTECEDENTES .....	17
2.1.1 FEDERMAN COMUNICACIONES.....	17
2.1.2 Experiencia previa sobre trabajo en SAT.....	17
2.1.3 Tragedia Mocoa.....	18
2.1.4 Mejoras del SAT en Mocoa.....	20
2.2 MARCO TEÓRICO .....	21
2.2.1 Sistema de Alerta Temprana .....	21
2.2.2 Gestión del riesgo de desastres .....	22
2.2.3 Precipitación.....	23
2.2.4 Ultrasonido .....	25
2.2.5 Sensor I2CXL-MaxSonar-WR.....	27
2.2.6 Clasificación de la intensidad de lluvia.....	28
2.2.7 Otras variables meteorológicas .....	28
2.2.8 Firmware .....	32
2.2.9 Red Virtual Privada.....	32
2.2.10 WebSockets .....	33
2.2.11 Sistemas empotrados.....	34

3	PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO .....	34
3.1.1	Esquema general .....	35
3.1.2	Identificación de puntos de instalación .....	36
3.1.3	Variables de interés .....	40
3.1.4	Escogencia de sensores.....	40
3.1.5	Unidad integral de adquisición, acondicionamiento y transmisión de datos	46
3.1.6	Libelium .....	46
3.1.7	Protocolo y perfiles de comunicación.....	48
3.1.8	<i>Firmware.</i> .....	49
3.1.9	Aplicativo de monitoreo y alerta .....	50
4	RESULTADOS Y ANALISIS .....	52
4.1.1	Acondicionamiento e instalación de los sensores .....	52
4.1.2	Características del firmware de sensor de nivel de río.....	57
4.1.3	Dispositivos de radiocomunicación .....	60
4.1.4	Parametrización del aplicativo del sistema de monitoreo y alerta .....	63
4.1.5	Central de monitoreo y alerta.....	67
4.1.6	Parametrización del sistema de monitoreo. ....	67
4.1.7	Ejemplo de caso de emergencia.....	72
5	CONCLUSIONES .....	75
6	RECOMENDACIONES .....	76
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	78
8	ANEXOS.....	81

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<i>Tabla 1.</i> Estados de alerta. ....	22
<i>Tabla 2.</i> Sensores escogidos para medición de variables hidrometeorológicas. ...	44
Tabla 3 Resultados entregados por JUP para la parametrización de alertas .....	72

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<i>Figura 1.</i> Logo de la empresa Federman Comunicaciones. ....	17
Figura 2 Afluentes hídricos que rodean Mocoa. ....	19
Figura 3 Deslizamientos y zona de impacto .....	20
Figura 4 Representación de 1mm de lluvia .....	24
Figura 5 Precipitaciones orográficas .....	24
Figura 6 Emisión y recepción de ondas de un sensor ultrasónico .....	26
Figura 7 MB7040 I2CXL-MaxSonar-WR .....	27
Figura 8 Anemómetro de cazoletas.....	29
<i>Figura 9.</i> Esquema general del sistema de monitoreo.....	35
<i>Figura 10.</i> Puntos de instalación de estaciones hidrológicas en los afluentes del río Mocoa y que atraviesan la cabecera municipal. ....	38
<i>Figura 11.</i> Puntos de instalación de estaciones hidrológicas en los afluentes del río Mocoa y que atraviesan la cabecera municipal. ....	39
<i>Figura 12.</i> Puntos de instalación de estaciones meteorológicas. ....	39
<i>Figura 13.</i> MCP9700 .....	42
<i>Figura 14.</i> MPU6050. ....	43
<i>Figura 15.</i> Estación meteorológica WS-3000. ....	43
<i>Figura 16.</i> BME280. ....	44
<i>Figura 17.</i> Modelo Smart Agriculture.....	46
<i>Figura 18.</i> Módulo Smart Agriculture alimentado por un panel solar externo.....	47
<i>Figura 19.</i> Módulo Digi XBee-Pro 900HP.....	48
Figura 20 Primer bosquejo del Visualizador .....	51

<i>Figura 21.</i> Montaje de instalación del sensor de nivel del río. ....	53
<i>Figura 22.</i> Montaje de instalación del sensor de temperatura, estación hidrológica. .....	53
<i>Figura 23.</i> Acelerómetro integrado en la tarjeta Waspote. ....	54
<i>Figura 24.</i> Conexión de sensores al módulo Smart Agriculture. ....	54
<i>Figura 25.</i> Base de concreto. ....	55
<i>Figura 26.</i> Instalación de la estación hidrológica. ....	55
<i>Figura 27.</i> Montaje de instalación del sensor de temperatura, estación meteorológica. ....	56
<i>Figura 28.</i> Instalación de la estación meteorológica. ....	57
<i>Figura 29.</i> Muestras de datos crudos captados por el sensor de nivel de río. ....	58
<i>Figura 30.</i> Resultado de la aplicación de filtro a los datos crudos captados por el sensor de nivel de río. ....	59
<i>Figura 31.</i> Componentes internos del servidor. ....	62
<i>Figura 32.</i> Instalación del servidor. ....	62
<i>Figura 33.</i> Ubicación relativa entre el servidor y la central de monitoreo y alerta. ....	63
<i>Figura 34.</i> Odroid modelo XU4. ....	64
<i>Figura 35.</i> Ventana de instalación de la aplicación. ....	65
<i>Figura 36.</i> Apariencia general de la aplicación de monitoreo y alerta. ....	65
<i>Figura 37.</i> Ejemplo de gráfica de medidas de temperatura. ....	66
<i>Figura 38.</i> Visualización de información de estación meteorológica. ....	66
<i>Figura 39.</i> Central de monitoreo y alerta. ....	67
<i>Figura 40.</i> Configuración de la aplicación de visualización. ....	68
<i>Figura 41.</i> Muestra de contactos registrados en la aplicación de visualización y monitoreo. ....	68

<i>Figura 42.</i> Selección de tipo de alertas por notificar. ....	69
<i>Figura 43.</i> Configuración de perfiles usuario. ....	70
<i>Figura 44.</i> Pestaña de recepción de datos. ....	70
<i>Figura 45.</i> Configuraciones estación hidrológica. ....	71
<i>Figura 46.</i> Nivel del río Taruca en el periodo de tiempo de la emergencia de agosto de 2018. ....	73
<i>Figura 47.</i> Nivel del río Taruquita en el periodo de tiempo de la emergencia de agosto de 2018. ....	73
<i>Figura 48.</i> Mediciones del pluviómetro de la estación meteorológica Campucana en el periodo de tiempo de la emergencia de agosto de 2018. ....	74

## LISTA DE ANEXOS

pág.

*Anexo A.* Puntos de instalación de las estaciones hidrológicas y meteorológicas. 81

## 1 INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Alerta Temprana SAT, son una herramienta de prevención y mitigación de los efectos que muchos fenómenos naturales pueden generar y que atentan contra la integridad de las poblaciones. Los SAT han cobrado gran importancia en el desarrollo de la sociedad ante peligros potenciales, lo cual ha incrementado su producción, acompañados de un crecimiento en las tecnologías empleadas para su elaboración.

El presente documento comprende el informe de las actividades realizadas durante el trabajo en modalidad de práctica profesional en la empresa FEDERMAN Comunicaciones. En la cual se desarrolló una red de sensores para monitoreo de variables hidrometeorológicas, como parte de un Sistema de Alerta Temprana en el municipio de Mocoa, Putumayo.

Se darán a conocer los lineamientos y consideraciones relacionados con el diseño de una red de sensores como la elección de sensores, la creación de elementos de software y hardware necesarios para la puesta en funcionamiento de los elementos de medición, la comunicación y despliegue de la información censada.

Mencionados los elementos que conformarán el sistema de medición, se expone los procedimientos que permitieron la instalación y puesta a punto del sistema, pasando por los desafíos de la toma de datos y transmisión especialmente.

Por último, se parametrizan nombres, direcciones, umbrales y contraseñas que correspondan especialmente al despliegue de la información.

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Debido a su ubicación geográfica la cabecera municipal del municipio de Mocoa se encuentra rodeada de diferentes afluentes hídricos, dos de los cuales (rio Mulato y Sangoyaco) atraviesan la ciudad de occidente a oriente hasta desembocar en el Rio Mocoa, que delimita la ciudad en su extremo oriental, en un recorrido de norte a sur. Además, cerca del municipio de Mocoa existe la microcuenca de las quebradas Taruca y Taruquita, que desembocan en el rio Sangoyaco y otras microcuencas como la quebrada Coneja y Conejita que desembocan directamente sobre el rio Mocoa.

Sumado a su condición geohidrológica existen más condiciones sociales y geográficas, como lo son; el cambio de uso de suelos, la deforestación, suelos arenosos y arcillosos, la topografía del terreno que presenta pendientes entre 10 y 50 %, y tal vez uno de los más importantes, condiciones climáticas ideales para que se presenten lluvias copiosas. Teniendo en cuenta estos factores, se puede evidenciar el riesgo latente para la población por posibles avenidas torrenciales, como la ocurrida el pasado 31 de marzo de 2017 y que dejó una significativa pérdida de vidas humanas y daños materiales.

Como responsables de la toma de medidas para la prevención y mitigación en eventos de desastres naturales entidades gubernamentales como la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres -UNGRD, busca la implementación de Sistemas de Alertas Tempranas -SAT, los cuales son instrumentos que permiten proveer una información oportuna y eficaz a través de instituciones técnicas, científicas y comunitarias, por medio de herramientas y elementos, que permiten a los individuos expuestos a una amenaza latente, la toma de decisiones para evitar o reducir su riesgo y su preparación para que puedan brindar una adecuada respuesta teniendo en cuenta sus capacidades.

La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgo de Desastres - UNISDR, actúa como punto de enlace dentro del sistema de la Organización de

Naciones Unidas -ONU, promoviendo sinergias y la coordinación entre las diversas actividades para la reducción de desastres en los campos socioeconómico, humanitario y de desarrollo. Brindando apoyo a la integración de las diversas políticas afines. La UNISDR propone cuatro componentes fundamentales para la implementación de un SAT:

- Detección y pronóstico de amenazas
- Evaluación de los riesgos e integración de la información
- Divulgación oportuna, confiable y comprensible
- Planificación, preparación y capacitación para la respuesta en todo nivel (institucional y comunitario)

(Guía para la Implementación de sistemas de alerta temprana 2016)

Sumidos en lo anterior, la empresa Federman Comunicaciones ofrece un SAT que consta de dos organismos principales, primero, de una red de radios portátiles, los cuales se distribuyen a personas denominados vigías que se encuentran a lo largo de la rivera de los ríos y/o quebradas de interés. Segundo, de una red de sirenas ubicadas en las zonas de riesgo. El control de estos dos subsistemas se concentra en una estación base, que generalmente corresponde a un cuerpo de socorro que se encuentre disponible las 24 horas, por ejemplo, Policía Nacional, Cuerpo de Bomberos local. Sin embargo, se observa la necesidad de que la empresa, en su misión de generar soluciones tecnológicas para la adaptación a cambios climáticos y sistemas de alerta temprana, cree y complemente desarrollos técnicos sobre los componentes propuestos anteriormente y lograr así un sistema a la vanguardia de los lineamientos internacionales.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo general**

Diseñar, parametrizar e instalar una red de sensores para monitorear variables hidrometeorológicas (nivel de río, temperatura, presión barométrica, humedad relativa, precipitación, dirección y velocidad del viento.) para el SAT del municipio de Mocoa, en la empresa Federman Comunicaciones.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Determinar y acondicionar un grupo de sensores en el área de la hidrometeorología adecuados para la intemperie.
- Implementar Firmware en cada uno de los elementos correspondientes (Módulos Libelium, Servidor, Visualizador), adecuado y robusto para la correcta medición y envío de cada variable.
- Determinar protocolo y perfiles de comunicación para el envío seguro de los datos.
- Establecer los lineamientos y parámetros de una plataforma de visualización y alertamiento (aplicación de escritorio), para el despliegue de información.
- Instalar y poner a punto el sistema de monitoreo.

## 2 CONTEXTUALIZACIÓN Y ANTECEDENTES

### 2.1.1 FEDERMAN COMUNICACIONES

Federman Comunicaciones es una empresa caucana de radiocomunicaciones, cuyo objetivo principal es la resolución de necesidades de comunicación en el departamento del Cauca y el occidente colombiano. Ofrece soluciones de Radiocomunicación Analógica y Digital, diseño e instalación de redes alámbricas e inalámbricas (LAN, WLAN), amplificación celular, Sistemas de Alerta Temprana para la Gestión del Riesgo de Desastres, Sistemas de Energías Renovables y Tecnologías para la adaptación al cambio climático (Federman, 2018).

Empresa la cual tiene experiencia implementando sistemas de alerta temprana, basada exclusivamente en sirenas y comunicaciones, en lugares como Tumaco, Timana, San Andrés y Providencia entre otras.



*Fuente 1 (Federman, 2018)*

*Figura 1. Logo de la empresa Federman Comunicaciones.*

### 2.1.2 Experiencia previa sobre trabajo en SAT

La empresa Federman Comunicaciones ha venido prestando servicios y productos como instalación y puesta en marcha de redes de radio y sistemas de alerta temprana. Un caso particular es el trabajo de monitoreo, vigilancia y alerta en el municipio de Salgar en Antioquia, como parte de un programa de atención y prevención de desastres naturales. En un principio, la intervención de la empresa comprendía únicamente la función de divulgación, para lo cual se contó con un sistema de alerta consistente en sirenas remotas enlazadas a una central, desde la cual éstas podían ser activadas. La fase de monitoreo, que no correspondía a la empresa, contó con la distribución de equipos de radio a personas identificadas

como vigías, que se encontraban constantemente en las zonas altas de las cuencas hidrográficas.

Surgió la necesidad de un complemento técnico automatizado para las labores de monitoreo, por lo cual la empresa intervino en esta área implementando una red básica de sensores de medición de nivel de río, módulos de transmisión a una central y a internet de la información proveniente de los sensores, filtros para el adecuamiento de los datos, un visualizador para el despliegue visual de la información, y una aplicación de escritorio receptora de los datos desde la estación de monitoreo. Dado que en la zona no se presentó mucha interferencia electromagnética de consideración, fue posible trabajar con una red de baja potencia para las comunicaciones. Se realizó también un sistema de visualización local básico que mostraba las gráficas de las medidas, y generaba alertas audiovisuales si se superaban ciertos umbrales para los distintos niveles de alerta (amarilla, naranja, roja), definidos en base con recomendaciones de organismos locales como bomberos. También se contó con una plataforma web en la que se recibían y desplegaban los datos de nivel del río, se podían revisar historiales de datos y enviar alertas por correo electrónico.

### **2.1.3 Tragedia Mocoa**

En la cabecera municipal de Mocoa, Putumayo, durante la noche del 31 de marzo y madrugada del 1 de abril de 2017, tuvo lugar una avenida torrencial producto del desbordamiento de los ríos Mocoa, Mulato y Sancoyaco, a consecuencia de las incesantes lluvias, dejando un saldo de más de 300 muertos (El Espectador, 2017).

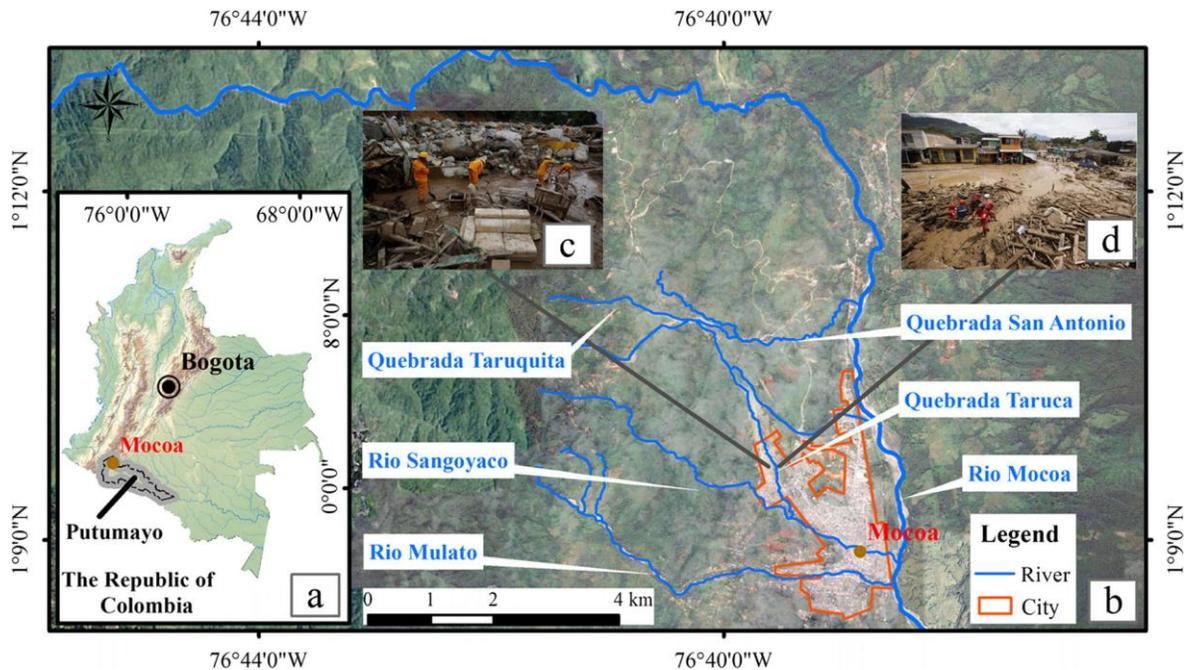


Figura 2 Afluentes hídricos que rodean Mocoa.

Fuente 2 (The characteristics of the Mocoa compound disaster 2018)

Las quebradas Taruca y Taruquita que se pueden observar (Figura 2) al noroccidente de Mocoa fueron en mayor porcentaje las causantes de la gravedad del evento (Figura 3). Estas posteriormente desembocan en río Sangoyaco, por este motivo el desastre fue atribuido a este. También se puede observar como en el tiempo se establecieron barrios alrededor de estas quebradas, lo que aumento dramáticamente las posibilidades de perdidas humanas.

Esta avenida torrencial se caracterizó por el arrastre de rocas de gran volumen, capa vegetal y removilización de materiales de antiguos abanicos fluviotorrenciales del lecho de las corrientes de agua, lo que incrementó de manera significativa el volumen del material arrastrado, causando finalmente la pérdida de vidas, daños ambientales e infraestructura y en general a la economía regional del Putumayo (Servicio Geológico Colombiano, 2018).

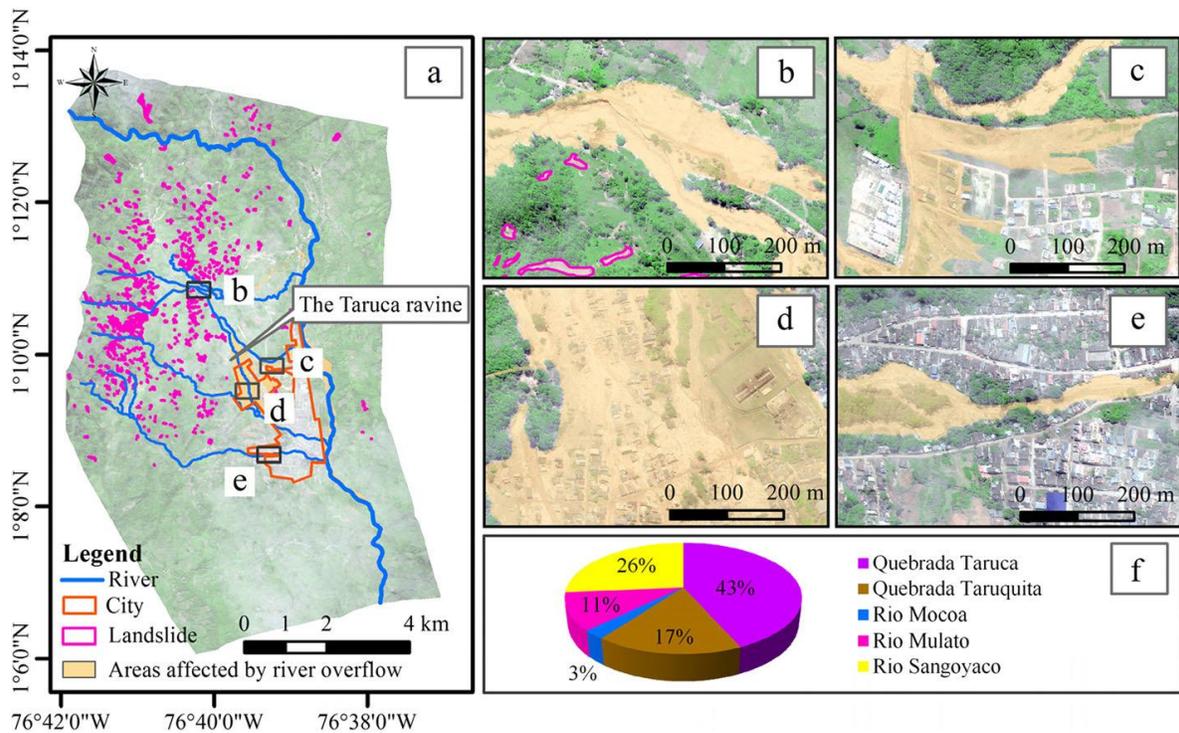


Figura 3 Deslizamientos y zona de impacto

Fuente 3 (*The characteristics of the Mocoa compound disaster, 2018*)

Las lluvias torrenciales ocurridas ese día, fueron el detonante de cientos de deslizamientos en la zona alta, estos a su vez provocaron los represamientos que finalmente causó la avenida torrencial.

En base con el carácter destructivo de este tipo de eventos, se han definido herramientas de gestión del riesgo como el Decreto 1807 de 2014 y la Ley 1523 de 2012, en las cuales se define el nivel de conocimiento de este tipo de eventos y las escalas de trabajo.

#### 2.1.4 Mejoras del SAT en Mocoa

La empresa Federman Comunicaciones, por su trayectoria y experiencia en SAT, se encargó del diseño e implementación del sistema de monitoreo y alerta enmarcado dentro del SAT planteado para el municipio de Mocoa, el cual consta de sensores, sirenas y radios de comunicación, a raíz de la tragedia mencionada con anterioridad. El sistema de monitoreo y alerta en cuestión se planeó tomando como principal referencia la experiencia adquirida durante el trabajo en Antioquia. Al existir

otras empresas gubernamentales y privadas que ofrecen elementos para SAT, también se hizo una revisión de las modalidades de intervención en SAT de organismos nacionales, como el SIATA (Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá), e internacionales como el Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones del Departamento de Reformas Administrativas y Reclamos Públicos del Gobierno de la India.

Del cotejo entre la experiencia adquirida en el trabajo en Antioquia y los conocimientos obtenidos de la indagación a otras entidades especializadas en SAT, se definieron medios y estrategias para el diseño e implementación de la red de sensores en Mocoa y que serán relacionados en capítulos posteriores.

## **2.2 MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1 Sistema de Alerta Temprana**

Los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) son herramientas que permiten proveer una información oportuna y eficaz a través de instituciones técnicas, científicas y comunitarias, por medio de instrumentos y elementos, que permiten a los individuos expuestos a una amenaza latente, la toma de decisiones para evitar o reducir su riesgo y su preparación para que puedan brindar una adecuada respuesta teniendo en cuenta sus capacidades.

Un SAT permite “facultar a las personas y comunidades que enfrentan una amenaza para que actúen con suficiente tiempo y de manera adecuada para reducir la posibilidad de que produzcan lesiones personales, pérdidas de vidas humanas y daños a los bienes y el medio ambiente”.

La alerta temprana les da respaldo técnico a las comunidades o individuos para actuar con tiempo suficiente y de una manera apropiada para reducir la posibilidad de daño personal, pérdida de vidas, daños a la propiedad y al ambiente ante una amenaza o evento adverso que puede desencadenar situaciones potencialmente peligrosas. (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2016).

Es de entender que cada población se encuentra en peligro o vulnerable a diferentes amenazas, el riesgo puede ser entendido desde tres perspectivas diferentes (Caina y Castro, 2018):

- Riesgo como amenaza: El riesgo es la probabilidad de la ocurrencia de un evento físico, extremo, en un lugar y periodo determinado.
- Riesgo como probabilidad de pérdidas: Es un indicador del impacto del fenómeno sobre la sociedad, cuantificado mediante:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$$

- Riesgo como capacidad de absorber y recuperarse de pérdidas, donde la vulnerabilidad asume un carácter dinámico a diferencia del enfoque.

### 2.2.2 Gestión del riesgo de desastres

Es un proceso social complejo cuyo fin es la reducción o la previsión y control permanente del riesgo de desastre en la sociedad, en consonancia con, e integrada al logro de pautas de desarrollo humano, económico, ambiental y territorial sostenibles (Caina y Castro, 2018).

El nivel de riesgo suele clasificarse según características particulares en lo que se conoce como estados de alerta. Estos son niveles que se corresponden con la evolución de una amenaza y la inminencia u ocurrencia del evento adverso asociado a ella. Los usados para el desarrollo de este trabajo se resumen en la siguiente tabla:

*Tabla 1.* Estados de alerta.

Tipo de alerta	Descripción
Alerta amarilla	Se ha detectado una amenaza potencial, bien sea por producto de la acción humana o por fenómenos naturales. En respuesta se monitorea la amenaza y se adopta una actitud de prevención sin necesariamente tener que movilizar enlaces. Si la amenaza desaparece se cancela la alerta, de lo contrario se actúa según las actividades de prevención y respuesta planificadas.
Alerta naranja	Preparación para la emergencia.
Alerta roja	Atención de la emergencia.

*Fuente 1* Caina y Castro

A continuación, se expondrán una serie de principios y/o dispositivos ligados a la medición de las variables hidrometeorológicas que serán censadas en nuestro sistema, presentado en orden de trascendencia; precipitación, medición de nivel de lámina de agua, presión atmosférica, humedad relativa y temperatura ambiente.

### **2.2.3 Precipitación**

La precipitación es uno de los tres procesos principales (evaporación, condensación y precipitación) que constituyen el ciclo hidrológico, el intercambio continuo de agua entre la atmósfera y la superficie de la Tierra. El agua se evapora de las superficies oceánicas, terrestres y de agua dulce, se eleva como vapor por las corrientes de aire, se condensa para formar nubes, y finalmente se devuelve a la superficie de la Tierra como precipitación. La existencia promedio global de vapor de agua en la atmósfera es equivalente a una capa de agua de 2.5 cm de profundidad que cubre toda la Tierra y la precipitación media anual de la Tierra es de unos 100 cm. (Tomado de enciclopedia británica, 2019)

En esencia toda precipitación de agua en la atmósfera sea cual sea su estado (sólido o líquido) se produce por la condensación del vapor de agua contenido en las masas de aire, que se origina cuando dichas masas de aire son forzadas a elevarse y enfriarse. Para que se produzca la condensación es preciso que el aire se encuentre saturado de humedad y que existan núcleos de condensación.

El aire está saturado si contiene el máximo posible de vapor de agua. Su humedad relativa es entonces del 100 por 100. El estado de saturación se alcanza normalmente por enfriamiento del aire, ya que el aire frío se satura con menor cantidad de vapor de agua que el aire caliente. Así, por ejemplo, 1 m<sup>3</sup> de aire a 25 °C de temperatura, cuyo contenido en vapor de agua sea de 11 g, no está saturado; pero los 11 g lo saturan a 10 °C, y entonces la condensación ya es posible.

La precipitación pluvial se mide en mm, que sería el espesor de la lámina de agua que se formaría, a causa de la precipitación, sobre una superficie plana e impermeable y que equivale a litros de agua por metro cuadrado de terreno (l/m<sup>2</sup>).

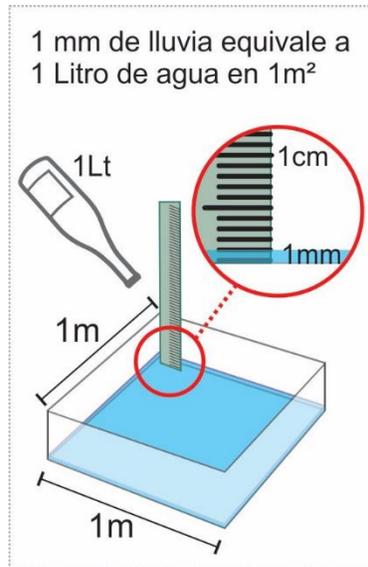


Figura 4 Representación de 1mm de lluvia

Fuente 4 ([www.lapatria.com](http://www.lapatria.com), 1 agosto 2014)

Se llaman precipitaciones orográficas a las que se forman o intensifican directa o indirectamente debido a la presencia de las montañas. Esta variación respecto al llano circundante es debida, bien al ascenso forzado del aire provocado por el obstáculo montañoso (efecto mecánico) o bien a las ramas ascendentes de las circulaciones de origen térmico generadas en la propia zona montañosa. (Tomado de Meteorología de montaña 2012).

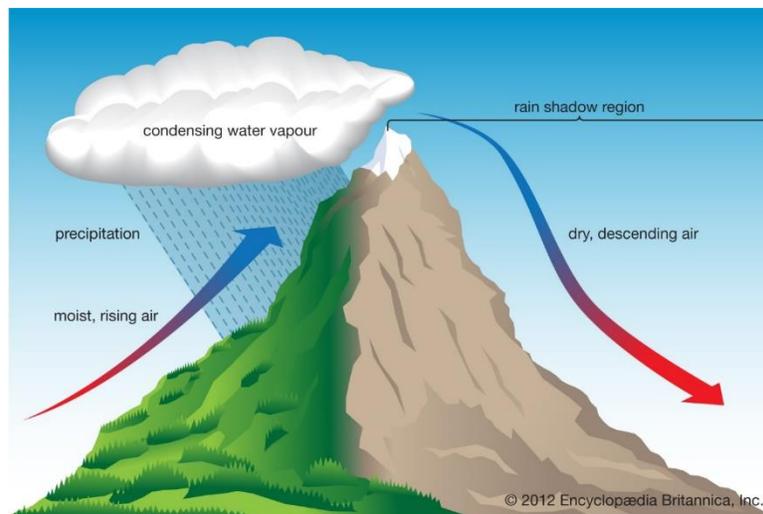


Figura 5 Precipitaciones orográficas

Fuente 5 (*Enciclopedia Británica*, 2012)

#### **2.2.4 Ultrasonido**

El ultrasonido es una clase de onda mecánica longitudinal cuya frecuencia de vibración es mayor a los 20.000 ciclos por segundo, por ese motivo el oído humano no lo puede percibir. Desde el punto de vista de su aplicabilidad en diversos campos, ofrece ciertas ventajas: puede ser dirigido como un haz, cumple las leyes de reflexión y refracción, por tanto, será reflejado por objetos pequeños. Sin embargo, también tiene limitaciones, se propaga muy poco a través de medios gaseosos y la cantidad de energía acústica reflejada depende de las desigualdades acústicas del medio (Fundamentos teórico-prácticos del ultrasonido 2007).

Existen diferentes sensores que utilizan el ultrasonido como su principio de funcionamiento, la base teórica del funcionamiento de estos sensores funciona debido a que toda radiación al incidir sobre un objeto, en parte se refleja, en parte se transmite y en parte es absorbida. Si además hay un movimiento relativo entre la fuente de radiación y el reflector, se produce un cambio de frecuencia de la radiación (efecto Doppler). Todas estas propiedades de la interacción de una radiación con un objeto han sido aplicadas en mayor o menor grado a la medida de diversas magnitudes físicas, mediante la creación de sensores. El poder de penetración de la radiación permite que muchas de estas aplicaciones sean totalmente no invasivas, es decir, que no acceda al interior del recinto donde se producen los cambios que se desean detectar. En función del tiempo que tarda el sonido en rebotar y volver, se calcula la distancia a la que se encuentra dicho objeto. (Boylestad,2003)

Estos sensores se componen de tres módulos principales: un transductor ultrasónico, un medidor y una etapa de salida. Un pulso corto dispara brevemente el transmisor ultrasónico, el cual es generalmente un módulo piezoeléctrico, basado en piezo óxidos. El transmisor ultrasónico emite ondas sónicas en el rango inaudible a cualquier frecuencia, generalmente entre 30 y 300 KHz.

La velocidad de los sensores de distancia ultrasónicos está limitada por la máxima frecuencia de repetición de pulsos, la cual, dependiendo del diseño, puede oscilar entre 1 Hz y 25 Hz.

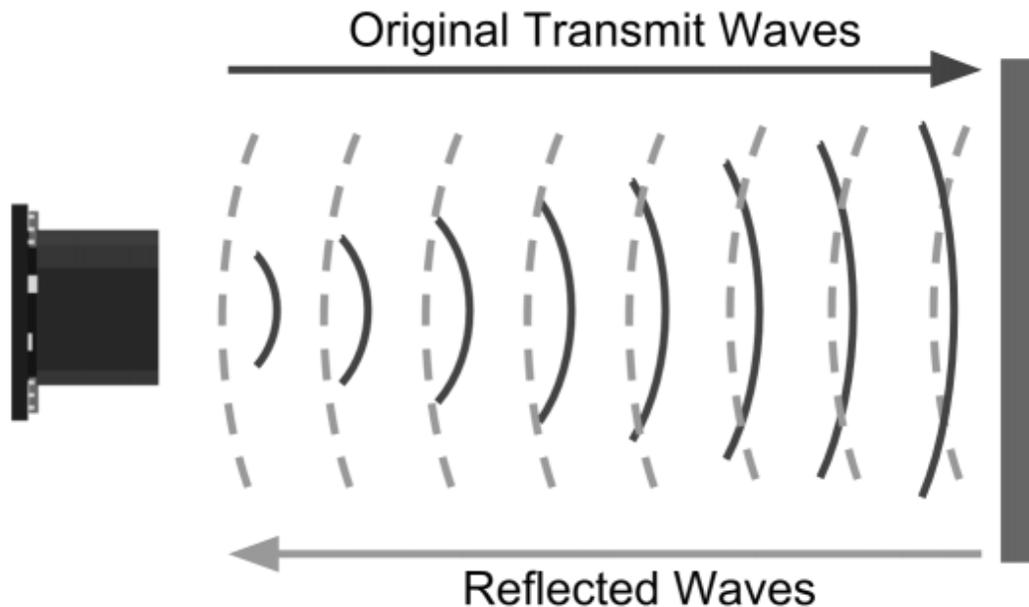


Figura 6 Emisión y recepción de ondas de un sensor ultrasónico

*Fuente 6 (MaxSonar, 2019)*

La utilización de sensores de distancia ultrasónicos en canales abiertos, desde hace ya varios años tienen una gran aceptación en el ámbito industrial, debido a sus múltiples características, eficiencia, versatilidad, bajo consumo, un precio relativamente bajo, robustez, entre otras. Este tipo de características ha llevado a estos sensores a convertirse en el “titular” a la hora de medir distancias de forma no invasiva. (Water Online. 2013)

Con estas características presentes, es importante agregar algunas otras ventajas de esta tecnología más relacionadas con la medición de niveles, en este contexto se resalta que en la medición no es importante el color del blanco, generalmente se cuenta con una compensación por temperatura y filtros que atenúan sonidos en otras frecuencias, no es interferido por gases producto de reacciones químicas, en

la mayoría de los productos se cuenta con una precisión menor a 1cm y un grado de protección al agua y polvo superior a 66.

### 2.2.5 Sensor I2CXL-MaxSonar-WR

El sensor ultrasónico I2CXL-MaxSonar-WR, Recomendado para intemperie presenta una interfaz I2C. Los sensores tienen una alta salida de potencia acústica junto con una calibración automática en tiempo real para condiciones cambiantes (voltaje y ruido acústico o eléctrico) que aseguran que los usuarios reciban los datos de rango más confiables (en el aire) para cada lectura tomada. El funcionamiento I2CXL-MaxSonar-WR de baja alimentación 3V - 5.5V proporciona detección y rango de corto a largo alcance, en un factor de forma pequeño y compacto. Este sensor detectará típicamente objetos de 20 cm a 765 cm con resolución de 1 cm.



Figura 7 MB7040 I2CXL-MaxSonar-WR

*Fuente 7 (MaxSonar, 2019)*

## **2.2.6 Clasificación de la intensidad de lluvia**

La adjetivación de la precipitación se hará, en general, en función de la intensidad medida en mm/h durante una hora. Sin embargo, puesto que hay varias clases de precipitación es conveniente establecer distintos adjetivos para la intensidad según la clase de precipitación. Como norma general se debe evitar la cita de más de dos intensidades de precipitación para no aparentar falta de concreción. Se citarán las mayores intensidades que se esperan, dando por supuesto que, en caso de lluvias fuertes con tormenta, también los habrá de menor intensidad.

La distribución de lluvias puede hacerse en mm/h: “Débiles”: Cuando su intensidad es menor o igual que 2 mm/h, “Moderada” Si su intensidad es mayor que 2 mm/h y menor o igual que 15 mm/h, “Fuertes”: Aquellas cuya intensidad es mayor que 15 mm/h y menor o igual que 30 mm/h, “Muy fuertes”: Si su intensidad es mayor que 30 mm/h y menor o igual que 60 mm/h, “Torrenciales”: Para intensidades mayores de 60 mm/h. (Tomado de Manual de uso de términos meteorológicos Edición 2015)

## **2.2.7 Otras variables meteorológicas**

### **2.2.7.1 *Dirección y velocidad de viento***

El viento consiste en el movimiento de aire desde una zona hasta otra. Existen diversas causas que pueden provocar la existencia del viento, pero normalmente se origina cuando entre dos puntos se establece una cierta diferencia de presión o de temperatura.

En el primer caso, cuando entre dos zonas la presión del aire es distinta, éste tiende a moverse desde la zona de alta presión a la zona de baja presión. Algo similar a lo que ocurre dentro de un tubo de pasta de dientes cuando presionamos en un extremo para hacer salir el dentífrico. Al apretar, lo que producimos es una diferencia de presión entre ese punto y el extremo abierto. Los meteorólogos dirían que se ha producido un gradiente o diferencia de presión entre ambos extremos.

En el caso de que sea una diferencia térmica el origen del viento, lo que ocurre es que cuando una masa de aire adquiere una temperatura superior a la de su entorno, su volumen aumenta, lo cual hace disminuir su densidad. Por efecto de la flotación, la masa de aire caliente ascenderá, y su lugar será ocupado por otras masas de aire, que en su desplazamiento ocasionarán el viento.

Para poder disponer de medidas directas de velocidad y dirección del viento, los meteorólogos utilizan distintos instrumentos de medida:

a) Medida de la velocidad horizontal del viento: el instrumento más utilizado es el anemómetro de cazoletas, en el que el giro de estas es proporcional a la velocidad del viento. La unidad de medida es el km/h o el m/s.

b) Medida de la dirección: para ello se utilizan las veletas, que indican la procedencia geográfica del viento. Hablamos de viento norte, noreste, suroeste, etc. en función de dónde provenga éste.



Figura 8 Anemómetro de cazoletas

*Fuente 8 (Tomado Meteorología y Climatología, 2004)*

### **2.2.7.2 Temperatura**

Es de todos conocido que la temperatura es una de las magnitudes más utilizadas para describir el estado de la atmósfera. De hecho, la información meteorológica

que aparece en los medios de comunicación casi siempre incluye un apartado dedicado a las temperaturas: sabemos que la temperatura del aire varía entre el día y la noche, entre una estación y otra, y también entre una ubicación geográfica y otra. En invierno puede llegar a estar bajo los  $0^{\circ}$  C y en verano superar los  $40^{\circ}$  C. Formalmente, la temperatura es una magnitud relacionada con la rapidez del movimiento de las partículas que constituyen la materia. Cuanta mayor agitación presente éstas, mayor será la temperatura.

### **2.2.7.3 Presión atmosférica**

El aire que nos rodea, aunque no lo notemos, pesa y, por tanto, ejerce una fuerza sobre todos los cuerpos debida a la acción de la gravedad. Esta fuerza por unidad de superficie es la denominada presión atmosférica, cuya unidad de medida en el Sistema Internacional es el Pascal ( $1 \text{ Pascal} = 1\text{N/m}^2$ ). La presión atmosférica depende de muchas variables, sobre todo de la altitud. Cuanto más arriba en la atmósfera nos encontremos, la cantidad de aire por encima nuestro será menor, lo que hará que también sea menor la presión que éste ejerza sobre un cuerpo ubicado allí. El siguiente gráfico muestra los valores promedio de la presión atmosférica en función de la altitud. En él puede apreciarse cómo la presión atmosférica desciende con la altura, mostrando un decrecimiento aproximadamente exponencial.

Pero la presión atmosférica, además de la altitud, depende de muchas otras variables. La situación geográfica, la temperatura, la humedad y las condiciones meteorológicas son sus principales condicionantes. Precisamente la relación que existe entre la presión atmosférica y el tiempo en un lugar hace de ésta una variable fundamental en la información meteorológica. En cualquier caso, para poder comparar todos los valores de presión registrados en distintos puntos del mundo y extraer conclusiones respecto a las condiciones atmosféricas, las mediciones directas deben corregirse, al menos respecto a la altitud. Nuevamente, la Organización Meteorológica Mundial establece las pautas para que todas las medidas registradas en distintos lugares del mundo se efectúen del mismo modo, y, por tanto, puedan ser comparables.

#### **2.2.7.4 Humedad**

El agua es uno de los principales componentes de la atmósfera, en la que puede existir como gas, como líquido, y como sólido. La presencia del agua en los tres estados de agregación se debe a que las condiciones físicas (temperatura y presión) necesarias para que se produzcan dichos cambios de estado se dan normalmente en la atmósfera.

La humedad es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire. Esa cantidad no es constante, sino que dependerá de diversos factores, como si ha llovido recientemente, si estamos cerca del mar, si hay plantas, etc. Existen diversas maneras de referirnos al contenido de humedad en la atmósfera:

- Humedad absoluta: masa de vapor de agua, en gramos, contenida en 1m<sup>3</sup> de aire seco.
- Humedad específica: masa de vapor de agua, en gramos, contenida en 1 kg de aire.
- Razón de mezcla: masa de vapor de agua, en gramos, que hay en 1 kg de aire seco

Sin embargo, la medida de humedad que más se utiliza es la denominada humedad relativa, que se expresa en tanto por ciento (%) y se calcula según la siguiente expresión:

$$h = \frac{e}{E} \times 100$$

En ella,  $e$  representa el contenido de vapor de la masa de aire y  $E$  su máxima capacidad de almacenamiento de éste, llamada presión de vapor saturante. Este valor nos indica la cantidad máxima de vapor de agua que puede contener una masa de aire antes de transformarse en agua líquida (esto es lo que se conoce como saturación). De alguna forma, la humedad relativa nos da una idea de lo cerca que está una masa de aire de alcanzar la saturación. Una humedad relativa del 100% es indicativo de que esa masa de aire ya no puede almacenar más vapor de agua en su seno, y a partir de ese momento, cualquier cantidad extra de vapor se convertirá en agua líquida o en cristalitas de hielo, según las condiciones ambientales| (Tomado Meteorología y Climatología 2004).

Una vez repasado los elementos que conformarán la parte hardware de la instrumentación, se expondrán áreas relacionadas con el manejo y despliegue de la información.

### **2.2.8 Firmware**

El firmware se refiere a los microprogramas presentes en los módulos ROM (memoria de solo lectura), que contienen software de bajo nivel (p. Ej., Hexadecimal, código de máquina). Permiten que el dispositivo en el que están presentes haga un balance de sus capacidades y las haga funcionales. La información cargada en la ROM no es volátil, lo que significa que no se pierde cuando se apaga. El ejemplo más básico de firmware sería el BIOS que viene con la placa base de su PC. El firmware también coordina las actividades del hardware durante el funcionamiento normal y contiene construcciones de programación utilizadas para realizar esas operaciones. El uso de firmware ofrece más flexibilidad en comparación con el uso de circuitos de hardware puro. Por ejemplo, en un módem típico, el firmware será un factor para establecer la velocidad de datos del módem y el reconocimiento del conjunto de comandos.

Algunos firmwares no son regrabables, mientras que otros son actualizables, lo que significa que es posible actualizar el firmware del dispositivo conectándolo a su PC en una configuración particular y luego ejecutando el software proporcionado por el fabricante. Este proceso se llama "firmware intermitente" o simplemente "intermitente". Esto se hace necesario cuando el dispositivo se vuelve incompatible con los sistemas operativos más nuevos o simplemente para mejorar el rendimiento del dispositivo. (Tech, 2011)

### **2.2.9 Red Virtual Privada**

Una red privada virtual VPN por sus siglas en inglés, es la extensión de una red privada que abarca enlaces a través de redes públicas o compartidas como Internet.

Una VPN le permite enviar datos entre dos computadoras a través de una red compartida o pública de una manera que emula las propiedades de un enlace privado punto a punto.

El acto de configurar y crear una red privada virtual se conoce como red privada virtual. Para emular un enlace punto a punto, los datos se encapsulan o envuelven con un encabezado que proporciona información de enrutamiento que le permite atravesar la red compartida de transporte público o compartido para llegar a su punto final. Para emular un enlace privado, los datos que se envían se cifran para su confidencialidad. Los paquetes que se interceptan en la red pública o compartida son indescifrables sin las claves de cifrado. La parte de la conexión en la que se encapsulan los datos privados se conoce como túnel. La parte de la conexión en la que se cifran los datos privados se conoce como la conexión de red privada virtual (VPN).

Las conexiones VPN permiten a los usuarios que trabajan en casa o en el camino conectarse de manera segura a un servidor corporativo remoto utilizando la infraestructura de enrutamiento proporcionada por una red pública (como Internet). Desde la perspectiva del usuario, la conexión VPN es una conexión punto a punto entre la computadora del usuario y un servidor corporativo. La naturaleza de la red intermedia es irrelevante para el usuario porque parece que los datos se envían a través de un enlace privado dedicado. (Microsoft, 2009)

### **2.2.10 WebSockets**

WebSocket es una tecnología que proporciona un canal de comunicación bidireccional y full-duplex sobre un único canal. Está diseñada para ser implementada en navegadores y servidores web, pero puede utilizarse por cualquier aplicación cliente/servidor. La API de WebSocket está siendo normalizada, mientras que el protocolo WebSocket ya fue normalizado por la IETF como el RFC 6455. Debido a que las conexiones TCP comunes sobre puertos diferentes al 80 son habitualmente bloqueadas por los administradores de redes, el uso de esta tecnología proporciona una solución a este tipo de limitaciones proveyendo una funcionalidad similar a la apertura de varias conexiones en distintos puertos, pero

multiplexando diferentes servicios WebSocket sobre un único puerto (a costa de una pequeña sobrecarga del protocolo). (Wikipedia, 2019)

### **2.2.11 Sistemas empotrados**

Un sistema empotrado es un sistema informático de uso específico que está encapsulado totalmente por el dispositivo que controla. Los sistemas empotrados constituyen un sistema computacional fruto de la combinación de hardware y software. Esta combinación tiene como misión llevar a cabo una funcionalidad o un conjunto de funcionalidades determinadas. Se denominan empotrados porque normalmente forman parte de un sistema completo o con funcionalidades más generales. Normalmente, un sistema empotrado está basado en un microcontrolador, que controla una función o funciones específicas de un sistema. Sin embargo, el sistema no está diseñado para ser programado por el usuario final, como podría suceder con un PC, en el que ahora lo utilizamos como un procesador de textos y al cabo de un rato le instalamos un juego. Es decir, un usuario final puede configurar el dispositivo empotrado, pero normalmente no puede modificar la funcionalidad para la que ha sido construido. Así pues, un sistema empotrado está diseñado para llevar a cabo específicamente la tarea para la que ha sido programado. La tarea puede no ser única y, por lo tanto, se pueden incluir en ella varias opciones que el usuario puede seleccionar (como si se tratara de los distintos programas de lavado en una lavadora). Este rasgo es diferencial con relación a los ordenadores, o al menos lo era hasta hace muy poco. Actualmente, un grupo minoritario de los dispositivos empotrados han experimentado una fuerte evolución y ya casi ofrecen funcionalidades más cercanas a los PC que a los electrodomésticos. (Introducción a los sistemas empotrados, 2014)

## **3 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO**

El desarrollo del sistema de sensores para monitoreo está compuesto por dos fases. La primera fase corresponde al diseño del sistema de sensores, desde la

identificación de las variables hidrometeorológicas de interés, la escogencia de los sensores y la creación de los elementos de software y hardware necesarios para garantizar la correcta medición y transmisión de la información. La segunda fase, desarrollada en el capítulo de resultados, comprende como tal la implementación de los elementos del sistema y su parametrización de acuerdo con las necesidades demandadas por el SAT.

Dado que la práctica profesional se enmarcó en un proyecto adjudicado a la empresa FEDERMAN Comunicaciones, algunas de las actividades, en especial las que refieren a las comunicaciones, no fueron desarrolladas en su totalidad por el autor del presente informe, si bien fue partícipe activo en las mismas. Al momento de describir dichas actividades, se hará énfasis en los que el pasante desarrolló o supervisó.

### 3.1.1 Esquema general

La siguiente figura representa las etapas generales del sistema, desde la medición de las variables hasta la visualización de la información en la plataforma de monitoreo y el alertamiento en caso de ocurrencia de alguna eventualidad.

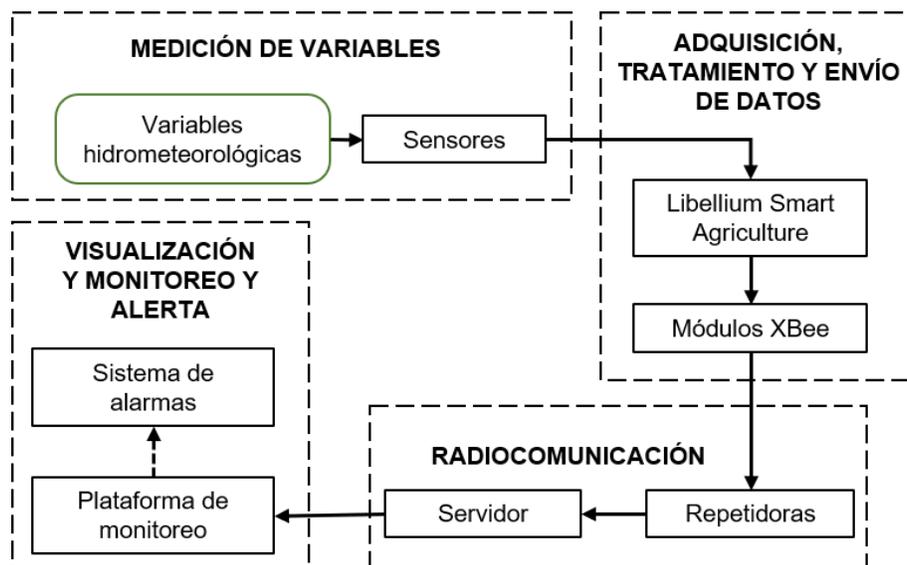


Figura 9. Esquema general del sistema de monitoreo.

Fuente 9 (Fuente propia, 2019)

### **3.1.2 Identificación de puntos de instalación**

En la sala de crisis, espacio creado por la UNGRD para el análisis y difusión de la información para facilitar la coordinación y la toma de decisiones, se realizó una socialización general de la situación y del evento de la avenida torrencial ocurrida en 2017. Aquí se realizó un cronograma de actividades, dentro de las cuales se encontraban la identificación de las fuentes de peligro y la determinación de lugares estratégicos para la instalación de los sensores y de las sirenas.

Una vez las entidades presentes estuvieron contextualizadas del problema y de su papel en el lugar, se planea una visita a las fuentes hídricas Quebrada Taruca, Quebrada Taruquita, Rio Sangoyaco y rio Mulato, con el fin de reunir y complementar información sobre los lugares a elegir para la instalación de los sensores y los elementos de radiocomunicación. Para ello se contó con el acompañamiento de personal del IDEAM (dos personas con experiencia en la instalación de sensores hidrometeorológicos) y de la Cruz Roja (personas oriundas de la zona, que por su labor conocen la zona rural y actúan de guía en los recorridos).

Los criterios de elección de los lugares pueden dividirse en dos partes, un concepto macro relacionado con la dinámica del ciclo hidrológico y varios subcriterios micro relacionados con la morfología de cada zona preseleccionada.

De acuerdo con lo mencionado con anterioridad, el primer lineamiento de instalación está relacionado con el ciclo del agua y las lluvias denominadas orográficas, que son las precipitaciones generadas al borde de las cordilleras por acumulación de aire húmedo traído por vientos que chocan con la barrera natural, como montañas, sierras y demás. Teniendo en cuenta estos fenómenos, se requiere que las estaciones meteorológicas e hidrológicas estén instalados en las cercanías de las áreas de alta montaña relacionadas con los nacimientos de los afluentes hídricos, ya que es allí es donde se generan los grandes eventos de lluvia y posteriores deslizamientos de masa, causantes de represamientos y posterior cambio en los niveles de los ríos y quebradas.

Como segundo aspecto se tiene en cuenta las recomendaciones básicas aportadas por el personal del IDEAM y consideraciones técnicas aprendidas en experiencias pasadas, entre estas:

- Evitar tramos del río donde el flujo del agua describiera curvas, esto debido a que, al desplazarse el agua con mayor velocidad por una curva, por inercia se tiende a mantener mayor cantidad del fluido sobre las curvas, perdiendo la paridad en su nivel. Debido a lo anterior se recomienda entonces seleccionar tramos rectos de al menos 30m.
- Ya que el tiempo de respuesta ante una emergencia es esencial, los dispositivos deben encontrarse a una distancia prudente entre la ciudad y el área de medición.
- Evadir turbulencias en el espejo de agua, con el fin de disminuir el ruido en la toma de datos.
- Lugares estrechos en los que se encuentren riveras entre 4 y 8 metros. Con esto se evita que el cuerpo de agua cambie de ruta en cada crecida fuerte o leve de nivel.
- Zonas despejadas y geográficamente adecuadas para la disposición de las estaciones meteorológicas.

Como resultado de esta visita, se determinaron 12 puntos de instalación, cuatro estaciones meteorológicas y ocho hidrológicas, (el lugar definitivo lo definió el equipo técnico de instalación, que cuenta con experiencia en comunicaciones, obra civil y herrajes, respetando el área marcada en esta visita). Los lugares finales para la instalación de las estaciones se muestran a continuación:



*Figura 10.* Puntos de instalación de estaciones hidrológicas en los afluentes del río Mocoa y que atraviesan la cabecera municipal.

*Fuente 10 (Fuente propia, 2018)*

Posterior a la escogencia de estos puntos de instalación, se decidió ubicar otras tres estaciones hidrológicas sobre el río Mocoa. Estas se muestran en la siguiente imagen, donde el recuadro amarillo corresponde a la zona correspondiente a la imagen anterior.



Figura 11. Puntos de instalación de estaciones hidrológicas en los afluentes del río Mocoa y que atraviesan la cabecera municipal.

Fuente 11 (Fuente propia, 2018)



Figura 12. Puntos de instalación de estaciones meteorológicas.

Fuente 12 (Fuente propia, 2018)

Información más detallada de los puntos de instalación mostrados, como sus coordenadas exactas y otros aspectos se encuentran en el anexo A.

### **3.1.3 Variables de interés**

El Sistema de Alerta Temprana en el que se aplica este trabajo requiere de información sobre las siguientes variables hidrometeorológicas:

- Nivel del río
- Temperatura ambiente
- Aceleración, de la cual se deriva la inclinación
- Pluviosidad
- Dirección y velocidad del viento
- Presión atmosférica
- Humedad relativa

La adquisición de los valores de estas variables permite monitorear los niveles hídricos y advertir oportunamente sobre potenciales situaciones de riesgo.

Estas variables serán divididas en dos tipos de estaciones; primero, lluvia la cual abarcará los sensores de precipitación, temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, velocidad y dirección de viento. Segundo en nivel la cual incluirá temperatura, inclinación y distancia hasta el espejo de agua.

### **3.1.4 Escogencia de sensores**

Dada la aplicación de interés, los sensores utilizados debieron cumplir las siguientes características:

- La precisión, exactitud y rango de los sensores deben encontrarse dentro de los rangos de incertidumbre permisibles para el tipo de aplicación, como referencia se toman sistemas de medición más simples, por ejemplo; la medida del nivel del río, para los cuales se utiliza un limnómetro, el cual básicamente es una regla de entre 5 y 7 metros de longitud, la cual tiene diferenciada claramente una escala comúnmente de un 1cm, que se ubica

en el lecho del río y permite observar a un operario el nivel del río (PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DEL AGUA, 2007). Por tanto, se puede permitir sensores con resoluciones cercanas a un centímetro.

- Los sensores deben presentar una equilibrada relación entre el beneficio que pueden ofrecer y su costo en el mercado, esto se puede lograr mediante la comparativa entre similares.
- Deben tener la suficiente versatilidad y robustez que garantice su correcto y prolongado funcionamiento en condiciones adversas propias de la intemperie; de forma general se asume que el nivel de protección contra agua y polvo (ip67), son características suficientes para afrontar el medio en el cual se instalan los sensores, esto debido a que las principales condiciones de estos lugares son la alta humedad y suciedad (barro).
- Facilidad para su instalación, tomando en consideración el acople electrónico, mecánico y de firmware que debe realizarse durante la instalación de los equipos, es decir, en el momento que se escoge un sensor se tiene en cuenta el acondicionamiento que necesita y qué protocolos de comunicación soporta.

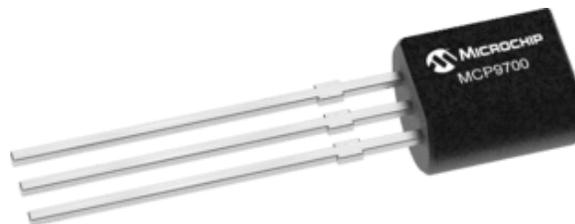
Teniendo en cuenta estas características, en lo que sigue se relacionan las variables hidrometeorológicas con el respectivo sensor seleccionado para su medición.

Nivel del río. Para el nivel de río, se optó por utilizar el sensor de ultrasonido MB7040 I2CXL-MaxSonar-WR, antes de realizar esta elección, se consideran diferentes modelos de sensores ultrasónicos, y también diferentes tecnologías. En cuanto a los sensores de ultrasonido es de decir que, en cuanto a una relación costo – propiedades, no se encontró alguno significativo mejor, además se contó con el aval de ya haber trabajado con ellos. También se experimentó con sensores tipo LIDAR, en particular con la referencia “Lidar lite v3” Garmin el cual presenta notables mejoras en cuanto a rango (5cm-40m), una precisión aceptable (+-2.5cm) y una resolución igual al sensor MB7040 antes mencionado. En las pruebas realizadas en campo se obtuvieron buenos resultados, pero dejó la inquietud

respecto a su durabilidad en tiempo, ya su sistema de lentes podría verse obstruido fácilmente, se concluyó entonces proseguir con el sensor de marca MaxSonar, sin embargo, se procura seguir realizando pruebas ya que, por ejemplo, se podría presentar la necesidad de contar con un rango mayor.

La versión de salida analógica de este dispositivo (MB7040) se usó en el trabajo en Antioquia, obteniendo excelentes resultados. Gracias a una actualización en el módulo Libelium (este módulo es detallado en secciones posteriores), en el trabajo de Mocoa se da uso de la versión de salida digital del sensor en cuestión. Por otro lado, debe pensarse que el rango de precisión a tomar en cuenta debe corresponderse con al fenómeno a medir, en este caso la posible avenida de un río, en la cual se espera medir cambios superiores a cuatro metros, la precisión del sensor seleccionado se considera suficiente para la aplicación de interés.

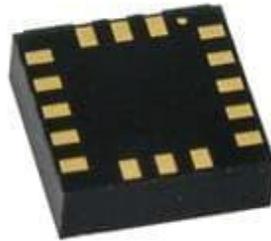
**3.1.4.1 Temperatura ambiente.** El MCP9700, de Microchip, es un sensor analógico de temperatura, inmune a efectos de capacitancias parásitas. Tiene un bajo consumo de corriente (típicamente 6  $\mu$ A), lo que lo hace un dispositivo eficiente y de bajo costo en la medición de cambios relativos de temperatura.



*Figura 13. MCP9700*

*Fuente 13 (Microchip, 2009)*

**3.1.4.2 Aceleración.** El sensor LIS3331LDH de *STMicroelectronics* es una unidad de medición inercial que mide la aceleración en los tres ejes espaciales.



*Figura 14.* MPU6050.

*Fuente 14 (Libelium, 2018)*

Este sensor viene integrado en la tarjeta Waspote del módulo Libelium Smart Agriculture, detallado más adelante. La información de la aceleración permite derivar el grado de inclinación del módulo mencionado.

**3.1.4.3 Lluvia, dirección y velocidad del viento.** Para la medición de estas variables se optó por el uso de la estación meteorológica WS-3000, que comprende un *kit* con los tres componentes de interés de medición del clima.

Se trata de un kit de clima confiable y preciso disponible por un precio relativamente bajo en comparación con otras estaciones meteorológicas estándar.



*Figura 15.* Estación meteorológica WS-3000.

*Fuente 15 (Libelium,2018)*

**3.1.4.4 Presión atmosférica y humedad relativa.** El BME280 es un dispositivo que integra en una sola placa un sensor de presión atmosférica y de humedad relativa. Presenta alta precisión, bajo consumo energético y es suficientemente compacto.



*Figura 16.* BME280.

*Fuente 16 (Bosh Sensortec)*

Se conecta directamente a un microcontrolador a través de I2C o SPI. Este dispositivo cuenta también con sensor de temperatura.

Los sensores presentados se agrupan en dos tipos de estaciones, una de tipo hidrológico que comprende el sensor de nivel del río, temperatura y aceleración, y otra de tipo meteorológico que comprende intensidad de la lluvia, dirección y velocidad del viento, presión atmosférica y humedad relativa. La siguiente tabla relaciona las características más destacadas para cada uno de los sensores mencionados anteriormente:

*Tabla 2.* Sensores escogidos para medición de variables hidrometeorológicas.

VARIABLE	SENSOR	CARACTERÍSTICAS
Nivel del río	MB7040 I2CXL-MaxSonar-WR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimentación: 5V.</li> <li>• Frecuencia de operación: 42 KHz.</li> <li>• Resolución 1 cm.</li> <li>• Rango de medida: 765 – 30 cm.</li> <li>• Tipo de Protección: IP67.</li> </ul>
Temperatura	MCP9700	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimentación de 2.3 – 5.5 V.</li> <li>• Rango de Temperatura: -40. 125 °C.</li> </ul>

Aceleración	LIS3331LDH	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escalas de selección dinámica de <math>\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g</math>.</li> <li>• Interfaz de salida I2C/SPI.</li> <li>• Datos de salida de 16 bit.</li> <li>• Auto testeo embebido.</li> </ul>
Intensidad de la lluvia, dirección y velocidad del viento	Estación meteorológica WS-3000	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pluviómetro: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resolución: 0.28mm</li> <li>• Diseño aerodinámico</li> <li>• Principio de funcionamiento: Efecto magnético.</li> </ul> </li> <li>- Anemómetro: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango de medida Velocidad: 0-240 Km/h</li> <li>• Sensibilidad 2.4 Km/h por vuelta</li> </ul> </li> <li>- Veleta: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango de medida 0- 360°</li> <li>• Precisión 22.5°</li> </ul> </li> </ul>
Presión atmosférica, humedad relativa	BME280	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensor de Humedad Relativa: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango de medida: 0 ~ 100%.</li> <li>• Precisión: <math>\pm 3RH</math>.</li> <li>• Histéresis: <math>\pm 1RH</math>.</li> <li>• Tiempo de Respuesta: 1s.</li> <li>• Consumo típico: 1.8uA.</li> </ul> </li> <li>- Sensor de Presión Barométrica: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango de medición: 30 ~ 110 KPa.</li> <li>• Precisión: 0.1 KPa.</li> </ul> </li> <li>- Sensor de temperatura <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interfaz digital I2C y SPI.</li> <li>• Rango de operación de -40 a 85 °C.</li> <li>• Exactitud de <math>\pm 1</math> °C.</li> <li>• Resolución de salida de 0.01 °C.</li> <li>• Consumo típico de operación de 1<math>\mu</math>A.</li> </ul> </li> </ul>

Fuente 2 (Propia)

La escogencia de estos sensores, además de fundamentarse en la experiencia previa con los mismos, fue altamente motivada por las características y recomendaciones de una línea de equipos de la multinacional Libelium, específicamente la línea Smart Agriculture 3.0, referida más adelante. A excepción de la estación meteorológica WS-3000 y el BME280, de la que ya se obtiene la información de las mediciones, por economía y distintividad, al resto de sensores se les hace acondicionamiento e interfaz de transmisión de datos.

### 3.1.5 Unidad integral de adquisición, acondicionamiento y transmisión de datos

La información que proviene de los sensores debe ser recolectada, procesada y transmitida para su debida interpretación. Actualmente en el mercado existe un gran número de sistemas embebidos que con una sola unidad permiten realizar múltiples funciones dedicadas. A su vez, existen plataformas elaboradas para proveer herramientas de diseño y desarrollo de aplicaciones y prototipos con sistemas embebidos, como lo son por ejemplo Arduino, Raspberry Pi, BeagleBone, Odroid, etc.

### 3.1.6 Libelium

Libelium es una multinacional tecnológica española. Provee módulos integrales orientados a la adquisición y envío de datos de manera energéticamente autónoma. En materia de adquisición de datos, posee múltiples puertos para entradas de distintos tipos (serial, analógicas, etc). De esta manera, las configuraciones de las entradas se pueden acondicionar para prácticamente cualquier tipo de sensor. Al modelo Smart Agriculture Waspote Plug & Sense!, utilizado como unidad integral de adquisición, acondicionamiento y transmisión de datos, se le pueden conectar hasta 15 sensores (Libelium, 2017).



Figura 17. Modelo Smart Agriculture.

Fuente 17 (Libelium)

El módulo en cuestión contiene dos tarjetas internas; la tarjeta denominada “Waspote” contiene un microprocesador y se encarga de la administración energética y la administración del radio. La tarjeta “Agriculture v3.0 Board” incluye los componentes electrónicos y enchufes necesarios para conectar los sensores comúnmente usados en aplicaciones en contextos agrícolas, pero que en este desarrollo se llevara a un área climático.

La programación del firmware se hace en lenguaje C++. Para ello, el módulo cuenta con una API y librerías propias que contienen el conjunto de instrucciones necesarias para configurar las tarjetas y leer, gestionar y transmitir los datos provenientes de los sensores. Para su alimentación, cuenta con una batería de larga duración a la que se le puede acondicionar un panel solar. La tarjeta está diseñada para tener el menor consumo energético posible, de 100mA en modo de encendido y 30  $\mu$ A en modo *sleep*.



Figura 18. Módulo Smart Agriculture alimentado por un panel solar externo.

Fuente 18 (Libelium)

En cuanto a transmisión de datos, este módulo posee muchas formas de comunicarse, como GPRS, 4G, Wi-Fi, Bluetooth, entre otras; la escogida fue XBee 900HP.



*Figura 19. Módulo Digi XBee-Pro 900HP.*

*Fuente 19 (Digi, 2015)*

Este módulo proporciona la mejor conectividad inalámbrica de rango en su clase para dispositivos. Hace uso del protocolo de red DigiMesh, el cual cuenta con una operación de red densa y soporte para enrutadores inactivos, además de estar disponibles en una configuración punto a multipunto. Al admitir rangos de línea de visión de radio frecuencia de hasta 45 Km (con antenas de alta ganancia) y velocidades de datos de hasta 200 Kbps, estos módulos son ideales para aplicaciones de rango extendido que requieren un mayor rendimiento de datos.

### **3.1.7 Protocolo y perfiles de comunicación**

Esta etapa fue desarrollada en su totalidad por técnicos de la empresa y profesionales especializados en el tema, por lo que no será tratada en profundidad en este documento.

Lo primero a destacar es que el desarrollo de esta etapa está sustentado en la idea de conseguir un sistema autónomo que prescindiera de servicios prestados por terceros, como servicios de energía, internet, telefonía, comunicación satelital, entre otros. Tener una red independiente de transmisión de datos garantiza aspectos

importantes como un diseño hecho a la medida de la necesidad, mantenimiento personalizado y uso exclusivo de la misma, algo que en situaciones de emergencia puede cobrar una gran importancia.

Luego de establecer estas consideraciones, deben diseñarse unos dispositivos denominados repetidoras, las cuales se encargan de recibir la información enviada por las estaciones hidrológicas y meteorológicas o de otra repetidora para luego retransmitirla hacia otro punto concreto. Estas deben implementarse con sus respectivos sistemas de alimentación fotovoltaica. Deben establecerse posibles puntos de instalación buscando condiciones en las que el radio enlace se realice de manera óptima; esta tarea fue realizada por los técnicos de la empresa Federman Comunicaciones.

En cuanto a los radios XBee, debe tenerse en cuenta que éstos tienen bajas capacidades de potencia de RF. En base con la experiencia previa de la empresa, es sabido que en lugares con baja polución electromagnética su rendimiento es óptimo, sin embargo, se ve notablemente afectado a medida que el ruido de base crece, aún si éste no alcanza la intensidad necesaria que en teoría afecta el enlace. La solución adoptada para superar estas limitaciones es tratada de manera general en la sección correspondiente en el capítulo de resultados y análisis.

**3.1.8 Firmware.** Los algoritmos desarrollados para controlar los circuitos electrónicos de los dispositivos del sistema de sensores se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- Encendido de los sistemas y gestión energética.
- Obtención de los datos de las medidas provenientes de los sensores y acondicionamiento de estos.
- Transmisión de la información.

Para el primer ítem, los algoritmos desarrollados cumplen la función de encender a su debido tiempo las tarjetas de control y adquisición dentro del sistema de monitoreo en general, además de garantizar tiempos prudentes de estabilización e inicializar los elementos de comunicación entre éstas, habilitar puertos seriales,

configurar watchdog, encender el reloj de tiempo real, etc. La gestión energética hace referencia a cómo se emplea la energía suministrada por el panel solar al módulo, estableciendo tiempos de activación y de espera en el funcionamiento de los dispositivos, de modo que la carga de la batería se mantenga dentro de un rango permisible.

La obtención de los datos provenientes de los sensores se realiza a través de la tarjeta de adquisición (Agriculture v3.0 Board). Estos datos deben normalizarse antes de ser enviados, para lo cual se programan filtros y se fijan tiempos de medición según la naturaleza de cada variable medida. El nivel del río es la variable que requiere mayor tratamiento, debido a que suele obtener mucho ruido en las medidas, sumado a esto es una variable que puede alterarse de manera significativa por causas que no necesariamente indican una avenida torrencial, como turbulencias, paso de objetos extraños en el campo de acción del sensor, manipulación del sensor o algún similar.

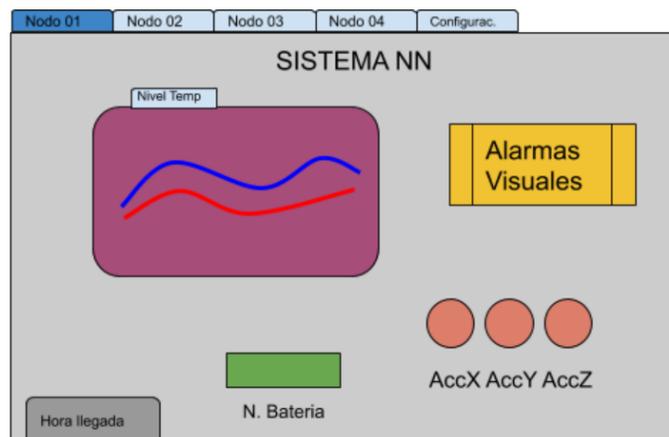
En la transmisión de la información mediante radiocomunicación, es importante el control del comportamiento de los radios, el manejo y compensación de la latencia o retardos en el tiempo de envío y respuesta de señales, entre otros aspectos.

### **3.1.9 Aplicativo de monitoreo y alerta**

Debe diseñarse una aplicación genérica de visualización de las mediciones y generación de alertas, en adelante denominada Visualizador. Esta plataforma, al ser genérica, además de desplegar en tiempo real los datos de manera gráfica y fácilmente comprensible, debe permitir configuraciones personalizables como, el tipo de estaciones utilizadas, cantidad de estaciones, valores de umbrales de alerta por nivel o lluvia, creación y gestión de perfiles de usuario.

Se plantean cinco funciones fundamentales al programador, de las cuales se espera que se desprendan subfunciones relacionadas con la robustez del sistema, su uso fácil y comprensible, versatilidad, fácil mantenimiento, veamos:

- Recepción de datos: Esta se debe poder realizar mediante un puerto serial o estableciendo un socket siempre en escucha.
- Almacenamiento local: El registro del histórico de datos debe realizarse en una base de datos local de estructura SQLite o similar, instalado en la computadora que ejecutara la APP. Los datos se podrán rescatar desde la interfaz visual a un formato Excel.
- Despliegue de información: El despliegue será un ordenamiento basado en ventanas, en la cual cada ventana estará dedicada a un punto de monitoreo, las cuales rotan automáticamente para una visualización constante de cada punto de monitoreo; Las variables más resaltadas son nivel del rio y precipitación.
- Emisión de alertas visuales y auditivas: De acuerdo con los lineamientos de la prevención de riesgos generados por el nivel del rio, el software contara con 3 niveles de alerta: amarilla, naranja y roja; referidos a cambios del nivel del rio por encima y por debajo de unos rangos normales; cada tipo de alerta generara cambios en el color de la aplicación y generara sonidos de alerta; los rangos normales y de alertas serán definidos en una pestaña de configuraciones.
- Emisión de SMS de alertas: En el caso de la detección de una alerta roja, naranja, amarilla o lluvia torrencial el software enviará mensajes de texto a un cierto grupo de teléfonos, registrando el motivo de la generación de la



**Figura 20 Primer bosquejo del Visualizador**

*Fuente 20 (Propia)*

alerta para que se tomen las medidas necesarias. La plataforma de envío de SMS Twilio requiere una conexión a internet.

## 4 RESULTADOS Y ANALISIS

Ya descritos en el capítulo anterior los principales aspectos de diseño del sistema de sensores, se prosigue con las actividades que permitieron su implementación y parametrización.

### 4.1.1 Acondicionamiento e instalación de los sensores

A continuación, se muestran los montajes realizados para los sensores y el adecuamiento de las estaciones. Información más detallada se encuentra en los manuales de usuario provistos por la empresa.

**4.1.1.1 Estación hidrológica.** Comprende los sensores de nivel del río, de temperatura y aceleración. Dado que el sensor de ultrasonido posee cuatro pines de salida, se hace uso de cable telefónico para interconexión de cuatro líneas para su conexión (*Figura 21 (a)*), mientras que los otros extremos de las líneas del cable se sueldan a un conector Chogori macho de seis pines (*Figura 21 (b)*). La *Figura 21 (c)* muestra el resultado final.



(a)

(b)



(c)

*Figura 21.* Montaje de instalación del sensor de nivel del río.

*Fuente 21 (Fuente propia, 2018)*

El sensor de temperatura se conecta a tres líneas de cable telefónico y se introduce dentro del tubo de una jeringa de insulina para su protección. La conexión al módulo de Libelium, al igual que el sensor anterior, se hace mediante un conector Chogori macho de seis pines. Finalmente, todo el montaje se introduce dentro de un tubo de PVC de 1/2", que posteriormente es recubierto por cinta termo ajustable.



*Figura 22.* Montaje de instalación del sensor de temperatura, estación hidrológica.

*Fuente 22 (Fuente propia, 2018)*

El sensor de aceleración ya se encuentra incluido dentro de la tarjeta Waspote del módulo Smart Agriculture, como puede observarse en la siguiente figura:

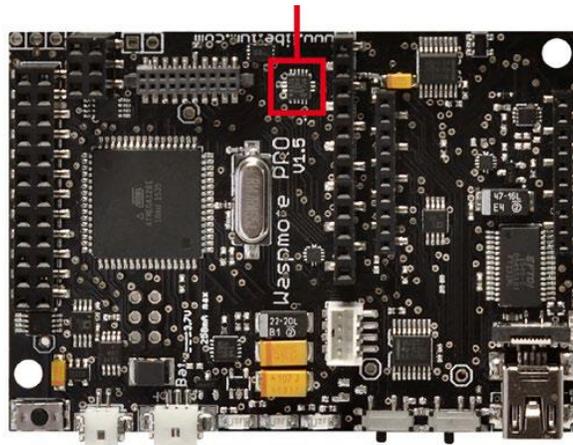


Figura 23. Acelerómetro integrado en la tarjeta Waspote.

Fuente 23 (Libelium)

A excepción del momento de instalación en el que se van a tener variaciones en la aceleración debido a la manipulación de la estación hidrológica, la situación ideal es que el equipo se mantenga siempre estable en una sola posición, por lo que cambios no planeados en la inclinación han de deberse a situaciones no deseadas, como deslizamientos de tierra en el lugar de soporte del herraje, vandalismo, etc.

Las salidas de los sensores se conectan a los enchufes correspondientes en el módulo Smart Agriculture, como se muestra en la siguiente figura:



Figura 24. Conexión de sensores al módulo Smart Agriculture.

Fuente 24 (Libelium)

Para la instalación del equipo, se deben construir una base de concreto la cual, con la ayuda de cables de soporte, sostienen la estructura en su totalidad.



*Figura 25. Base de concreto.*

*Fuente 25 (Fuente propio, 2018)*

Estas bases deben construirse sobre sitios estrategicos en los que haya el menor riesgo de movimiento de tierra que puedan causar desajuste en el sistema o hasta pérdida total del mismo. Finalmente, el panel solar de alimentación energética del módulo central se dispone como se ejemplifico en la *Figura 18*. La instalación final de la estación hidrológica se muestra a continuación:



*Figura 26. Instalación de la estación hidrológica.*

*Fuente 26 (Fuente propia, 2018)*

**4.1.1.2 Estación meteorológica.** Comprende la estación WS-3000 y el sensor de presión atmosférica y humedad relativa (BME280). Al sensor BME280 se le hace un montaje similar al de los sensores de nivel de río y de temperatura en la estación hidrológica.



*Figura 27.* Montaje de instalación del sensor de temperatura, estación meteorológica.

*Fuente 27 (Libelium)*

El panel solar de alimentación del módulo central se ubica de manera similar al de la estación hidrológica. Estas estaciones se instalan sobre un poste metálico con una altura de seis metros con el fin de sobrepasar elementos que obstruyan el sensor y alguna posible manipulación de terceros.





*Figura 28.* Instalación de la estación meteorológica.

*Fuente 28 (Fuente propia, 2017)*

#### **4.1.2 Características del firmware de sensor de nivel de río.**

A excepción del nivel de río, las variables hidrometeorológicas medidas no presentan cambios significativos, bien sea porque generalmente tienen cambios lentos como la temperatura, o porque el sensor utilizado ya se encuentra optimizado para entregar datos confiables de medida. La variación de la distancia percibida por el sensor de nivel de río, desde su ubicación hasta el espejo de agua, se ve afectada por muchos factores de distinta naturaleza y que generan datos con alta aleatoriedad o ruido, como puede verse en la figura:

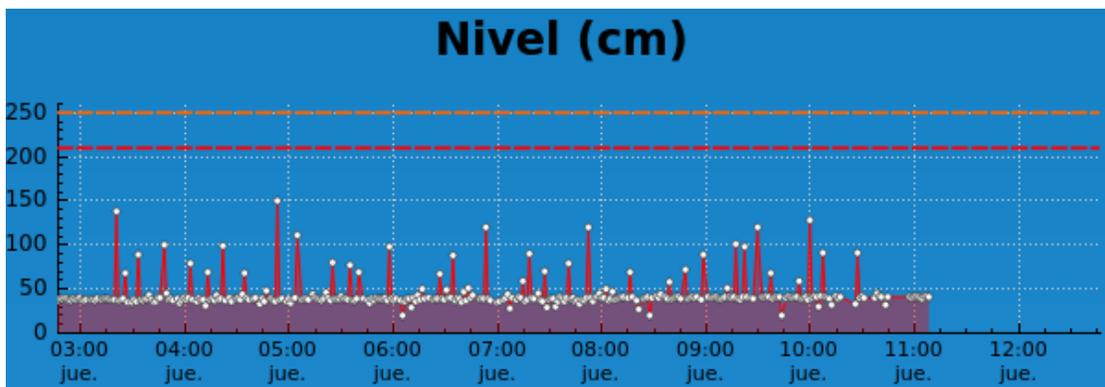
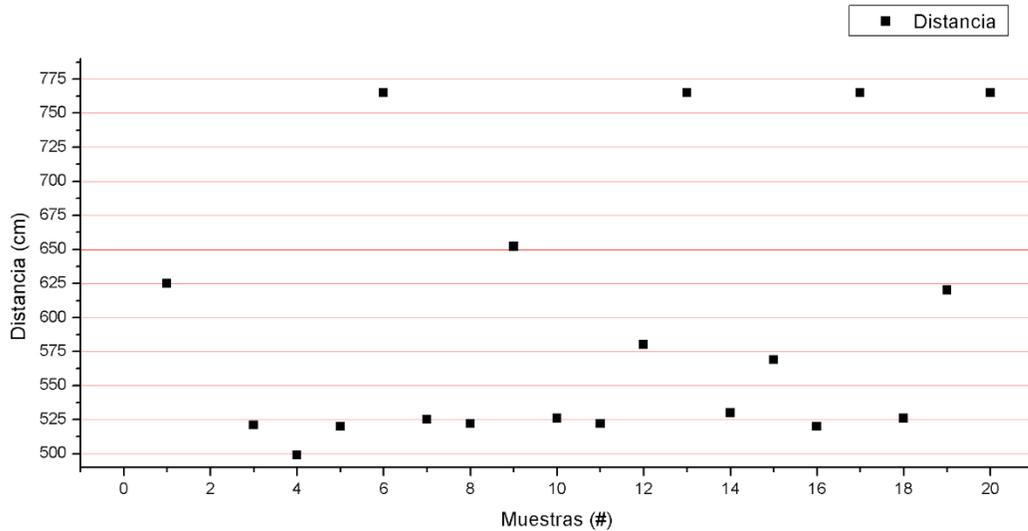
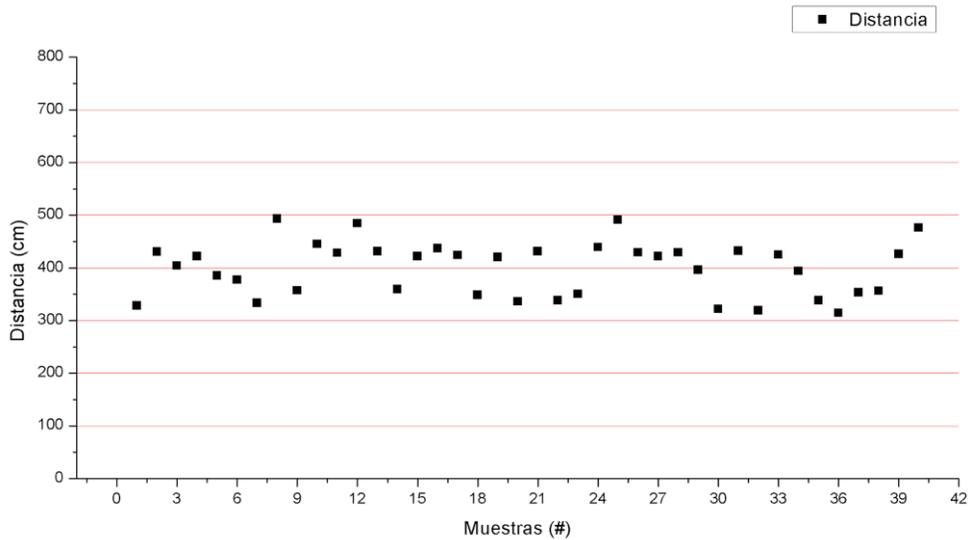


Figura 29. Muestras de datos crudos captados por el sensor de nivel de río.

Fuente 29 (Fuente Propia)

Es necesario realizar un proceso de filtrado a los datos provistos por el sensor. En términos generales, éste consistió en tomar muestras significativas de conjuntos de datos para situaciones particulares y conocidas de antemano, como corrientes laminares, turbulentas, y subidas del nivel generadas por lluvia. Teniendo muestras de las mediciones del nivel de río en tales situaciones y conociendo los niveles esperados correspondientes, se diseñó un filtro de moda que, sumado a un filtro pasa banda con límites variables, condiciona los datos de medida a un rango de valores esperados, teniendo en cuenta condiciones de seguridad que garanticen que los datos siempre se encuentren en la ventana de medida. La siguiente figura es un ejemplo del comportamiento de los datos luego de la aplicación del filtro.



*Figura 30.* Resultado de la aplicación de filtro a los datos crudos captados por el sensor de nivel de río.

*Fuente 30 (Fuente propia)*

Una vez terminado el núcleo de este firmware (toma de datos de nivel), es importante resaltar otro tipo de funcionalidades que aportan a la robustez de este, como lo son:

- Watchdog: Siendo este un mecanismo encargado de “vigilar” el funcionamiento continuo de un sistema, de tal manera que si por algún motivo la maquina se estanca, dicho mecanismo estará encargado de reiniciar el módulo, evitando una posible visita de campo.
- Envío de información relacionada con la red de radios: Se vuelve sumamente útil conocer el estado de la red de repetidoras, por esto, cada media hora aproximadamente cada módulo realiza un escaneo local de la red, arrojando información de las repetidoras responsables de la continuidad de su información. Información que es almacenada y que cobra importancia en los momentos que algún sensor reporte desconexión o similares.

- Envío de información respecto a la calidad de datos que se están tomando: una vez que es tomada la muestra sobre la cual se calculara la moda, existen ciertos indicadores vinculados al cálculo de la misma, con los cuales se podrá saber que tan fácil o no, es para el módulo adquirir un dato. Esta información es valiosa en los momentos que la morfología de la fuente hídrica cambia ya sea por una crecida o por un arrastre paulatino de material, en cualquier caso, los cambios de estos indicadores ayudaran a hacer mejores diagnósticos cuando se avecine cualquier erro en la medición de nivel.
- Aumento de frecuencia de toma de datos en caso de cambios moderados en la variable de nivel de nivel: En todo momento se está comparando el valor de la medida con el ultimo calculado, cuando se determina una diferencia superior a 13cm (valor experimental), se cambia la frecuencia de muestreo de aproximadamente 2 minutos a 35 segundos, para las siguientes 20 muestras. Permitiendo un mejor seguimiento a la curva trazado por el nivel del agua en tiempo.
- Disminución de frecuencia de toma de datos en caso de batería baja: De acuerdo con los parámetros de funcionamiento establecidos, estos módulos mantienen generalmente su nivel de batería por encima del 70%, se han detectado niveles inferiores en situaciones donde el sensor debe tomar mayor cantidad de muestras para realizar cálculos o en temporadas de radiación baja. En el caso anormal en el cual el nivel de la batería alcance un valor inferior a 25%, el módulo opta por disminuir su frecuencia de muestreo, a aproximadamente 10 minutos en condiciones sin cambios distancia moderados.

#### **4.1.3 Dispositivos de radiocomunicación**

Teniendo en cuenta lo comentado en la sección de Protocolo y perfiles de comunicación en el capítulo anterior, con únicamente los módulos XBee se obtiene una red estable en zonas rurales con baja polución electromagnética, pero redes frágiles en entornos donde dicha polución es mayor, como lo es la cabecera

municipal de Mocoa. Para solucionar esta situación se decide realizar dos fases de telecomunicación.

La primera fase parte de la red de radios de la familia XBee 900 HP. Esta red comprende la comunicación entre los módulos de transmisión de las estaciones hidrológicas y meteorológicas hacia dispositivos que repiten los datos según necesidades particulares. Esta red está ubicada en zona rural, donde el ruido de base es generalmente bajo. Las repetidoras direccionan la información hacia un punto central denominado “servidor”.

En la segunda fase se implementó un único enlace entre la zona rural y la urbana, en la que se encuentra la unidad central de monitoreo y alerta. Para esta tarea se desarrolló un nuevo elemento dentro del servidor, consistente en una interfaz entre dos tecnologías de telecomunicaciones, la ya mencionada XBee y un nuevo componente llamado WIFI; en la actualidad existen equipos con capacidad de establecer enlaces de redes de área local (LAN) a gran distancia y con gran estabilidad.

El desarrollo de este dispositivo se realizó sobre un dispositivo embebido Raspberry Pi. A este dispositivo se le acondiciono un radio XBee mediante un puerto USB, y se realizó una comunicación de websockets entre éste y la aplicación de visualización por medio de una red WIFI que se estableció hasta la central de monitoreo.



Figura 31. Componentes internos del servidor.

Fuente 31 (Fuente propia, 2018)

Dando continuidad a la búsqueda de la autonomía energética, este dispositivo se acompaña con un sistema fotovoltaico capaz de brindar un soporte energético en un régimen de uso 24/7.



Figura 32. Instalación del servidor.

Fuente 32 (Fuente propia, 2018)

La siguiente imagen muestra la ubicación relativa entre el servidor y la central de monitoreo y alerta, ubicada dentro de la cabecera municipal.



*Figura 33.* Ubicación relativa entre el servidor y la central de monitoreo y alerta.

*Fuente 33 (Fuente propia, 2018)*

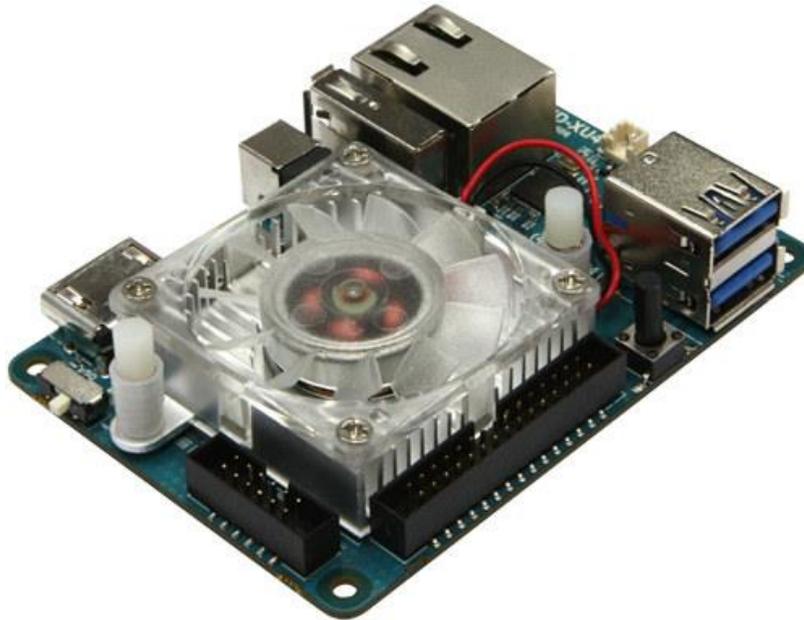
Debido a la lejanía de los puntos de instalación, el mantenimiento de estos dispositivos se hace mediante la implementación de una red local virtual con ayuda del software Hamachi, el cual permite realizar conexiones SSH con los equipos instalados en campo. Esta estrategia de acceso remoto permite realizar el mantenimiento y/o parametrización de las aplicaciones y servicios que hacen posible el funcionamiento del sistema.

#### **4.1.4 Parametrización del aplicativo del sistema de monitoreo y alerta**

Luego de algunas versiones, se consiguió programar una aplicación con los elementos de interés. Se trata de una interfaz gráfica de visualización y generación

de alertas tempranas en tiempo real, de los datos correspondientes a puntos de monitoreo de estaciones hidrológicas y meteorológicas<sup>1</sup>.

La aplicación corre en el sistema operativo (Linux) dentro de un dispositivo Odroid-XU4, el cual es un sistema de desarrollo capaz de emular la funcionalidad de un ordenador.



*Figura 34. Odroid modelo XU4.*

*Fuente 34 (odroid, 2016)*

La aplicación cuenta con un instalador mediante el cual se pueden configurar los usuarios y contraseñas, número y tipo de estaciones, etiquetado de las mismas y creación de categorías.

---

<sup>1</sup> La aplicación también incluye otras funciones que no aplicaron en Mocoa, como la gestión de estaciones de remoción de masa.



Figura 35. Ventana de instalación de la aplicación.

Fuente 35 (Fuente propia, 2018)

La apariencia de la aplicación, una vez instalada y configurada adecuadamente es como la siguiente:

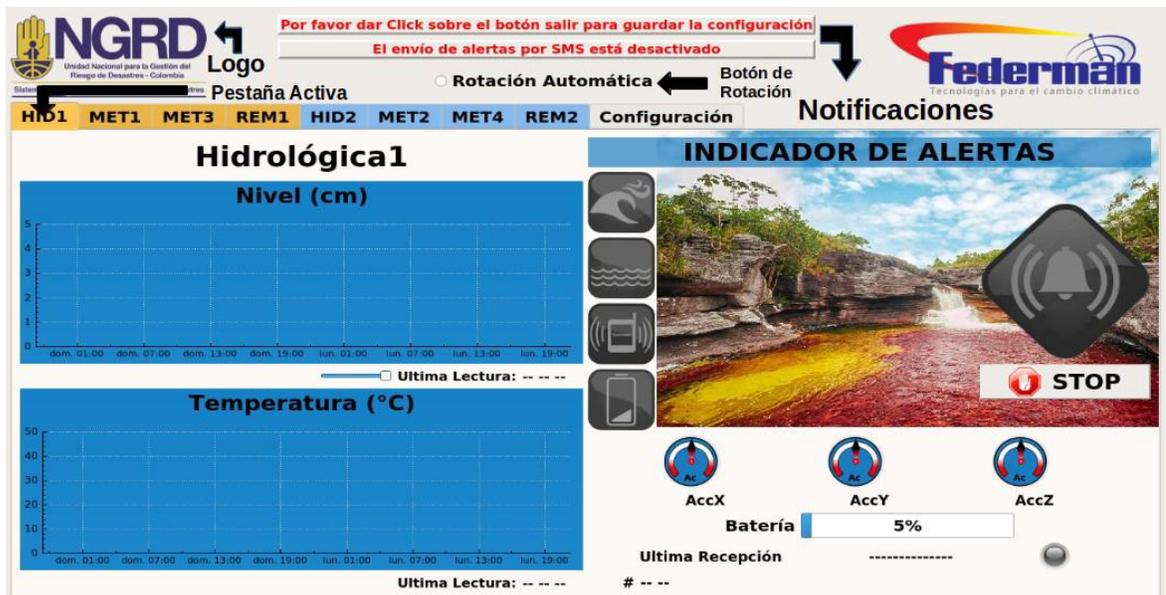


Figura 36. Apariencia general de la aplicación de monitoreo y alerta.

Fuente 36 (Fuente propia, 2018)

En la imagen se puede apreciar el despliegue de la información de manera gráfica para una estación hidrológica. En esta pueden observarse espacios para el ploteo de los datos de medición de nivel del río, temperatura e inclinación.

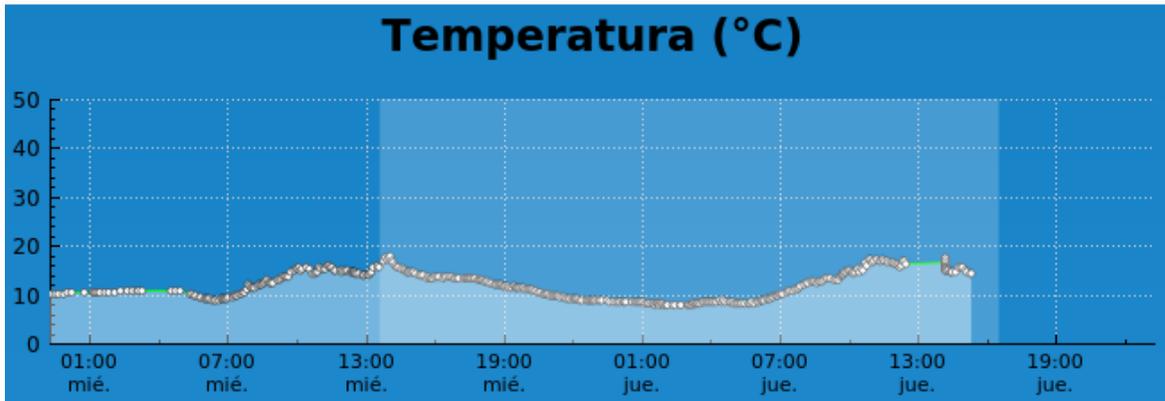


Figura 37. Ejemplo de gráfica de medidas de temperatura.

Fuente 37 (Fuente propia 2018)

Para estaciones meteorológicas se muestran datos de intensidad de lluvia, gráficas de precipitación acumulada semanal y mensual (inferidas a partir de los datos de intensidad de lluvia), íconos y animaciones para la dirección y velocidad del viento, temperatura, presión atmosférica, porcentaje de humedad, entre otras cosas.

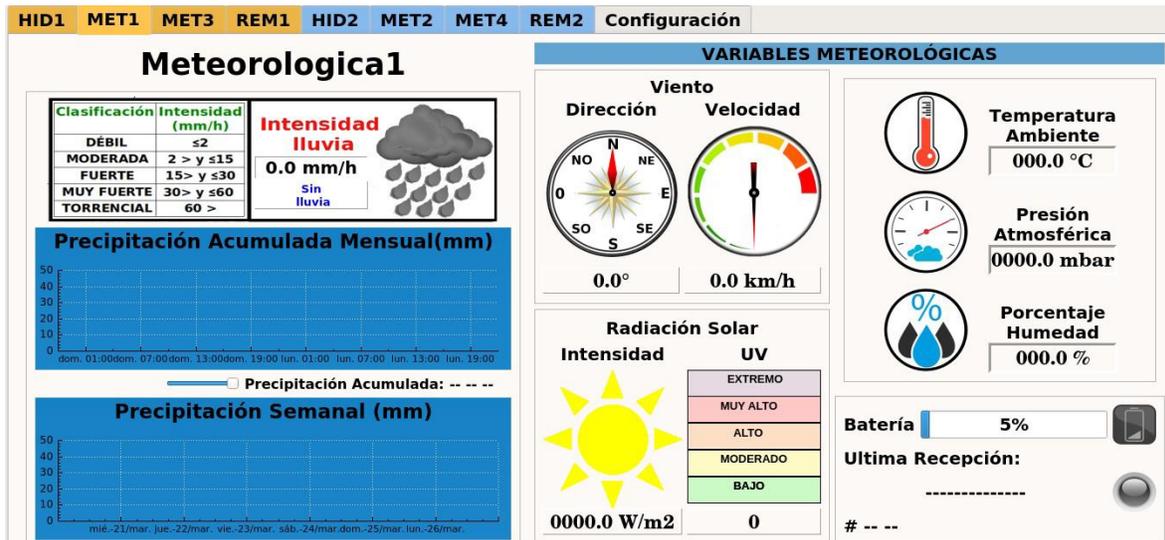


Figura 38. Visualización de información de estación meteorológica.

Fuente 38 (Fuente propia, 2018)

La aplicación tiene numerosas utilidades detalladas en el manual de usuario entregado por la empresa y que no serán tratadas en su totalidad dentro de este documento por motivos de reserva y extensión de este. Cabe destacar la función de ampliación (*zoom*) en el eje del tiempo de las gráficas, controles deslizantes, símbolos para las alertas, nivel de batería, entre otras.

#### 4.1.5 Central de monitoreo y alerta.

La central de monitoreo y alerta, ubicada en la cabecera municipal de Mocoa, cuenta con todos los implementos necesarios para realizar el monitoreo y la activación de alarmas en caso de una posible eventualidad.



Figura 39. Central de monitoreo y alerta.

Fuente 39(Fuente propia, 2018)

#### 4.1.6 Parametrización del sistema de monitoreo.

La parametrización del sistema de monitoreo y alerta se realiza configurando ciertos valores particulares que serán expuestos posteriormente, dentro de la aplicación de visualización.

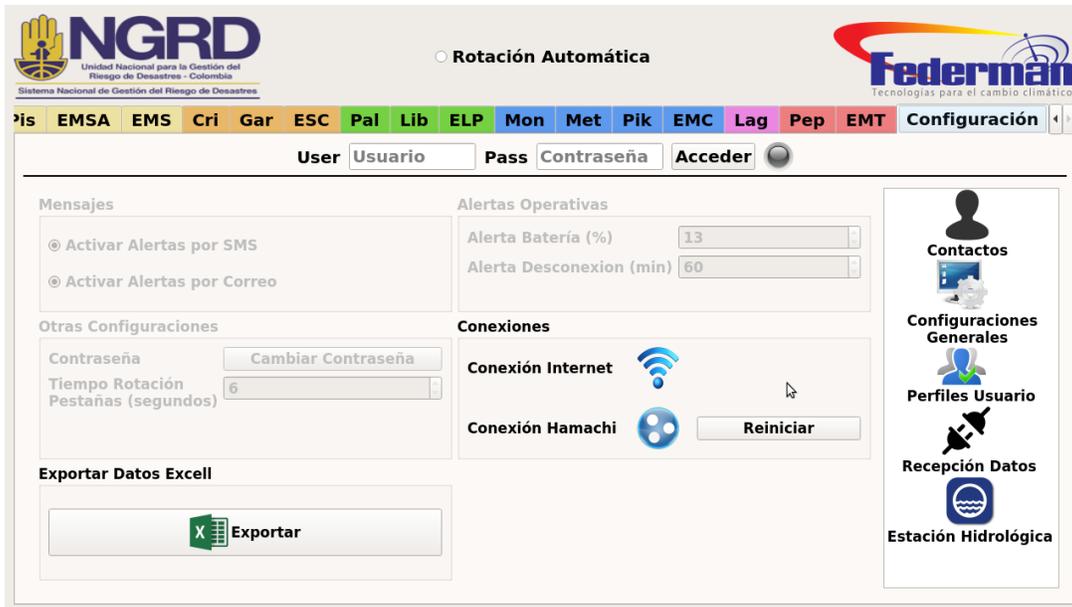


Figura 40. Configuración de la aplicación de visualización.

Fuente 40 (Fuente propia, 2018)

**4.1.6.1 Pestaña de contactos.** En esta pestaña se gestiona la información de las personas que reciben las alertas generadas por el sistema mediante SMS y/o correo electrónico, y la cantidad de información deseada de cada estación.

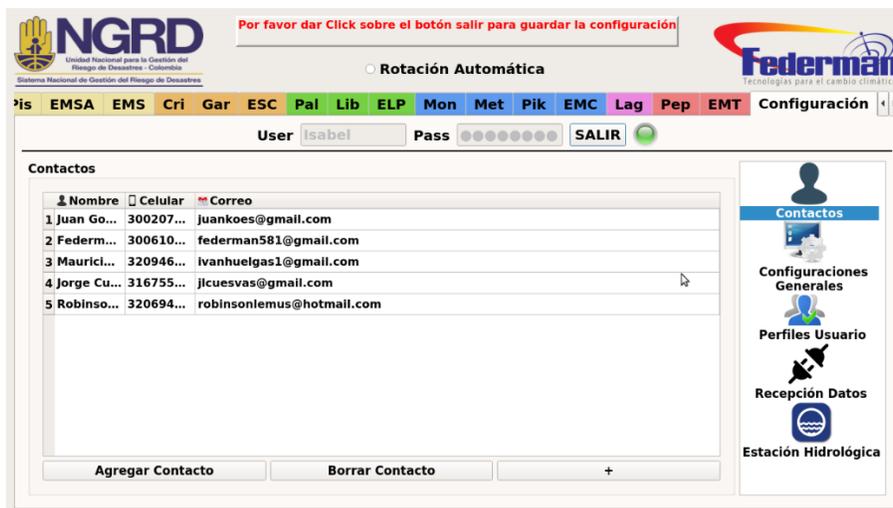


Figura 41. Muestra de contactos registrados en la aplicación de visualización y monitoreo.

Fuente 41 (Fuente propia, 2018)



Figura 42. Selección de tipo de alertas por notificar.

Fuente 42 (Fuente propia, 2018)

**4.1.6.2 Configuraciones generales.** Permite exportar datos de las mediciones para periodos particulares de tiempo, gestión de contraseñas de usuario, ver el estado de la calidad de las conexiones, y establecer límites para las alertas operativas.

**4.1.6.3 Perfiles de usuario.** Gestiona los perfiles y permisos de configuración, crea un registro de acceso general en el que se pueden consultar los cambios de perfil realizados y las alertas generada por el SAT.

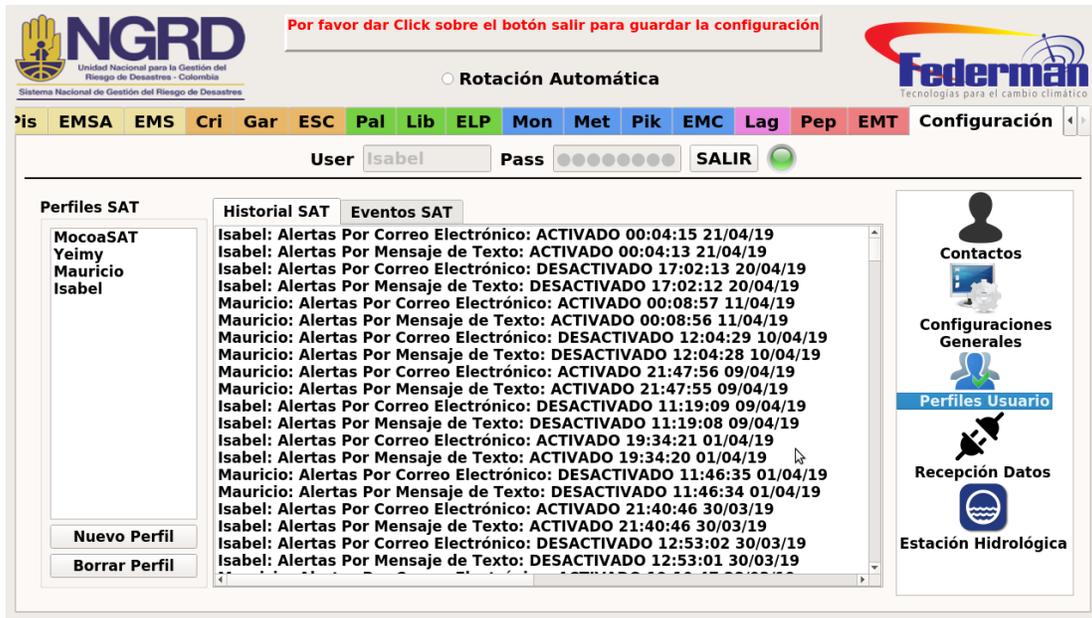


Figura 43. Configuración de perfiles usuario.

Fuente 43 (Fuente propia, 2018)

**4.1.6.4 Recepción de datos.** Gestiona el tipo de recepción deseado para los datos, y las configuraciones del servidor.

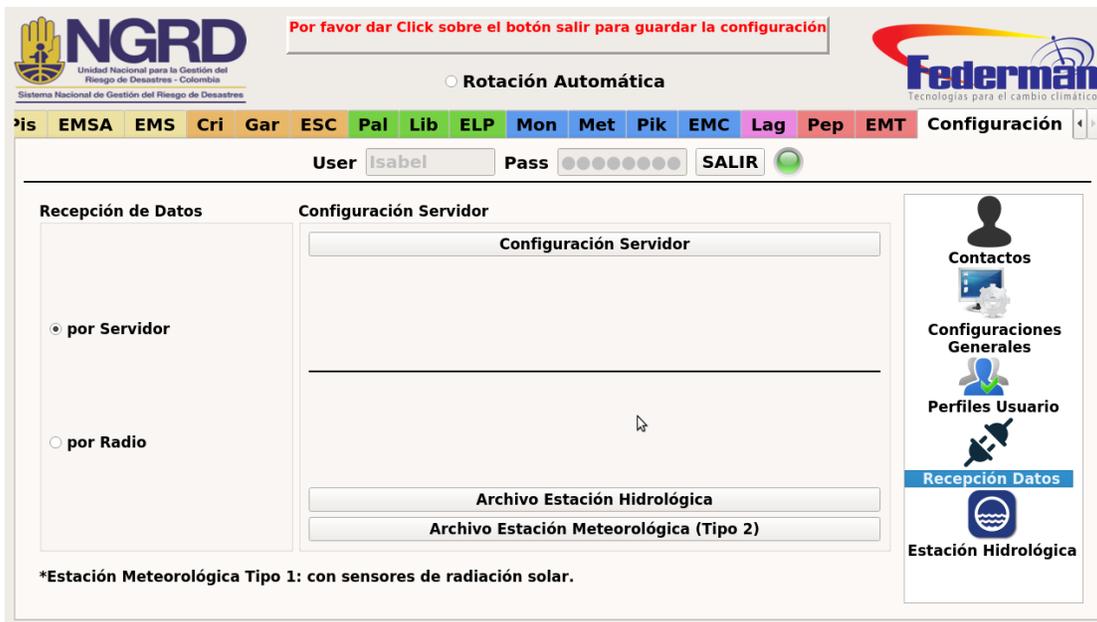


Figura 44. Pestaña de recepción de datos.

Fuente 44 (Fuente propia, 2018)

**4.1.6.5 Configuración estación hidrológica.** En esta pestaña se establecen los niveles de referencia de nivel del río para cada tipo de alerta (nivel bajo, alerta amarilla, alerta naranja, alerta roja), la distancia entre el lecho del río y el sensor de ultrasonido y los parámetros del acelerómetro.

Por favor dar Click sobre el botón salir para guardar la configuración

Rotación Automática

User Isabel Pass SALIR

**INDICADORES DE ALERTA**

- Alerta de Avalancha
- Alerta por Nivel Muy Alto
- Alerta Naranja por Nivel Alto
- Alerta Amarilla por Nivel Alto
- Alerta por Nivel Muy Bajo
- Alerta por Vibraciones Fuertes
- Alerta por Bateria Baja

**CONFIGURACIÓN DE ALARMAS**

Alarmas Por Cambios de Nivel

Nombre					D.Suelo
TarA	10	100	200	300	485
TarM	10	120	174	305	485
Qtar	10	125	238	331	430
Conf	10	121	202	285	620
Pis	18	150	290	422	350
Cri	25	150	250	350	600

Alarmas por Vibraciones

Nombre	Ac X	Ac Y	Ac Z	Rango
TarA	0	0	0	40
TarM	0	0	0	40
Qtar	-4	-7	0	40
Conf	0	0	0	40

Estación Hidrológica

Figura 45. Configuraciones estación hidrológica.

Fuente 45 (Fuente propia, 2018)

Las distancias entre cada sensor de ultrasonido y el lecho del río en el punto de instalación es de suma importancia ya que a partir de dicho valor se calcula el nivel del río de manera indirecta. Para la medición de esta variable, en cada ubicación de las estaciones hidrológicas, se mide manualmente la distancia entre el lecho del río y el sensor. A este valor se le resta la medida entregada por el sensor de ultrasonido, que es realmente la distancia desde éste hasta el espejo de agua, con lo cual ya se tendría la medida desde el lecho hasta el espejo del agua.

Debido a la gran importancia de la determinación de los umbrales de alerta, La UGNRD tomó la decisión de contratar a la Pontificia Universidad Javeriana con el fin de realizar un estudio batimétrico, topográfico y de suelos, que diera como

resultado niveles de alertamiento ceñidos a los riesgos naturales que presenta cada zona.

Los resultados de dichos estudios se encuentran en la siguiente tabla:

Lugar	Alerta Amarilla (cm)	Alerta Naranja (cm)	Alerta Roja (cm)	Distancia Suelo (cm)
Taruquita	125	238	331	430
Taruca	120	174	305	485
Confluencias Taruca	121	202	285	620
Piscinas Taruca	150	230	340	370
Sangoyaco Alto	150	250	350	600
Sangoyaco Garganta	179	247	376	612
Mulato Palmeras	136	216	320	460
Mulato Líbano	120	201	250	415
Mocoa Monclart	250	340	420	703
Mocoa Pte. Metálico	380	430	500	604
Mocoa Piscikart	150	200	250	650

Tabla 3 Resultados entregados por JUP para la parametrización de alertas

#### 4.1.7 Ejemplo de caso de emergencia

El 12 de agosto de 2018, aproximadamente a la 1:00 am se desencadenaron lluvias que alcanzaron los 100 mm de precipitación según la información entregada por los pluviómetros del sistema. Aproximadamente a las 3:00 am, los niveles de diferentes estaciones registraron valores que sobrepasaron los niveles de alerta. A esto se sumó la información proveniente de los vigías los cuales reportaron la repentina subida de nivel. En consecuencia, las sirenas fueron activadas y se activó el protocolo de evacuación establecido por las entidades de riesgos del municipio.

“El Sistema de Alerta Temprana instalados allí se activó sobre las 3:00 a.m., con el fin de que los habitantes de este municipio evacuaran”, informó la UNGRD. De

acuerdo con la información emitida por el Puesto de Mando Unificado llevado a cabo en el departamento, se vieron afectados 5 barrios y 3 veredas por inundaciones” (El Tiempo, 2018).

Las siguiente son algunas de las gráficas correspondientes a los datos en el periodo de tiempo de la emergencia.

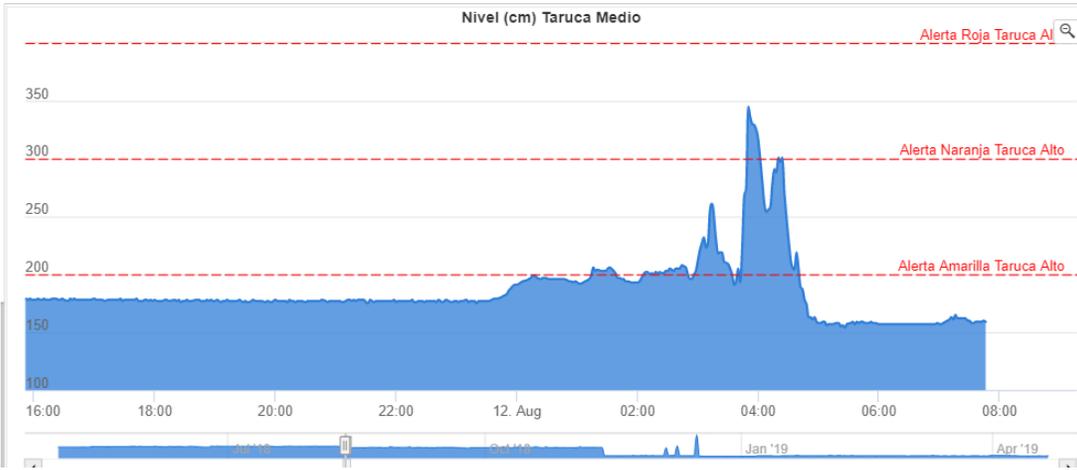


Figura 46. Nivel del río Taruca en el periodo de tiempo de la emergencia de agosto de 2018.

Fuente 46 (Fuente propia, 2018)

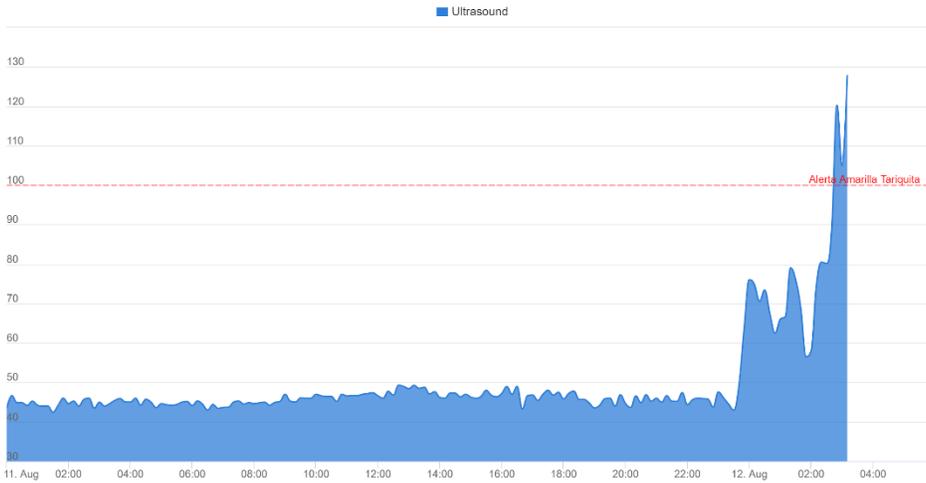
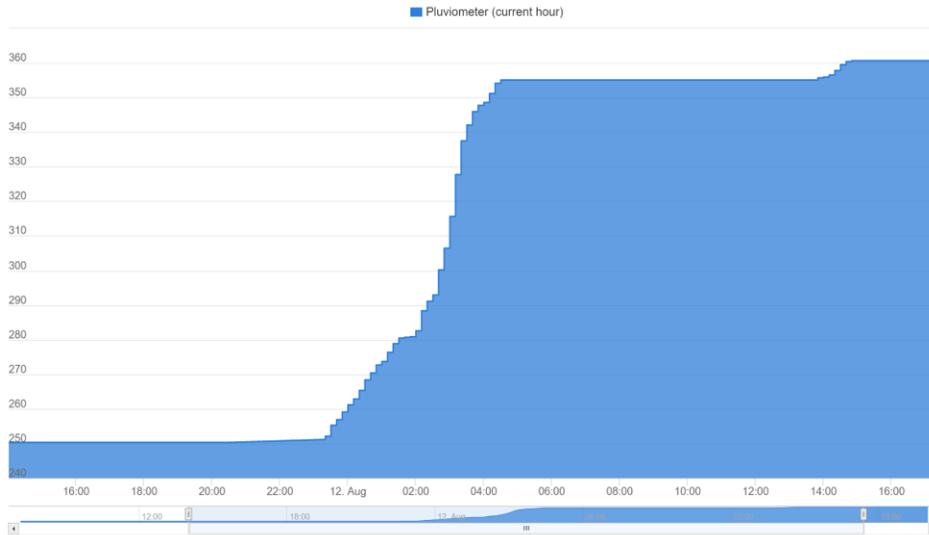


Figura 47. Nivel del río Taruquita en el periodo de tiempo de la emergencia de agosto de 2018

Fuente 47 (Fuente propia, 2018)



*Figura 48.* Mediciones del pluviómetro de la estación meteorológica Campucana en el periodo de tiempo de la emergencia de agosto de 2018.

*Fuente 48 (Fuente propia, 2018)*

En este episodio, el sistema implementado respondió como se esperaba con efectividad y de manera oportuna.

## 5 CONCLUSIONES

- Se logró diseñar e implementar una red sensores para monitoreo de variables hidrometeorológicas, con su respectivo sistema de radiocomunicación y totalmente autónomo energéticamente. Si bien la aplicación hace uso de prestaciones provenientes de internet, como el acceso remoto y mensajería, su función principal de medición y transmisión de los datos se hace de manera independiente.
- De acuerdo con la experiencia previa y las características de cada sensor, se determinó y acondicionó un grupo de sensores adecuados para funcionar en un régimen 24/7 en intemperie.
- Se considera que se logra un firmware suficiente que tenga en cuenta la autonomía energética, la adquisición y envío de datos.
- Se establece con éxito una estrategia de telecomunicaciones para asegurar el flujo continuo de datos.
- Se establecieron una serie de lineamientos que permitió la creación de una aplicación de escritorio con múltiples funciones de alertamiento y administración de esta.

## 6 RECOMENDACIONES

Como en todo sistema, los elementos usados como sensores y demás dispositivos pueden ser mejorados. El sensor de ultrasonido MB7040 cumple con las expectativas de robustez y precisión, pero se recomienda seguir en la búsqueda de nuevos transductores para ampliar características como el rango, esto permitiría ampliar las posibilidades de instalación y seguridad de la estación.

La estación WS3000 encargada de medir la pluviosidad, la dirección y dirección de viento, a pesar de ser funcional, debido a su diseño pobre, este concepto surge por medio de la comparativa con pluviómetros de otras marcas, por ejemplo, características como; un área mayor de recolección, rejilla de protección anti-taponamiento, protección contra aves, elementos de calibración e instalación. Esto implica tiempos de mantenimiento cortos. Se recomienda por lo tanto considerar el uso de elementos más sofisticados (y posiblemente más costosos) en tanto la situación que motiva su uso lo permita, tanto en recursos económicos como en tiempo disponible para el diseño e implementación del sistema.

Las redes de comunicación instaladas se comportan de manera estable hasta cierto rango de -70 dB entre repetidoras. Como forma de mejora se recomienda la instalación de más equipos repetidoras, así como un servidor auxiliar, con el fin de poder contar con respaldos o redundancias de información que dará como resultado en un sistema más confiable.

Es muy recomendable la ejecución de tareas periódicas de mantenimiento de los equipos, más aun considerando el entorno en el que éstos se encuentran; fallas en las medidas no siempre se deben al deterioro exclusivo de los dispositivos, agentes externos como; cambio de la topografía del lugar, mugre e insectos pueden inmiscuirse y alterar la información de las medidas.

Finalmente, dada la gran cantidad de información que recolecta el sistema y en aras de agregar nuevas tecnologías al sistema, se recomienda utilizar elementos de

inteligencia artificial para crear modelos que permitan una posible predicción del comportamiento del nivel de los ríos.

## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Caina, L. K. y Castro, F. R. (2018). *Generación de parámetros y protocolos para un sistema de alerta temprana en la cuenca alta de río cauca*. Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- El Espectador. (2017). *Avalancha en Mocoa, una de las peores tragedias de 2017*. Recuperado de <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/avalancha-en-mocoa-una-de-las-peores-tragedias-de-2017-articulo-730617>
- El Tiempo. (2018). Videos muestran magnitud de la nueva emergencia por lluvias en Mocoa. Recuperado de <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/videos-de-nueva-emergencia-en-mocoa-2018-254848>
- Federman. (2018). *La empresa*. Recuperado de <https://federman.com.co/la-empresa>
- Libellium. (2017). *Smart Agriculture 3.0. Technical Guide*. Recuperado de [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwig2qr2v9DhAhXKxIkKHfjtAEkQFjAAegQIABAC&url=http%3A%2F%2Fwww.libellium.com%2Fdownloads%2Fdocumentation%2Fagriculture\\_sensor\\_board\\_3.0.pdf&usg=AOvVaw1sBAKXy09-s2CM1GMO7ZF5](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwig2qr2v9DhAhXKxIkKHfjtAEkQFjAAegQIABAC&url=http%3A%2F%2Fwww.libellium.com%2Fdownloads%2Fdocumentation%2Fagriculture_sensor_board_3.0.pdf&usg=AOvVaw1sBAKXy09-s2CM1GMO7ZF5)
- MaxBotic. (2012). *I2CXL-MaxSonar®- WR/WRC™ Series*. Recuperado de [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiK-I2m2c3hAhUtuVkkHYyLA98QFjABegQIABAC&url=https%3A%2F%2Fwww.maxbotix.com%2Fdocuments%2FI2CXL-MaxSonar-WR\\_Datasheet.pdf&usg=AOvVaw1Pnfv-s5KJ\\_onQ1G8f7KY7](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiK-I2m2c3hAhUtuVkkHYyLA98QFjABegQIABAC&url=https%3A%2F%2Fwww.maxbotix.com%2Fdocuments%2FI2CXL-MaxSonar-WR_Datasheet.pdf&usg=AOvVaw1Pnfv-s5KJ_onQ1G8f7KY7)
- Servicio Geológico Colombiano. (2018). Amenaza por movimientos en masa tipo flujo de las cuencas de las quebradas Taruca, Taruquita, San Antonio y el Carmen y los ríos Mulato y Sangoyaco, municipio de Mocoa, escala 1:5.000.

Recuperado de [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjYzsP78cXhAhUMxVkKHf8RBAMQFjAAegQIAhAC&url=http%3A%2F%2Fwww.camara.gov.co%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2F2018-05%2FAvenida\\_torrencial\\_5K\\_Final.pdf&usg=AOvVaw28atsl3BC3NiQn9KqmKC6g](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjYzsP78cXhAhUMxVkKHf8RBAMQFjAAegQIAhAC&url=http%3A%2F%2Fwww.camara.gov.co%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2F2018-05%2FAvenida_torrencial_5K_Final.pdf&usg=AOvVaw28atsl3BC3NiQn9KqmKC6g)

Fundamentos teórico-prácticos del ultrasonido (2007), JAIRO ALEJANDRO MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, JAIME VITOLA O YAGA, SUSANA DEL PILAR S ANDOVAL C ANTOR.

Robert Boylestad (2003), Introducción al análisis de circuitos, Person Educación.

Laura Martin, (diciembre 16 de 2013), Level Measurement Showdown: Ultrasonic Vs. Radar. WateronlineDoc. Recuperado de <https://www.wateronline.com/doc/level-measurement-showdown-ultrasonic-vs-radar-0001>

Precipitation, En Enciclopedia británica. Recuperado el 18 agosto de 2019 de <https://www.britannica.com/science/precipitation>

Manual de uso de términos meteorológicos (2015), Agencia Estatal de Meteorología FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA (2004), Meteorología y Climatología, edita Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología.

Flashing Firmware (2011), de [www.tech.com](http://www.tech-faq.com/flashing-firmware.html). Recuperado de <http://www.tech-faq.com/flashing-firmware.html>

Virtual Private Networking: An Overview (2009). Docs-Microsoft. Recuperado de [https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windows-2000-server/bb742566\(v=technet.10\)](https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windows-2000-server/bb742566(v=technet.10))

WebSocket, En Wikipedia. Recuperado el 18 agosto de 2019 de <https://es.wikipedia.org/wiki/WebSocket>

Peckol, J. K. (2008). Embedded Systems: A Contemporary Design Tool. Hoboken, Nueva Jersey:Wiley.

IDEAM (2007). PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DEL AGUA. Imprenta Nacional de Colombia.

## 8 ANEXOS

Anexo A. Puntos de instalación de las estaciones hidrológicas y meteorológicas.

CATEGORIA	SENSORES	CORIENTE	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	NOMBRE
HIDROLOGICA	NIVEL Y TEMPERATURA	TARUQUITA	01° 11´ 04.26"	76° 40´ 48.69"	1069	SANANTONIO TARUQUITA ALTO
HIDROLOGICA	NIVEL Y TEMPERATURA	TARUCA	01° 10´ 38.46"	76° 41´ 2.61"	1140	SANANTONIO TARUCA ALTO
HIDROLOGICA	NIVEL Y TEMPERATURA	TARUCA - TARUQUITA	01° 10´ 52.3"	76° 40´ 19.7"	950	100 METROS ABAJO CONFLUENCIA
HIDROLOGICA	NIVEL Y TEMPERATURA	TARUCA - TARUQUITA	01° 10´ 29.00"	76° 39´ 56.00"	904	LAS PISCINAS TARUCA
REFERENCIA		TARUCA - TARUQUITA	01° 10´ 51.5"	76° 40´ 21.5"	955	CONFLUENCIA TARUCA TARUQUITA
REFERENCIA		TARUCA	01° 10´ 39.00"	76° 41´ 36"	1347	TARUCA LIMITE ALTO
METEOROLOGICA	LLUVIA, TEMPERATURA, VIENTO, HUMEDAD	CONEJO	01° 12´ 7"	76° 40´ 53"	1073	CAMPUCANA AUTOMATICA
METEOROLOGICA	LLUVIA, TEMPERATURA, VIENTO, HUMEDAD	TARUQUITA	01° 10´ 45.00"	76° 40´ 42.0"	1053	PLUVIOMETRO TARUCA TARUQUITA
HIDROLOGICA	NIVEL Y TEMPERATURA	RÍO MOCOA	01° 12´ 49.23"	76° 39´ 27.92"	731	PUENTE MONCLART
HIDROLOGICA	NIVEL Y TEMPERATURA	RÍO MOCOA	01° 11´ 42.23"	76° 38´ 42.66"	678	PUENTE METALICO
HIDROLOGICA	NIVEL Y TEMPERATURA	RÍO MOCOA	01° 2´ 22.23"	76° 36´ 39.40"	408	PISCIKART
HIDROLOGICA	NIVEL Y TEMPERATURA	SANGOYACO	01° 09´ 54.9"	76° 40´ 46.00"	976	SANGOYACO ALTO
HIDROLOGICA	NIVEL Y TEMPERATURA	SANGOYACO	01° 09´ 31.1"	76° 40´ 15.1"	792	SANGOYACO GARGANTA
METEOROLOGICA	LLUVIA, TEMPERATURA, VIENTO, HUMEDAD	SANGOYACO	01° 10´ 23.9"	76° 40´ 51.2"	1150	CRISTALINA ALAMBRADO
REFERENCIA		SANGOYACO - TARUCA	01° 09´ 21.5"	76° 39´ 39.4"	1115	SAN MIGUEL
HIDROLOGICA	NIVEL Y TEMPERATURA	MULATO	01° 9´ 23.00"	76° 41´ 25.00"	1002	BOCATOMA LAS PALMAS
HIDROLOGICA	NIVEL Y TEMPERATURA	MULATO	01° 8´ 34.95"	76° 40´ 27.6"	824	PUENTE CHONTAYACO
METEOROLOGICA	LLUVIA, TEMPERATURA, VIENTO, HUMEDAD	MULATO	01° 9´ 20.00"	76° 41´ 14.00"	986	DESARENADOR LAS PALMAS

