

**PROTOTIPO DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIÓN SOBRE LA  
QUEBRADA PUBÚS**



**CARLOS ARTURO LEÓN CASANOVA  
OSCAR EDUARDO MOLANO ALCUÉ**

**Tesis para proyecto de grado**

**Director:  
ALEXANDER ASTUDILLO LAGOS  
INGENIERO FISICO, EST. MAESTRÍA**

**Fundación Universitaria de Popayán  
Facultad de Ingeniería  
Línea de Investigación Sistemas Telemáticos Inteligentes  
Popayán, septiembre de 2019**

**CARLOS ARTURO LEÓN CASANOVA  
OSCAR EDUARDO MOLANO ALCUÉ**

**PROTOTIPO DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIÓN SOBRE LA  
QUEBRADA PUBÚS**

**Trabajo de grado presentado a la Facultad de Ingeniería  
de la Fundación Universitaria de Popayán  
para obtener el título de**

**Ingeniero de Sistemas**

**Director:  
MSc. ALEXANDER ASTUDILLO LAGOS**

**Popayán, septiembre de 2019**

**TRABAJO DE GRADO**

**PROTOTIPO DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIÓN DIRIGIDO A LA  
COMUNIDAD DE LA QUEBRADA PUBÚS**

**Autores:**

**CARLOS ARTURO LEÓN CASANOVA  
OSCAR EDUARDO MOLANO ALCUÉ**

**Director:**

**MSc. ALEXANDER ASTUDILLO LAGOS**

Director: \_\_\_\_\_

Jurado 1: \_\_\_\_\_

Jurado 2: \_\_\_\_\_

Popayán, 30 de septiembre de 2019

## **Dedicatoria**

### **Carlos Arturo León Casanova**

*Doy gracias a Dios por permitirme culminar mis estudios de pregrado, a mi familia, novia y amigos que siempre estuvieron apoyándome y guiándome con los mejores consejos a pesar de todos los inconvenientes y problemas que se presentaron a lo largo de mi carrera. Es muy grato terminar mis estudios y ver todos los frutos que he cosechado gracias a mi rendimiento y comportamiento frente a mis compañeros, docentes y directivos del programa. Agradezco al programa de ingeniería de sistemas y a todo el talento humano quien siempre estuvo presto para ayudar y servir a las necesidades académicas y sociales que se tuvieron en el transcurso de estos años y por último y no menos importante a la comunidad del asentamiento la fortaleza por brindarnos su confianza y esfuerzo para ser coautores de nuestro trabajo de grado.*

### **Oscar Eduardo Molano Alcué**

*A Dios gracias, que me puso en el lugar, hora y momento correcto, que dirigió cada uno de mis pasos para poder llegar a esta meta y las que se vienen en su nombre. A esos padres maravillosos que Dios me regaló, y que han sido mi ejemplo, gracias, por sus sacrificios, su paciencia, y sobre todo por su apoyo y todo su amor por mí, ¡Los Amo!, A toda mi familia, amigos y conocidos por su apoyo y por contribuir de una u otra forma en este logro. ¡Dios los bendiga! Y, por último, pero no menos importante, a las comunidades cercanas a la quebrada Pubús, por su disposición para ayudarnos, y su cariño entregado, que sean siempre recompensados, Dios los bendiga.*

## RESUMEN

El presente informe describe el Sistema de información (SI) basado en el desarrollo de una plataforma web y un subsistema hardware de adquisición de datos, el cual está comprendido por un Arduino ESP32 y sensores para determinar el caudal (YF-S201) y la altura (HC-SR04); conformando así el prototipo de alerta temprana ante inundaciones en el asentamiento La Fortaleza, ubicado en la comuna 7 de la ciudad de Popayán, Colombia.

Para llevar a cabo con éxito el desarrollo del prototipo del SI de alerta temprana ante inundaciones, fue necesario realizar visitas a los asentamientos La Fortaleza y Nueva Esperanza.

Con la comunidad se realizaron conversaciones sobre las inundaciones que se han presentado y los problemas que han ocurrido a causa de estos acontecimientos naturales. El acercamiento con la comunidad fue un proceso de varias visitas, ya que la comunidad siempre estuvo escéptica al proyecto por razones sociales y políticas. Motivo que incentivó a utilizar metodologías que fueran inclusivas y dirigidas a la comunidad, para así generar confianza y establecer un acercamiento social con la misma, con el fin de conseguir los permisos para las actividades que se realizaron en el asentamiento y tener una conexión social y amigable.

Después de haber establecido una comunicación asertiva con la comunidad, se procedió al levantamiento de requerimientos para el desarrollo del prototipo tecnológico adecuado a las necesidades específicas de los asentamientos en cuestión, referentes a las inundaciones súbitas registradas en el transcurso del tiempo. Es muy importante aclarar que el levantamiento de requerimientos estuvo soportado por la metodología Human Centered Design (HCD), la cual exige el acompañamiento del público objetivo, es decir, a quién va dirigido el proyecto para así realizar validaciones constantes del prototipo.

El levantamiento de requerimientos estuvo acompañado de reuniones con la comunidad y con las juntas de acción comunal (JAC), sensibilizando e indagando acerca de los riesgos, la vulnerabilidad a la que están sometidos por dichas inundaciones y sobre las acciones que realizan en caso de registrarse estos eventos.

Finalmente, el prototipo fue presentado a las juntas de acción comunal (JAC), como proyecto social desarrollado por la Fundación Universitaria de Popayán para el beneficio de los asentamientos La Fortaleza y Nueva Esperanza, brindando a través de una plataforma web de demostración el registro de los datos recibidos por los sensores y la placa Arduino, en una vista amigable para los usuarios y presidentes de las juntas, con el fin de generar una proyección de cómo será la visualización de los datos y el análisis para generar las alertas en caso de ser implementado en la quebrada Pubús de la comuna 7 de Popayán.

**Palabras clave:** Sensor, caudal, inundación, alerta temprana, prototipo

## ABSTRACT

This report describes the Information System (SI) based on the development of a web platform and a hardware data acquisition subsystem, which is comprised of an Arduino ESP32 and sensors to determine flow rate (YF-S201) and height (HC-SR04); forming the prototype of early warning against flooding in the settlement La Fortaleza, located in the 7th commune of the city of Popayán, Colombia.

To successfully carry out the development of the SI prototype of early warning for flooding, it was necessary to make visits to the settlements La Fortaleza and Nueva Esperanza.

Discussions were held with the community about the flooding that has occurred and the problems that have occurred because of these natural events. The outreach with the community was a process of several visits, as the community was always skeptical of the project for social and political reasons. Reason that encouraged the use of methodologies that were inclusive and aimed at the community, in order to generate trust and establish a social rapprochement with it, in order to obtain the permits for the activities that were carried out in the settlement and have a social and friendly connection.

Having established an assertive communication with the community, requirements were made for the development of the technological prototype appropriate to the specific needs of the settlements concerned, concerning the sudden floods recorded over time. It is very important to clarify that the lifting of requirements was supported by the Human Centered Design (HCD) methodology, which requires the accompaniment of the target audience, that is, to whom the project is aimed to carry out constant validations prototype.

The lifting of requirements was accompanied by meetings with the community and with the community action boards (JAC), raising awareness and investigating the risks, the vulnerability to which they are subjected by such floods and the actions perform in case of registration of these events.

Finally, the prototype was presented to the community action boards (JAC), as a social project developed by the University Foundation of Popayán for the benefit of the settlements La Fortaleza and Nueva Esperanza, providing through a demo web platform the recording of the data received by the sensors and the Arduino board, in a user-friendly view and board chairpersons, in order to generate a projection of what the data will look like and the analysis to generate alerts in case of being implemented in the Pubús ravine of the commune 7 of Popayán.

**Keywords:** Sensor, flow, flood, early warning, prototype

## Tabla de contenido

CAPÍTULO 1: ELEMENTOS DEL PROCESO INVESTIGATIVO	1
1 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL CONOCIMIENTO	1
2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	6
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	6
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	7
3 OBJETIVOS	7
3.1 OBJETIVO GENERAL	7
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
4 JUSTIFICACIÓN	8
5 MARCOS DE REFERENCIA	9
5.1 MARCO TEÓRICO	9
5.2 MARCO CONTEXTUAL	10
5.3 METODOLOGÍA	10
5.3.1 FASE DE INSPIRACIÓN	10
5.3.2 FASE IDEACIÓN	11
5.3.2.1 REQUERIMIENTOS GENERALES: .....	11
5.3.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS ROLES:.....	11
5.3.2.3 REQUERIMIENTOS ESPECIFICOS .....	12
5.3.2.4 ARQUITECTURA.....	15
5.3.3 FASE DE IMPLEMENTACIÓN	16
6 RESULTADOS	1
6.1 HARDWARE:	1
6.2 SOFTWARE	6
6.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS	13

7	PROCESO DE INVESTIGACIÓN	20
8	CONCLUSIONES	21
9	TRABAJOS FUTUROS	22
10	ANEXOS	23

## **Contenido de tablas**

Tabla 1 Características De Los Roles .....	12
Tabla 2 Requerimientos Específicos RF00 .....	12
Tabla 3 Requerimientos Específicos RF01 .....	12
Tabla 4 Requerimientos Específicos RF02 .....	13
Tabla 5 Requerimientos Específicos RF03 .....	13
Tabla 6 Requerimientos Específicos RF04 .....	13
Tabla 7 Requerimientos Específicos RF05 .....	13
Tabla 8 Requerimientos Específicos RF06 .....	14
Tabla 9 Requerimientos Específicos RF07 .....	14
Tabla 10 Requerimientos Específicos RF08 .....	14
Tabla 11 Requerimientos Específicos RF09 .....	15
Tabla 12 Requerimientos Específicos RF10 .....	15
Tabla 13 Requerimientos Específicos RF11 .....	15
Tabla 14 Cronograma Metodología SCRUM.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 15. DataSet Caudalímetro .....	4
Tabla 16 DataSet Ultrasonido .....	6
Tabla 17 Gráfico para analizar variables del sensor de ultrasonido .....	6
Tabla 18 Tabla para la división y cálculo del área transversal .....	13
Tabla 19 Tabla de divisiones, altura y velocidad por punto de medida .....	14
Tabla 20 Tabla del gráfico para cálculo del caudal .....	15
Tabla 21 Tabla del caudal por punto de medida .....	16
Tabla 22 Caudal total del espacio controlado simulando la quebrada (ml3/s) .....	17
Tabla 23 Caudal total del espacio controlado simulando la quebrada .....	17
Tabla 24 Tabla para graficar la medición del caudal total para generar alertas ....	18
Tabla 25 Proceso de Investigación .....	20
Tabla 26 Anexos .....	24

## CONTENIDO DE IMÁGENES

Imagen 1 Módulo ESP32 .....	1
Imagen 2 Módulo ESP32 #2.....	1
Imagen 3 Caudalímetro .....	1
Imagen 4 Ultrasonido .....	1
Imagen 5 Esquemático del circuito.....	2
Imagen 6 Diseño PCB .....	2
Imagen 7 Visualización 3D, vista inferior.....	2
Imagen 8 Visualización 3D, Vista superior .....	2
Imagen 9 Corriente de líquido que fluye - mL/sec.....	5
Imagen 10 Vista del super administrador en la plataforma web .....	8
Imagen 11 Vista para crear un administrador.....	8
Imagen 12 Vista para crear un usuario para la comunidad del asentamiento .....	9
Imagen 13 Menú disponible para el super administrador.....	9
Imagen 14 Diferentes tipos de alertas creadas por el administrador o super administrador. ....	10
Imagen 15 Modelo de gráfica para análisis de datos. ....	10
Imagen 16 Modelo de gráfica de cómo se realizaron los estudios para calcular las variables, en este caso el área transversal del espacio controlado, simulando una quebrada. ....	11
Imagen 17 Modelo de gráfica de cómo se calculó el perfil transversal de la quebrada en el espacio controlado. ....	11
Imagen 18 Vista de manera responsive, dando prueba de que es adaptable a Smartphone, computadores y tablet's. ....	12
Imagen 19 División para cálculo del área transversal .....	14
Imagen 20 Gráfica de divisiones, altura y velocidad por punto de medidas .....	15
Imagen 21 Gráfico para cálculo del caudal .....	16
Imagen 22 Caudal por punto de medida .....	17
Imagen 23 Grafica medición del caudal total para generar alertas .....	19
Imagen 24 Macro y micro localización .....	25

## INTRODUCCIÓN

Con el tiempo los seres humanos han sido testigos de catástrofes naturales, entre ellas, las inundaciones, dadas por factores principales y únicos, dentro de los que están los factores humanos, en los cuales el mismo hombre se ha encargado de ocasionarlos por el descuido y abandono al que ha sometido al planeta, principalmente haciendo uso inadecuado de los recursos naturales renovables, por la tala indiscriminada de árboles y la inapropiada disposición de los desechos generados por la utilización de materiales de construcción y de consumo. Hechos que conllevan a la obstrucción de los afluentes y su sistema de desagües, implicando el deterioro y modificación de la morfología a través del tiempo, lo que aumenta la posibilidad de ocurrencia de catástrofes. En Colombia, la mayoría de sus habitantes no tienen conciencia de que el territorio es susceptible de grandes catástrofes debido a su geografía de altas cordilleras, grandes ríos y condiciones climáticas, puntos claves que indican que al alterar el medio ambiente se tendrán consecuencias que afecten la calidad de vida.

En este sentido se han presentado diferentes soluciones, como la del río Yangtzé, en China, donde se propuso la creación de embalses, los cuales manejaron de 3 a 4 billones de litros de agua.

Se implementó el sistema “Alerta de desastres y sistema de notificación a través de teléfonos móviles Android mediante Google Maps”, que aprovecha el avance de la tecnología y el uso de microcontroladores (ESP8266), el cual envía notificaciones en tiempo real, la aplicación envía una alerta sonora y visual, así como también señala la ruta de refugio más cercana.

Este proyecto realiza el diseño e implementación de un prototipo de sistema de información de alerta temprana ante inundación sobre la quebrada Pubús para la población del asentamiento La Fortaleza, integrando tecnologías de bajo costo y libres, que sean fácilmente usables para la población y que, además, automáticamente envíe las alertas pertinentes, con un valor agregado asociado a la recopilación de datos tomados por sensores situados en un punto estratégico de la quebrada.

## **CAPÍTULO 1: ELEMENTOS DEL PROCESO INVESTIGATIVO**

### **1 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL CONOCIMIENTO**

Actualmente el término Inundación [1] está definido como un desbordamiento de gran cantidad de agua más allá de sus límites normales, lo que es una amenaza para la vida de las personas y puede causar daños a las propiedades.

Desde la antigüedad las grandes inundaciones han marcado hitos importantes en la historia de muchos países, no solo por las víctimas y daños a los patrimonios culturales que estas catástrofes producen, sino también por la extraordinaria fuerza con la que la naturaleza azota las cuencas. Los desastres que son asociados a inundaciones son causados por eventos naturales bastantes fuertes como lluvias intensas, así como también pueden ser ocasionados por la acción del hombre (como la erosión).

Para ello se han realizado diferentes estudios a través del tiempo que han permitido proponer soluciones que minimicen los riesgos generados por las inundaciones. La configuración de un afluente [2] propone que los cauces pueden tener una morfología propensa a desbordamientos o inundaciones, estas mismas pueden ser naturales, como es el caso de un afluente estrecho (en algún punto de su recorrido), o modificado por el hombre (tala de bosques, erosión de la tierra, entre otros). Con el presente estudio se busca la identificación de puntos críticos con alto riesgo de inundaciones y a su vez buscar la prevención de desastres que afecten a la población, mediante la generación de una alerta temprana que permita tomar las medidas correspondientes para minimizar las consecuencias de la calamidad.

En el río Yangtzé se presenta un plan de tres pasos con el fin de evitar inundaciones en China como la ocurrida en 1954 en el embalse Three Gorges, debido a la inadecuada capacidad de control de inundación. Como parte del plan de control de la cuenca del río Yangtzé, se propuso la capacidad de control de inundaciones de 3 a 4 billones de m<sup>3</sup> para asignar a los embalses del río Dadu, ubicado aguas arriba de la cuenca del río Yangtzé.

La metodología utilizada implicó una evaluación de la capacidad de reserva de inundación planificada, la partición del espacio factible de reserva de inundación en varios tanques y la optimización para la asignación de capacidad de control de inundaciones en el río Yangtzé, además de los planes utilizados para evitar una repentina inundación, se buscaba aumentar la generación de energía en la hidroeléctrica de la misma [3].

Por medio de las ciencias matemáticas y físicas se busca calcular niveles críticos de agua ya sea mínimos o máximos, capacidad de reserva en temporadas secas y de inundaciones, dado que uno de los métodos más antiguos utilizados para el control de inundaciones son los diques o represas, pero cuando se

presentan precipitaciones extremas este puede llegar a un límite máximo. Es ahí donde entran en protagonismo las ciencias, llegando a calcular la capacidad máxima de una represa, teniendo en cuenta coeficientes de agua (litros por un estimado de tiempo en precipitaciones).

El Análisis de Frecuencia de Inundación o FFA [4] por sus siglas en inglés (Flood frequency analysis) es fundamental para proporcionar la probabilidad de riesgo ante una inundación y el comportamiento a través de la información histórica que se dispone. Si bien a menudo las megaciudades están ubicadas a lo largo de los tramos de cuencas fluviales en muchas áreas del mundo y se presume que la frecuencia de inundación extrema se ve afectado por la operación de una represa y el desbordamiento de áreas de río más altas. La FFA sin esta consideración, especialmente en grandes cuencas fluviales que incluyen varias llanuras potencialmente inundables, llevaría a una evaluación inadecuada del riesgo de inundación. Para enfrentar este problema, FFA necesitó incorporar modelos de inundación de las áreas más altas del río [4], tesis que apoya la idea dada para el río Yangtzé al hablar de las frecuencias de lluvia que se presentan.

Indonesia, por su parte, ha sido golpeada por diferentes inundaciones que han ocasionado grandes desastres, por ser un país tropical y con altas precipitaciones lluviosas, dando a lugar a que las inundaciones sean los desastres naturales más recurrentes del país. Para prevenir estas inundaciones se han venido realizando planes de contingencia convencionales como es la construcción de represas, pero estos planes tienen unas pequeñas fallas, puesto que necesita que un funcionario siempre esté presente y atento para que pueda enviar la información pertinente.

Con el crecimiento y avance tecnológico se ha optado por implementar tecnologías basadas en microcontroladores, como el ESP8266, que tiene características propias interesantes, entre las que se destacan el consumo mínimo de energía, herramientas inalámbricas que se pueden conectar con la internet y con ello la capacidad de enviar información a servidores web y aplicativos móviles, que lo convierten en una herramienta muy útil a la hora de dar una alerta temprana.

Varios proyectos similares han surgido con el fin de solventar este problema, una de las soluciones encontradas es "Alerta de desastres y sistema de notificación a través de teléfonos móviles Android mediante Google Maps", el cual es compuesto por un servidor llamado Disaster Management Server (DMS), que envía notificaciones en tiempo real, la aplicación envía una alerta sonora y visual, así como también señala la ruta de refugio más cercana. El experimento se desarrolla como un prototipo [5], donde se ubican un sensor ultrasonido para niveles del cauce y uno de flujo de agua, controlados por tecnología Arduino. El ultrasonido maneja los niveles de la vertiente calculados por una formulada: " $WS = HS - S$ ", donde " $WS$ " la lectura del agua (nivel actual), " $HS$ " es la altura o profundidad del cauce hasta el sensor, y " $S$ " la distancia entre el ultrasónico con el objeto detectado. El sensor de flujo de agua por su parte es fundamental debido que una oportuna

lectura es un paso esencial tanto desde el punto de vista cualitativo como económico. El sensor que se encuentra alineado con el agua, contiene un molinete que mide la cantidad de agua que pasa por él, y también un sensor de efecto Hall magnético integrado con una salida de impulso eléctrico en cada revolución. La velocidad del flujo de agua será directamente proporcional a la cantidad de pulsos contados y la señal de pulso se convierte en litros por minuto usando la fórmula; Frecuencia de pulso (Hz)/7,5 = flujo tasa L/min. Para la implementación se utiliza un aplicativo alojado en un dispositivo móvil (Smartphone, Tablet, etc.) y este a su vez conectado a la web por medio de un protocolo http, que pueda recolectar información para generar una gráfica en tiempo real y mediante un diagrama de flujo capaz de activar la alerta temprana en caso de que las variables tanto de velocidad como nivel del agua sobrepasen a un nivel crítico ya definido.

Un estudio similar se hizo en Japón, con el mismo fin propuesto a lo largo de este documento, *FLOOPEYE* [6], para ello es necesario saber términos utilizados como "**LHR**" [5] que es la *lluvia intensa localizada*, causada por el cambio climático global. "**LHR**" es un término meteorológico que se utiliza para indicar un evento repentino de lluvia intensa que ocurre en un área muy pequeña. A nivel mundial, se han realizado importantes esfuerzos para monitorear y predecir el aumento del nivel del cauce de los ríos. Dichos estudios registran una falla debido a que carecen de los medios confiables para medir en situaciones de inundación repentinas. Las razones más importantes para que el estudio no genere los resultados esperados son: la difícil instalación de sensores en áreas urbanas y la dificultad de predicción en situaciones complejas de flujo de agua (CWF [6]). Los sensores fluviales tradicionales han logrado detectar los signos de desastre de los ríos de gran escala, teniendo como punto a favor la vigilancia estable y como punto en contra la limitación de la instalación, es decir, equipo muy grande con altos costos de instalación de varios millones de dólares y complicada preconfiguración que a veces requiere de largo tiempo para instalarse en entornos urbanos ribereños prevalentes en todo Japón. Las mejoras en las limitaciones del equipo sugieren la posibilidad de un gran número de instalaciones de unidades y una detección fiable para mejorar los sensores de monitoreo con mayor resolución.

La investigación en Japón arrojó como resultado, que en el mercado existen sensores económicos, de fácil manejo, más adaptables, de configuración sencilla que aportan a la disminución de costos. Este sistema FloopEye tiene tres características: un diseño compacto de un sensor de agua, función de auto monitorización sin preconfigurado y una función de predicción altamente precisa usando regresiones lineales con asimilación de datos. El sistema consta de tres partes, una cámara de infrarrojos, una interfaz de comunicación y un servidor de procesamiento de imágenes. La interfaz de comunicación transmite imágenes capturadas al servidor utilizando una interfaz de comunicación 3G. El servidor de procesamiento de imágenes tiene una función valiosa, en la medida que brinda la potencia computacional para estimar el nivel del agua en varios entornos ribereños. Los ríos con diferentes tipos de riberas construidas con plantas, suelo o muros de concreto presentan dificultades para la detección sin preconfiguración (típicamente

solo un sensor de nivel de agua), un simple método de procesamiento de imágenes puede detectar el nivel del agua del río, pero no en la orilla. El procesamiento de imágenes propuesto en FloopEye, proporciona una monitorización de autoconfiguración mediante la detección de las características de la rivera.

Se establece un paralelo en donde las diferentes líneas de configuración para el funcionamiento de sensores comunes que necesita el dique o las riberas sean fijas, por lo tanto, necesitan ser preconfigurados para que puedan obtener la información en los cambios que ocurren en una alteración del nivel de agua. En estas funciones se realiza un reconocimiento de valores RGB, donde se verifica en qué nivel es más alto de acuerdo a estos parámetros, que se evalúan mediante una cámara infrarroja que contrasta imágenes en tiempo real en sus estados actual y posterior. Estos procesos utilizan características de espectro infrarrojos de agua absorbente y plantas reflectantes. En caso de que el área de la planta no se detecte en el proceso, el sensor considera la línea recta superior como la línea del río (común en situaciones de suelo o de concreto del río), y posterior a ello se realiza el cálculo mediante el sistema FloopEye.

Sin embargo, en Malasia, el único sistema de advertencia de inundación existente es el sistema de alarma que notifica a los residentes cercanos a la ubicación, para evacuar solo cuando ocurre una crecida; sin embargo, no se tiene en cuenta la predicción del nivel del agua, que es muy necesaria para prevenir este tipo de desastres.

Una de las técnicas efectivas que se usa con frecuencia para resolver casos no lineales, como las inundaciones es la Red Neuronal Artificial (ANN). En un proyecto se propuso 3 horas de predicción de nivel de agua de inundación utilizando el modelo autorregresivo de red neuronal con técnica de entrada exógena (NNARX), donde el área involucrada en este estudio fue a lo largo de la cuenca del río Pahang. La ubicación de la inundación se encuentra en Mentakab, lugar donde se introdujeron cuatro parámetros de entrada en el modelo NNARX para predecir inundaciones 3 horas antes de tiempo. El modelo de predicción de inundaciones NNARX desarrollado utilizó Matlab Neural Network Toolbox y se obtuvo como resultado un rendimiento satisfactorio con bajo porcentaje de error.

En la actualidad [7] las redes sociales son categorizadas como herramientas útiles para difundir advertencias de emergencia sobre el peligro para la población, ya que la mayoría de los ciudadanos tienen teléfonos móviles con Internet y en ellos instaladas aplicaciones de redes sociales, que les permiten tener acceso a la información en tiempo real.

El diseño de un sensor de nivel fluvial para monitorear en tiempo real el nivel del agua, además de obtener y almacenar datos históricos para pronosticar los posibles desbordamientos de los ríos, permite que los ciudadanos hoy en día tengan un sistema de alerta temprana para ser informados rápidamente, lo que les da la posibilidad de tomar una decisión acertada antes de que ocurra un desastre.

La integración de la información y la participación de dispositivos habilitados por IoT (Internet of Things) genera beneficios en términos de brindar a las personas información oportuna para la toma de decisiones frente a los desastres. Por tal motivo fue desarrollado un sistema para medir el nivel del agua en los ríos a través de la medición del nivel con un sensor ultrasónico, que al detectar objetos (como un líquido), emite un corto estallido ultrasónico y luego, al escuchar el eco, calcula la distancia entre el sensor y el cuerpo de agua para determinar la altura. Todos los datos e información recopilados del sensor se transmiten a un servidor y, por último, el estudio de los datos genera una alerta que es comunicada por medio de las redes sociales para los usuarios, con la cual ellos podrán tomar decisiones tempranas para prevenir pérdidas y afectaciones humanas, entre otras.

En Florencia, Italia [8], se han desarrollado estudios con datos geográficos detallados en entornos fluviales, en donde proponen un procedimiento analítico en un entorno GIS para una evaluación fácil, rápida y rentable a las inundaciones en áreas urbanas y suburbanas. Este método, fue basado en la recopilación de datos de varias oficinas públicas y ha sido probado en un estudio de caso real en el centro de Italia, desde el cual las instrucciones operativas podrían extrapolarse para otras áreas similares en el mundo.

En estudio realizado en Corea se investigó una metodología mejorada para la evaluación de la probabilidad de desbordamiento de las corrientes urbanas, a través de la aplicación de simulaciones de Monte Carlo (MCS) [9] y escenarios de cambio climático que mejoraron en el cálculo de la probabilidad de inundación. Una estimación de la probabilidad de lluvias futuras en la cuenca Uicheon de Corea, utilizando la desintegración del caos con los datos del escenario del modelo climático regional (RCM), indicó un aumento proyectado de entre 4.4% y 9.6%. Sin embargo, las predicciones basadas en MCS indicaron que las precipitaciones extremas podrían aumentar en un 94,9%. Por lo tanto, un análisis de desbordamiento que refleje los eventos hidrológicos extremos y las inundaciones más frecuentes debido al cambio climático, podría proporcionar un medio más confiable para pronosticar eventos extremos, así como ayudar a prevenir desastres naturales asociados con inundaciones extremas inesperadas.

Finalmente, las preocupaciones sobre los impactos de la urbanización en las inundaciones se están trasladando gradualmente a soluciones al final de la tubería, basándose en la mejora hidrológica de canales abiertos y luego al control del uso de la tierra y a la planificación integrada a niveles local y de gran escala.

El objetivo de un estudio realizado en China fue revelar el impacto de la relación de impermeabilidad, los patrones y el sistema de drenaje en las áreas de inundación basadas en la unidad de captación y el modelo de gestión del agua pluvial (SWMM) [10]. Se obtuvieron las siguientes conclusiones. 1) La relación o las características espaciales de la superficie impermeable afectaron los volúmenes de escorrentía y las áreas de inundaciones asociadas, a pesar del sistema de drenaje

bien establecido y la alta relación de impermeabilidad. 2) Hay pobre eficiencia hidráulica del drenaje en las áreas locales y hacen falta procesos integrales de infiltración, rendimiento, almacenamiento y descarga en la cuenca local. 3) El desarrollo de la cuenca del río Niushou debería mejorar las transformaciones de drenaje a partir de un único proceso local de drenaje a corto plazo en procesos integrales y elásticos de infiltración, rendimiento, almacenamiento y descarga.

Las inundaciones causadas por el desbordamiento de ríos y arroyos pueden causar grandes trastornos en las áreas urbanas que probablemente tengan efectos significativos en las actividades humanas y el medio ambiente. Gracias a varios desarrollos y proyectos hay material disponible para responder a las inundaciones; sin embargo, se requieren más estudios con el fin de hacer frente a las incertidumbres de un clima cambiante.

En este sentido, el desarrollo de este proyecto para la comuna 7 de Popayán, se enfocó en el estudio de diferentes variables físicas sobre la quebrada Pubús, evidenciando que el caudal y el nivel de la quebrada son variables de monitoreo relevantes para la investigación; es así, como se pudo determinar de manera eficaz y se logró desarrollar un sistema de información para generar una alarma preventiva en tiempo real que apoya procesos de salvaguarda de las vidas de las personas de la comunidad y de sus enseres, todo esto con metodologías ágiles y adecuadas para el desarrollo de FloodAlert.

## **2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Se dice que el planeta Tierra está conformado por 70% de agua, en su mayoría agua salada de mares y el restante en el ambiente y ríos, haciendo así que el problema de inundaciones se dé en prácticamente cualquier lugar del mundo. A lo largo de la historia han ocurrido importantes inundaciones que han marcado un hito importante [11], es el caso de la gran inundación del río Mississippi en 1927, la cual movilizó 65.000 m<sup>3</sup> de agua por segundo inundando más de 70.000 km<sup>2</sup> con una profundidad de 10 metros causando millonarias pérdidas materiales y la muerte de 246 personas [12].

En Colombia el IDEAM a notificado la ocurrencia de lluvias sobre el territorio nacional durante el 2017 y gran parte del 2018 [13] que han generado inundaciones, emergencias naturales y deslizamientos, dejando a muchos municipios incomunicados en los departamentos de Putumayo, Chocó, Cauca, Nariño y Valle del Cauca, entre otros. Este es un gran problema para todo el territorio colombiano ya que cuenta con una cantidad bastante grande de ríos con cauces enormes que generan inundaciones a nivel nacional, como los ríos Magdalena y Cauca, que, aunque albergan y ofrecen gran porcentaje de sostenibilidad económica y social de todos los municipios por los

cuales pasa su cauce, de igual manera siempre están en amenaza constante de inundaciones para la mayoría de las poblaciones que están en la zona de influencia.

Debemos también recordar que el bienestar y la tranquilidad del territorio colombiano tiene que ver mucho con la relación que se plantea entre las comunidades y los ecosistemas con los cuales conviven. La relación muchas veces se cree que es solo realizar buenas acciones en cuanto al cuidado y la protección de la naturaleza, pero dejan a un lado el conocer sobre sus dinámicas y fenómenos que han ocurrido con los ríos o que podrían llegar a suceder. Sin embargo, cuando se decide hacer una observación sobre una región, no solo se debe enfocar en las necesidades de las comunidades, sino mirar también las reacciones de los ríos para generar los pros y los contras que pueden ocurrirle al ecosistema si se realiza alguna intervención para mantener conexión constante con los ríos y prevenir los desastres.

En la ciudad de Popayán específicamente en la comuna 7, se encuentra un cauce llamado Quebrada Pubús, alimentado por el río Ejido y el río Molino. Este atraviesa parte de la meseta de Popayán, haciendo un recorrido de 19.1 km hasta su desembocadura, el cual ha sido protagonista de diferentes inundaciones como la producida en el año 2014 que sobrepasó los 3 m de altura, y que afectó a cinco (5) barrios de Popayán, donde por fortuna no se produjeron pérdidas humanas, solo pérdidas materiales [14].

## **2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo construir una solución tecnológica para la detección temprana de inundaciones en el asentamiento La Fortaleza de la ciudad de Popayán?

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un prototipo de alerta temprana para inundaciones de la quebrada Pubús, en el asentamiento La Fortaleza, de la Ciudad Popayán.

### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los requerimientos para el desarrollo del prototipo.
- Desarrollar un prototipo con base a las variables y requerimientos identificados.
- Evaluar el prototipo en conjunto con la comunidad que está ubicada alrededor de la quebrada Pubús en el asentamiento La Fortaleza y comprobar su efectivo funcionamiento.

#### 4 JUSTIFICACIÓN

El “PROTOTIPO DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIÓN SOBRE LA QUEBRADA PUBÚS”, es un proyecto que surge del trabajo mancomunado entre el director de tesis, el ingeniero Alexander Astudillo y los estudiantes Carlos Arturo León Casanova y Oscar Eduardo Molano Alcué, en el grupo de investigación para crear un prototipo de solución que motive el desarrollo de futuros proyectos de implementación de este tipo de sistemas en lugares estratégicos de Popayán, y en particular en la comuna 7 de la ciudad.

El prototipo desarrollado busca la prevención de pérdidas humanas y la reducción de los daños materiales que se pueden presentar cuando la quebrada Pubús presente desbordamientos.

El prototipo (“FloodAlert”), comprende desarrollos de tecnologías libres de bajo costo, con la integración de nuevas técnicas con sensores que son la principal fuente de adquisición de información a la hora de generar una alerta temprana.

Se decide desarrollar el proyecto en los barrios y asentamientos aledaños a la quebrada Pubús en la comuna 7 (específicamente el “Asentamiento la Fortaleza y Nueva Esperanza”), porque estos lugares cuentan con un grado de marginalidad, en la que muchas familias con diferentes problemas psicosociales, en especial pobreza y desplazamiento, han ido poblando la rivera de la quebrada Pubús sin tener en cuenta las normas de prevención contra riesgos definidas por el Municipio de Popayán y demás autoridades regionales y nacionales.

Estos asentamientos carecen de estudios de terreno o tipificación, de estructuras firmes, además de estar construidos en sectores de alto riesgo de inundación, problema al que se busca dar una solución innovadora. Se desarrolló un prototipo de alerta temprana involucrando un conjunto de tecnologías actuales como IoT, GSM y minería de datos, para realizar procesamientos de datos con una mayor efectividad y lograr generar proyecciones que aporten a la prevención de desastres.

## 5 MARCOS DE REFERENCIA

### 5.1 MARCO TEÓRICO

**Sensor:** Un sensor es catalogado como un sistema eléctrico con el cual se puede recolectar una gran cantidad de datos. Sirve para registrar variables físicas y transformarlas en una señal eléctrica que se procesa en un sistema que entrega información, cada sensor tiene sus características correspondientes, las cuales hacen que los datos obtenidos varíen de acuerdo con su configuración. Fue necesario el uso de diferentes tipos de sensores en este proyecto, dada la necesidad de obtener información de la quebrada Pubús para generar la alerta temprana de inundaciones para la comunidad del asentamiento la fortaleza en la comuna 7 de Popayán.

**Arduino:** Es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines hembra, los que permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla. A través de los sensores se leen datos suministrados por diferentes fuentes y se convierten en una salida de información con características personalizables. Para ello se utiliza el lenguaje de programación Arduino y su entorno de desarrollo integrado (IDE).

**Modulo ESP32:** Modulo muy potente que integra Bluetooth y Wi-Fi, ideal para desarrollar bajo IoT, dado que permite el desarrollo de diferentes aplicaciones, utilizando diversos componentes compatibles con el mismo.

**Sensor Caudalímetro:** Un sensor de flujo o caudalímetro es un instrumento para la medición de caudal o gasto volumétrico de un fluido. El caudal de agua ingresa al sensor y hace girar unas aspas que están unidas a un imán que activa un sensor de efecto Hall, que a su vez emite un pulso eléctrico que puede ser leído por la entrada digital de un Arduino, que son los datos que indican el fluido que pasa en tiempo real por el sensor como el YF-S201.

**Sensor de ultrasonido:** El sensor HC-SR04, genera unas ondas ultrasónicas que al colisionar con un objeto rebotan, así al registrar las ondas de dicho rebote calcula distancias, que es el principal objetivo de FloodAlert porque suministra información cuando se generan cambios del nivel del agua en el afluente.

**Software:** Software hace referencia a los programas lógicos desarrollados para sistemas digitales con el fin de controlar o darle una funcionalidad a elementos electrónicos tangibles, necesarios para el desarrollo y procesamiento de la información de las diversas variables obtenidas de la quebrada Pubús, para generar alertas tempranas gracias a los medios electrónicos (sensores) instalados.

**Hardware:** El hardware es la parte física de los sistemas electrónicos. Las características del hardware utilizado en el proyecto es un módulo ESP32, sensor de ultrasonido y caudalímetro.

## 5.2 MARCO CONTEXTUAL

El proyecto se realizó en la quebrada Pubús del asentamiento La Fortaleza que está ubicado en la comuna siete (7) de la ciudad de Popayán, en la cual habita una población de cerca de 100 familias de estratos bajos (1), quienes al pasar del tiempo han sufrido grandes consecuencias con las inundaciones que se generan en la quebrada Pubús por el mal manejo de las basuras y la falta de información oportuna que permita desalojar a tiempo para prevenir estos desastres naturales. En consecuencia, se desarrolló un prototipo para la generación de alertas tempranas de inundaciones, y así evitar pérdidas humanas y materiales.

## 5.3 METODOLOGÍA

La metodología utilizada para el desarrollo de FLOODALERT es HUMAN CENTERED DESIGN (HCD), metodología cuyo enfoque es la empatía con el usuario, en este caso con la comunidad del asentamiento La Fortaleza.

### 5.3.1 FASE DE INSPIRACIÓN

Se realizaron visitas a los asentamientos ribereños a la quebrada Pubús (“La Fortaleza y Nueva Esperanza”), donde se entablaron conversaciones con la comunidad acerca de las inundaciones que se han presentado y de todos los problemas que han tenido a causa de estos eventos. En principio la comunidad estuvo un tanto escéptica al proyecto, debido a que son comunidades que constantemente reciben visitas de políticos, que prometen proyectos y beneficios a cambio de sus votos, sin cumplir dichas promesas, por lo cual son escépticos a cualquier tipo de acercamiento con los pobladores. Lo que incentivó a buscar metodologías que fueran bastante inclusivas respecto a la misma, para así realizar una aproximación social con el fin de generar empatía y establecer una conexión más amigable. Estas fases se describen así:

1. Se empezó el trabajo de campo recorriendo el asentamiento para obtener una evaluación óptica de los puntos críticos donde se han presentado las inundaciones, especialmente cuando se presenta una temporada invernal fuerte.
2. Después de ubicar los lugares correspondientes, se realizaron visitas a los hogares más afectados por dichas inundaciones, donde se entablaron conversaciones con los habitantes, con el fin de entender más desde su experiencia con estos sucesos, que pérdidas han teniendo por causa de estos eventos y además escuchar las posibles soluciones planteadas por los pobladores desde su experiencia.
3. Luego de escuchar y tener aproximaciones directas con la comunidad, se documentó mediante registros audiovisuales, una a una las visitas, identificando los requerimientos principales que se tuvieron en cuenta

para un proyecto de este tipo: factores de riesgo, costos, usabilidad, aceptación, entre otras.

4. Posteriormente se realizó una investigación de proyectos con las mismas necesidades o similares que la comunidad visitada. Dicha exploración arrojó buenas ideas, para ello, se adquirieron componentes hardware que fuesen factibles en la utilización, tanto por su facilidad de obtención, costo, usabilidad, manipulación, etc.

### 5.3.2 FASE IDEACIÓN

#### 5.3.2.1 REQUERIMIENTOS GENERALES:

- Crear módulos para los diferentes tipos de roles (súper administrador, administradores y comunidad (personas del asentamiento la fortaleza))
- Gestión de administradores
- Gestión de comunidad
- Gestión de alertas
- Reportes de alarmas.
- Análisis de datos.

#### 5.3.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS ROLES:

Tipo de usuario	Súper administrador
Actividades	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Puede crear y visualizar los directorios de administradores y de la comunidad.</li> <li>● Realizar la gestión de las alertas,</li> <li>● Visualizar el análisis de datos que se obtiene de la placa ESP32 en tiempo real con explicación personalizada.</li> </ul>
Tipo de usuario	Administradores
Actividades	<p>Los administradores, se les asignó un usuario para ver las gráficas generadas a partir del análisis de datos, con una pequeña explicación de cada una.</p> <p>Puede realizar la gestión de las alertas y tener acceso al directorio de usuarios de la comunidad.</p>
Tipo de usuario	Comunidad (Personas del asentamiento la fortaleza)
Actividades	Las personas del asentamiento La Fortaleza tienen un usuario para ver las gráficas generadas a partir del análisis de datos, con una

	pequeña explicación de cada una y un sistema de alerta que se activa cuando sea necesario realizar una evacuación o simplemente tener precaución.
--	---

Tabla 1 Características De Los Roles

### 5.3.2.3 REQUERIMIENTOS ESPECIFICOS

Identificación de requerimiento	RF00
Nombre del requerimiento	Creación de login para el súper administrador
Características – descripción	Se realizó el proceso mediante el cual el súper administrador ingresa a la plataforma web, donde realiza sus procesos administrativos
Rol	Súper administrador
Requerimiento no funcional	N/A

Tabla 2 Requerimientos Específicos RF00

Identificación de requerimiento	RF01
Nombre del requerimiento	Gestión administradores
Características – descripción	Se realizó un CRUD para administradores, cuando se crea un administrador, debe tener los campos para crear un usuario y una contraseña para el inicio de sesión en la plataforma web. La información solicitada de los administradores es: nombre completo, cédula, celular.
Rol	Súper Administrador
Requerimiento no funcional	N/A

Tabla 3 Requerimientos Específicos RF01

Identificación de requerimiento	RF02
Nombre del requerimiento	Gestión usuarios de la comunidad
Características – descripción	Se realizó un CRUD para usuarios de la comunidad, cuando se crea una persona de la comunidad, debe tener los campos para crear un usuario y una contraseña para el inicio de sesión en la plataforma web. la información solicitada de los clientes es: nombre completo, cédula, celular)
Rol	Súper Administrador
Requerimiento no funcional	N/A

Tabla 4 Requerimientos Específicos RF02

Identificación de requerimiento	RF03
Nombre del requerimiento	Gestión de alertas
Características – descripción	Se creó una vista en la cual el súper administrador pueda crear diferentes tipos de alertas y mensajes que desea que aparezcan a los usuarios en caso de suceder una alerta real.
Rol	Súper Administrador
Requerimiento no funcional	N/A

Tabla 5 Requerimientos Específicos RF03

Identificación de requerimiento	RF04
Nombre del requerimiento	Gestión de análisis de datos
Características – descripción	Se creó una vista en la cual el súper administrador puede gestionar y visualizar todos los análisis de datos que está generando la plataforma junto con el hardware para así mismo elegir cuales serán visibles para los administradores y la comunidad
Requerimiento funcional	N/A
Rol	Super Administrador
Requerimiento no funcional	N/A

Tabla 6 Requerimientos Específicos RF04

Identificación de requerimiento	RF05
Nombre del requerimiento	Login
Características – descripción	Se realizó el inicio de sesión para el rol administrador, en base al usuario y contraseña que ha sido creada antes por el súper administrador
Requerimiento funcional	N/A
Rol	Administrador
Requerimiento no funcional	N/A

Tabla 7 Requerimientos Específicos RF05

Identificación de requerimiento	RF06
---------------------------------	------

Nombre del requerimiento	Gestión usuarios de la comunidad
Características – descripción	Realizar CRUD para usuarios de la comunidad, cuando se crea una persona de la comunidad, debe tener los campos para crear un usuario y una contraseña para el inicio de sesión en la plataforma web. la información solicitada de los clientes es: nombre completo, cédula, celular)
Requerimiento funcional	N/A
Rol	Administrador
Requerimiento no funcional	N/A

Tabla 8 Requerimientos Específicos RF06

Identificación de requerimiento	RF07
Nombre del requerimiento	Gestión de alertas
Características – descripción	Crear una vista en la cual el administrador pueda crear diferentes tipos de alertas y mensajes que desea que les aparezcan a los usuarios en caso de que suceda una alerta real.
Requerimiento funcional	N/A
Rol	Administrador
Requerimiento no funcional	N/A

Tabla 9 Requerimientos Específicos RF07

Identificación de requerimiento	RF08
Nombre del requerimiento	Visualización de análisis de datos
Características – descripción	Crear una vista en la cual el administrador pueda visualizar todos los análisis de datos que está generando la plataforma junto con el hardware.
Requerimiento funcional	N/A
Rol	Administrador
Requerimiento no funcional	N/A

Tabla 10 Requerimientos Específicos RF08

Identificación de requerimiento	RF09
Nombre del requerimiento	Login

Características – descripción	Realizar el inicio de sesión para los usuarios de la comunidad en la plataforma web, en base al usuario y contraseña que ha sido creada antes por el súper administrador o el administrador
Requerimiento funcional	N/A
Rol	Comunidad
Requerimiento no funcional	N/A

Tabla 11 Requerimientos Específicos RF09

Identificación de requerimiento	RF10
Nombre del requerimiento	Visualización de análisis de datos
Características – descripción	Crear una vista en la cual las personas de la comunidad que tenga su usuario puedan visualizar todos los análisis de datos que está generando la plataforma junto con el hardware.
Requerimiento funcional	N/A
Rol	Comunidad
Requerimiento no funcional	N/A

Tabla 12 Requerimientos Específicos RF10

Identificación de requerimiento	RF11
Nombre del requerimiento	Alertas
Características – descripción	En el perfil de la comunidad del asentamiento la Fortaleza deben tener un sistema de notificaciones PUSH para alertar cuando sea necesario una precaución o evacuación.
Requerimiento funcional	N/A
Rol	Cliente
Requerimiento no funcional	N/A

Tabla 13 Requerimientos Específicos RF11

#### 5.3.2.4 ARQUITECTURA

Para el desarrollo y montaje del hardware se utilizó el modelo Cliente - Servidor de diseño de software que se basa en que las tareas se reparten entre los proveedores de recursos, llamando en este caso servidor al Firebase de Google y cliente a la placa ESP32.

Posteriormente se realizó la aplicación del modelo MVC (modelo vista controlador) para el desarrollo de la plataforma web. Se eligió el modelo MVC porque es el patrón de arquitectura de software que ayuda a diferenciar los datos y la lógica de negocio de una aplicación como lo es el desarrollo del prototipo FloodAlert. Este patrón de arquitectura de software se adapta muy bien al desarrollo del prototipo, porque se basa en las ideas de reutilización de código, característica que busca facilitar la tarea de desarrollo y mantenimiento, así como por el tipo de roles manejados y la funcionalidad planteada para el desarrollo del prototipo FloodAlert contra inundaciones para el asentamiento La Fortaleza.

### 5.3.3 FASE DE IMPLEMENTACIÓN

En el desarrollo del prototipo FloodAlert para alertas de posibles inundaciones en el asentamiento la Fortaleza, se utilizó una adaptación de la metodología ágil de desarrollo "SCRUM", porque es la metodología que brindó mayor eficiencia con un proceso de calidad. Además, permitió realizar una mejora integral, basados en las necesidades y problemas reales de los Stakeholders, en dicho caso la comunidad del asentamiento la fortaleza. El uso de SCRUM motivó la realización de validaciones en todo el desarrollo del prototipo en conjunto con la comunidad.

Las actividades o procesos que se adaptaron de la metodología Scrum, fueron los siguientes:

1. **Planificación del producto BackLog:** En esta fase se reunieron todos los requerimientos e historias de usuario recolectados a partir de las reuniones y visitas al asentamiento La Fortaleza apoyados en la metodología HCD, para establecer con claridad los requerimientos, optimizar el desarrollo y realizar una priorización correcta para el desarrollo del prototipo.

2. **Planificación de Sprint periódicos:** Después de tener organizado el producto BackLog, se organizaron los Sprint con una duración de dos semanas cada uno, dividiendo todos los requerimientos ya priorizados en la fase anterior en proyectos pequeños, para así concluir de manera más rápida y cumplir con las entregas cada dos semanas.

3. **Revisiones semanales:** Las revisiones semanales fueron muy importantes, ya que en ellas se realizó la verificación de las tareas que estaban planteadas en cada sprint, en esta actividad se podía decidir si se estaba realizando un buen desarrollo, si se estaba demorando o que problemas estaban ocurriendo que detuvieran el desarrollo para poder solucionarlo lo antes posible; en muchos casos el no poder verificar con la comunidad, generó retrasos en el proyecto.

4. **Retroalimentación con las personas del asentamiento la fortaleza:** después de terminado el prototipo de FloodAlert se realizaron dos retroalimentaciones con la junta de acción comunal y la comunidad en la cual expresaron muchas más

necesidades que tiene la comunidad, además de las inundaciones, para que en un futuro se tengan en cuenta, de tal forma que cuando se despliegue el proyecto sea más completo y brinde una solución real en el asentamiento La Fortaleza.

Gracias a los requerimientos recolectados usando la metodología HCD, se estructuró el cronograma de 6 Sprint con duración de dos semanas cada uno, estableciendo con prioridad para el desarrollo los módulos más relevantes, para suscitar el valor al finalizar cada Sprint con el fin de realizar las validaciones semanales correspondientes con los StakeHolders y poder cumplir a cabalidad con la adaptación de la metodología. Cada Sprint cuenta con actividades específicas y horas de desarrollo que se dividen en el diseño de las interfaces así: Lógica de programación y pruebas correspondientes a cada funcionalidad.

En la tabla 14 se expone la planeación y posterior implementación de la metodología Scrum

PROTOTIPO DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIÓN SOBRE LA QUEBRADA PUBÚS															
Actividad	Actividades tecnológicas			Cronograma											
	Diseño de Interfaz	Lógica de control	pruebas	S1 Sprint 1	S2 Sprint 1	S3 Sprint 2	S4 Sprint 2	S5 Sprint 3	S6 Sprint 3	S7 Sprint 4	S8 Sprint 4	S9 Sprint 5	S10 Sprint 5	S11 Sprint 6	S12 Sprint 6
<b>Plataforma web súper administrador</b>															
Crear login para el súper administrador	2	2	1												
Gestión administradores	8	8	2												
Gestión usuarios de la comunidad	8	8	2												
Gestión de alertas	8	8	2												
Gestión de análisis de datos	8	16	3												
<b>Plataforma web administrador</b>															
Crear login para el administrador	2	2	1												
Gestión usuarios de la comunidad	4	4	1												
Gestión de alertas	4	4	1												
Visualización de análisis de datos	8	8	3												
<b>Plataforma web Usuarios de la Comuna</b>															
Crear login para los usuarios de la comunidad	2	2	1												
Visualización de análisis de datos	4	4	1												
Alertas	4	4	2												
Validaciones comunidad															

Código de campo cambiado

Tabla 14 Cronograma Metodología SCRUM

## 6 RESULTADOS

### 6.1 HARDWARE:

El proceso de ensamble de todos los componentes hardware comenzó por un baño en cloruro férrico con la placa virgen de cobre, en la cual se imprimió, gracias a un papel Kimberly, el diseño de circuitos hecho en el software Proteus, en el cual se crearon cada uno de los puentes conectores desde el módulo ESP32 hasta los sensores, caudalímetro (YF-S201) y el ultrasonido (HC-SR04) respectivamente. El paso siguiente al ensamble, fue buscar una caja protectora y resistente al agua para el dispositivo, con la placa y los sensores ya conectados se recibieron los datos en tiempo real, los cuales generan un DataSet de gran cantidad de datos que son enviados al servidor Firebase, en el cual se alimenta una base de datos que después por medio de servicios es consumida por la plataforma web.

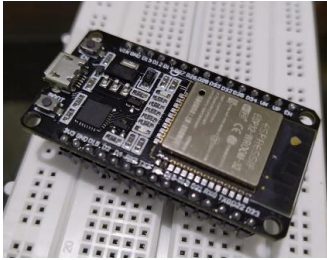


Imagen 1 Módulo ESP32



Imagen 2 Módulo ESP32 #2



Imagen 3 Caudalímetro



Imagen 4 Ultrasonido

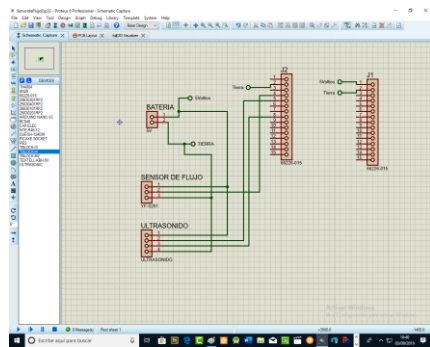


Imagen 5 Esquemático del circuito

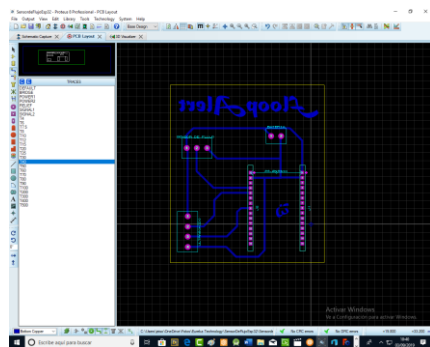


Imagen 6 Diseño PCB

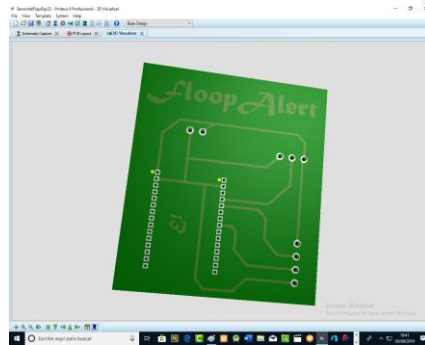


Imagen 7 Visualización 3D, vista inferior

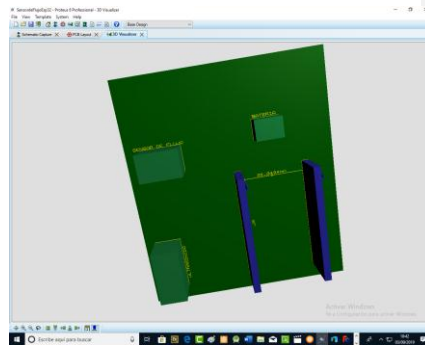


Imagen 8 Visualización 3D, Vista superior

### Código para medir a través del Arduino ESP32 y el sensor FY-S201(Caudalímetro)

```
byte statusLed = 13;
```

```
byte sensorInterrupt = 0; // 0 = digital pin 2
byte sensorPin = 2;
```

```
float calibrationFactor = 4.5;
```

```
volatile byte pulseCount;
```

```

float flowRate;
unsigned int flowMilliLitres;
unsigned long totalMilliLitres;

unsigned long oldTime;

void setup()
{
  Serial.begin(38400);

  pinMode(statusLed, OUTPUT);
  digitalWrite(statusLed, HIGH);

  pinMode(sensorPin, INPUT);
  digitalWrite(sensorPin, HIGH);

  pulseCount = 0;
  flowRate = 0.0;
  flowMilliLitres = 0;
  totalMilliLitres = 0;
  oldTime = 0;

  attachInterrupt(sensorInterrupt, pulseCounter, FALLING);
}
void loop()
{
  if((millis() - oldTime) > 1000)
  {
    detachInterrupt(sensorInterrupt);

    flowRate = ((1000.0 / (millis() - oldTime)) * pulseCount) / calibrationFactor;

    oldTime = millis();

    flowMilliLitres = (flowRate / 60) * 1000;

    totalMilliLitres += flowMilliLitres;

    unsigned int frac;

    Serial.print(" Current Liquid Flowing: "); // Output separator

```

```
Serial.print(flowMilliLitres);  
Serial.print("mL/Sec");
```

```
pulseCount = 0;
```

```
attachInterrupt(sensorInterrupt, pulseCounter, FALLING);  
}  
}
```

```
void pulseCounter()  
{
```

```
  pulseCount++;  
}
```

A continuación, se muestra un DataSet de la información obtenida en el espacio controlado organizado para obtener variables del caudalímetro YF-S201 a través del Arduino ESP32:

<b>Corriente de líquido que fluye - ml/sec</b>
74
37
33,6
33,6
77,4
43,7
42
79
33,6
46

*Tabla 15. DataSet Caudalímetro*

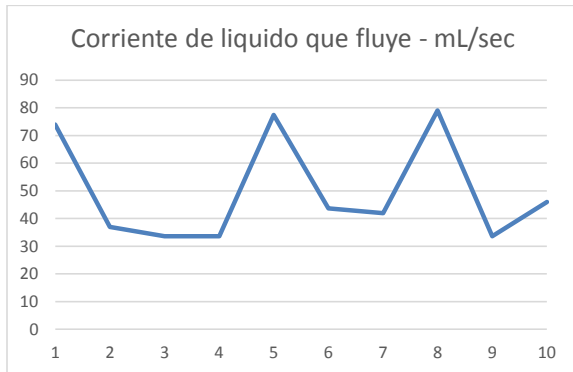


Imagen 9 Corriente de líquido que fluye - mL/sec

### Código para medir a través del Arduino ESP32 y el sensor HC-SR04 (Ultrasonido)

```

const int trigPin = 2;
const int echoPin = 5;

long duration;
int distance;

void setup() {
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);

  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);

  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);

  distance= duration*0.034/2;

  Serial.print("Distance: ");
  Serial.println(distance);
}

```

A continuación, se muestra un DataSet de la información obtenida en el espacio controlado organizado para obtener variables del ultrasonido HC-SR04 a través del Arduino ESP32:

Distancia del piso al sensor ultrasonido	Distancia - duration*0.034 /2
100	45
100	43
100	47
100	46
100	41
100	44
100	43
100	45
100	47
100	42

Tabla 16 DataSet Ultrasonido

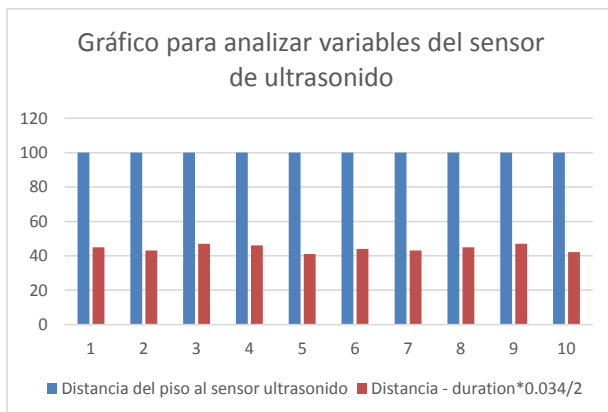


Tabla 17 Gráfico para analizar variables del sensor de ultrasonido

## 6.2 SOFTWARE

La plataforma fue desarrollada en el framework Laravel, utilizando los lenguajes de programación PHP, JavaScript y Vue.js. Fue diseñada a partir del modelo MVC (Modelo-Vista-Controlador) y estructurada de manera modular para permitir la

escalabilidad del proyecto en caso de querer realizar módulos adicionales. En la plataforma web se crearon usuarios para los roles super administrador, administrador y usuarios de la comunidad.

La plataforma web se alimenta de la base de datos de Firebase, información que ha sido suministrada por la placa ESP32 y los sensores, de tal manera que permite realizar el análisis de los datos y la generación de las gráficas, con el fin de mostrar a la comunidad y los administradores el procesamiento de los datos y las posibles causas de acuerdo a su análisis.

El super administrador pueden crear y visualizar los directorios de administradores y de los usuarios de la comunidad, realizar la gestión de las alertas, además de visualizar el análisis de datos que se obtienen de la placa ESP32 en tiempo real con explicación personalizada.

El usuario administrador, pueden ver las gráficas generadas a partir del análisis de datos, con una pequeña explicación de cada una y pueden realizar la gestión de las alertas, además tienen acceso al directorio de usuarios de la comunidad y en este caso, a los usuarios de las personas del asentamiento La Fortaleza.

Las personas de la comunidad tienen un usuario para ver las gráficas generadas a partir del análisis de datos, con una pequeña explicación de cada una y un sistema de alerta que se activará cuando sea necesario realizar una evacuación o simplemente tener precaución.

Cabe aclarar que el desarrollo del prototipo, validación y obtención de resultados fue realizado en un ambiente controlado para pruebas, con el fin de validar de manera correcta el prototipo. De igual manera el prototipo fue presentado a la comunidad para tener la aprobación y la retroalimentación de ellos, para así estipular trabajos futuros en el proyecto.

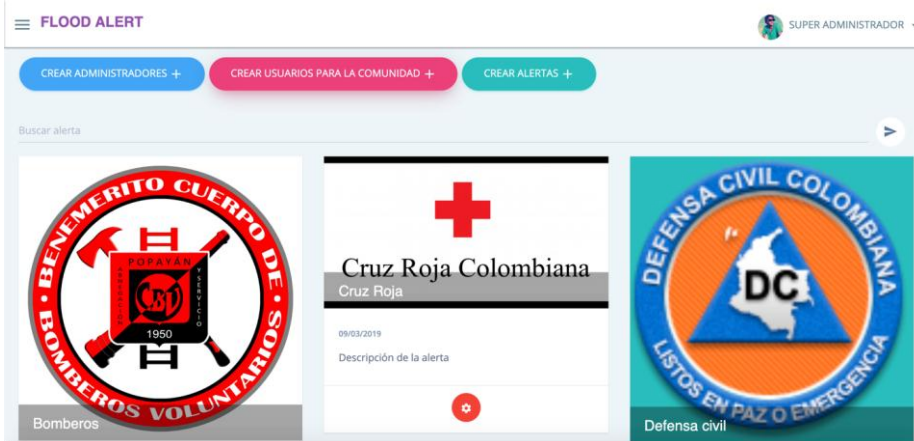


Imagen 10 Vista del super administrador en la plataforma web

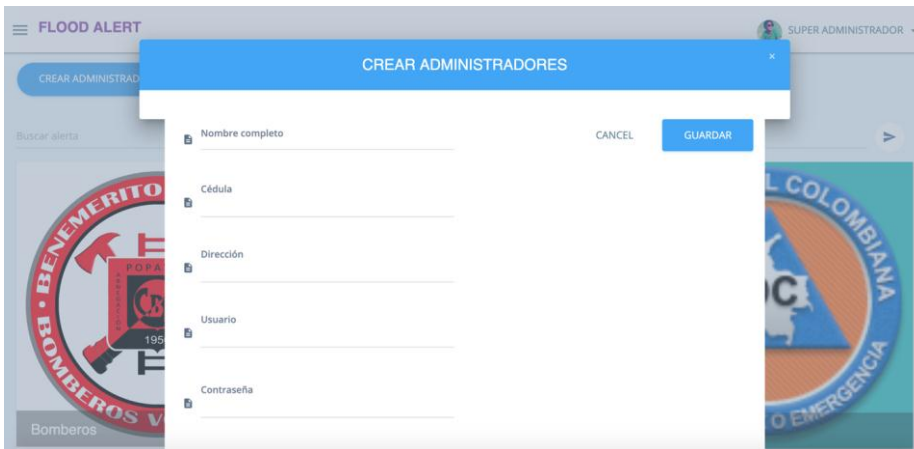


Imagen 11 Vista para crear un administrador

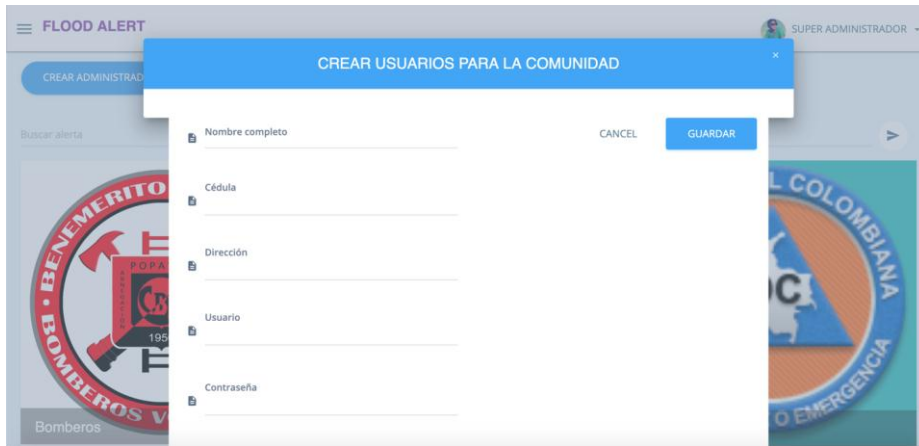


Imagen 12 Vista para crear un usuario para la comunidad del asentamiento

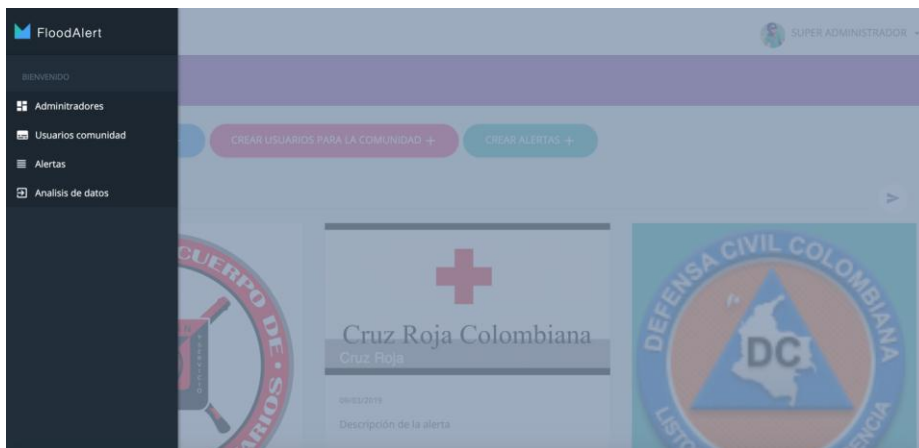


Imagen 13 Menú disponible para el super administrador.

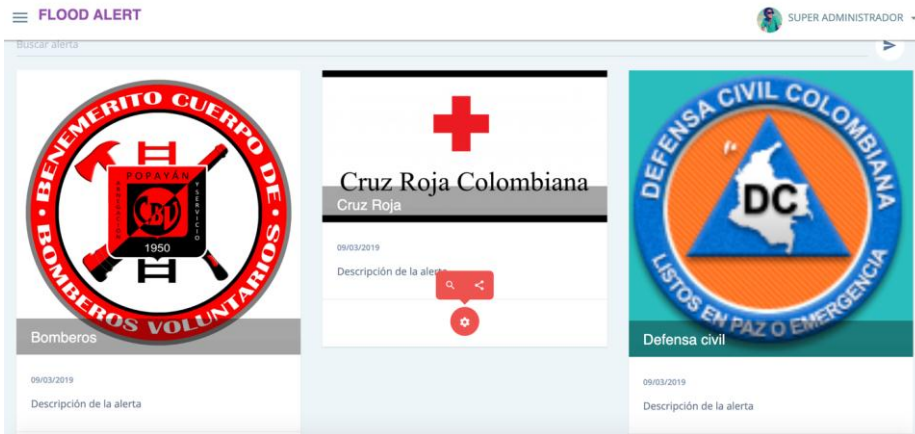


Imagen 14 Diferentes tipos de alertas creadas por el administrador o super administrador.



Imagen 15 Modelo de gráfica para análisis de datos.

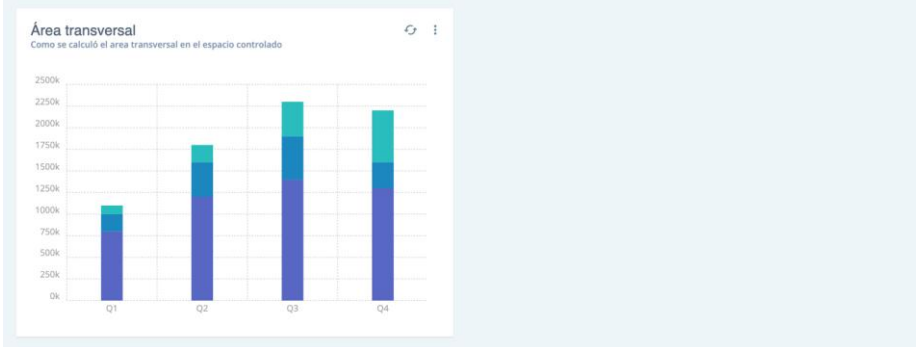


Imagen 16 Modelo de gráfica de cómo se realizaron los estudios para calcular las variables, en este caso el área transversal del espacio controlado, simulando una quebrada.



Imagen 17 Modelo de gráfica de cómo se calculó el perfil transversal de la quebrada en el espacio controlado.



*Imagen 18 Vista de manera responsive, dando prueba de que es adaptable a Smartphone, computadores y tablet's.*

### 6.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de obtener datos a través del hardware y software, se realizó el cruce de información del DataSet generado por el sensor YF-S201 (Caudalímetro) y el DataSet generado por el sensor HC-SR04 (Ultrasonido). Con ello se realizó el análisis correspondiente para el cálculo del caudal simulado en el espacio controlado de la quebrada Pubús en el asentamiento La Fortaleza y se generó la alerta correspondiente, dejando como resultados las siguientes gráficas y tablas comparativas.

La ecuación utilizada para el cálculo del área transversal es:

$$a = b.h$$

a= área transversal

b= distancia a la que se ha dividido en 10 partes iguales el espacio controlado. En este caso el espacio controlado mide de ancho 2 metros, lo que nos da una base (b) de 20 centímetros por medida.

h= La altura fue dada por el sensor ultrasonido

División del ancho del ambiente controlado	Altura (cm)
0,5	45
1	43
1,5	47
2	46
2,5	41
3	44
3,5	43
4	45
4,5	47
5	42

Tabla 18 Tabla para la división y cálculo del área transversal

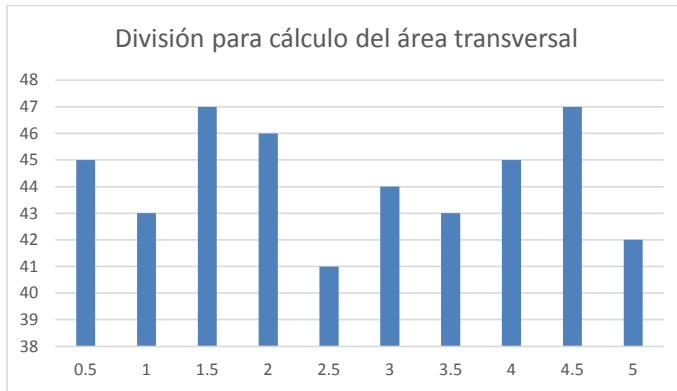


Imagen 19 División para cálculo del área transversal

Para el cálculo del caudal se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q_i = \ddot{V}_i A_i$$

Qi= Equivale al caudal en cada división como lo muestra la gráfica

Vi= Es la velocidad con la que pasa el agua y es medida por el sensor YF-S201 para cada división planteada en el espacio controlado

Ai= Es el área transversal calculada con la base de la división y la altura dada por el sensor ultrasonido

División del ancho del ambiente controlado	Altura (cm)	Corriente de líquido que fluye - ml/sec
0,5	45	74
1	43	37
1,5	47	33,6
2	46	33,6
2,5	41	77,4
3	44	43,7
3,5	43	42
4	45	79
4,5	47	33,6
5	42	46

Tabla 19 Tabla de divisiones, altura y velocidad por punto de medida

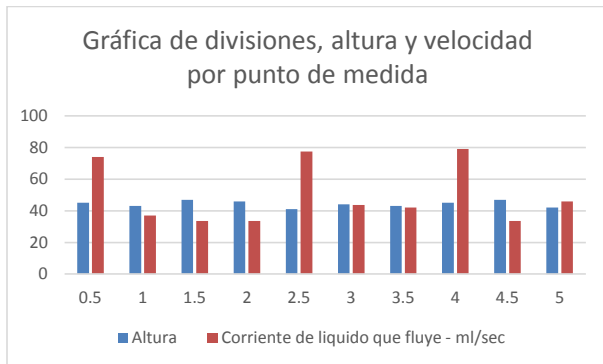


Imagen 20 Gráfica de divisiones, altura y velocidad por punto de medidas

Área transversal (ml2)	Corriente de líquido que fluye - ml/sec
22,5	74
21,5	37
23,5	33,6
23	33,6
20,5	77,4
22	43,7
21,5	42
22,5	79
23,5	33,6
21	46

Tabla 20 Tabla del gráfico para cálculo del caudal

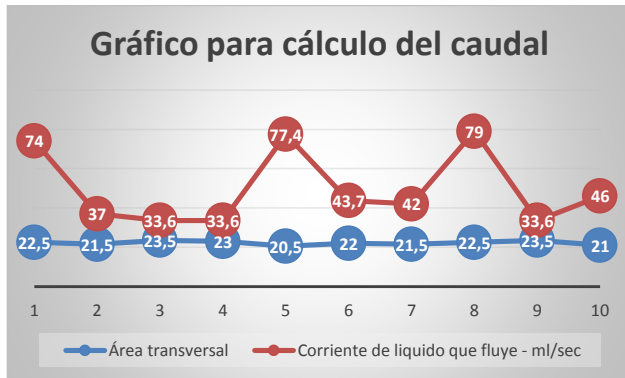


Imagen 21 Gráfico para cálculo del caudal

Caudal (ml3/s)
1665
795,5
789,6
772,8
1586,7
961,4
903
1777,5
789,6
966

Tabla 21 Tabla del caudal por punto de medida



Imagen 22 Caudal por punto de medida

<p>Caudal total del espacio controlado simulando la quebrada (m³/s)</p> <p>11007,1</p>
--

Tabla 22 Caudal total del espacio controlado simulando la quebrada (m³/s)

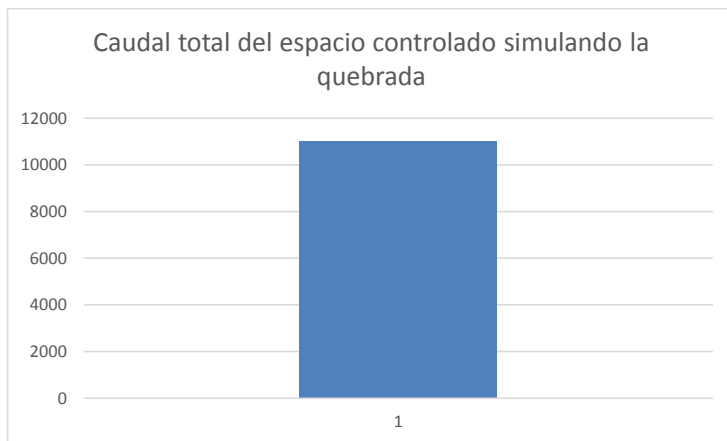


Tabla 23 Caudal total del espacio controlado simulando la quebrada

<i>Ancho del espacio controlado simulando la quebrada Pubús que pasa por el asentamiento La Fortaleza(m)</i>	<i>Caudal total del espacio controlado(m3/s)</i>
2	11,007
2	11,009
2	10,006
2	6,456
2	7,864
2	9,568
2	12,356
2	9,613
2	9,578
2	9,543
2	15,508
2	16,473
2	18,438
2	9,403
2	9,368
2	9,334

*Tabla 24 Tabla para graficar la medición del caudal total para generar alertas*

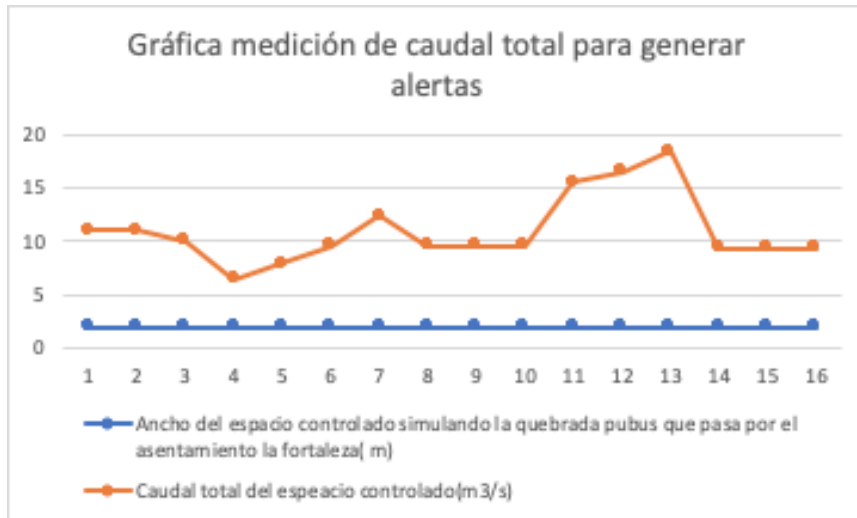


Imagen 23 Grafica medición del caudal total para generar alertas

Las alertas que se originan en la plataforma web, se basan en el análisis de la variación de picos que se generan al graficar las variables en tiempo real, y así cuando ocurren picos más altos de lo normal se genera la alerta. Las alertas también han sido caracterizadas de acuerdo a los picos, lo que permite identificar los diferentes tipos de alertas para cada situación.

## 7 PROCESO DE INVESTIGACIÓN

Objetivos específicos	Fuente	Técnica de recolección	Instrumento	Técnica de procesamiento	Resultado esperado
Identificar los requerimientos para el desarrollo del prototipo.	Comunidad del asentamiento la fortaleza en la comuna 7 aledaña a la quebrada Pubús.	Entrevistas semanales con la comunidad, grabando la conversación que se sostenga con ellos	Presentaciones, charlas, entrevistas	La técnica utilizada HUMAN CENTERED DESIGN	Requerimientos validados y organizados en la metodología de desarrollo a implementar
Desarrollar el prototipo con base a las variables identificadas.	Quebrada Pubús y ambiente controlado para prueba.	Compra de hardware por tiendas de sistemas electrónicos o en la web, Prestamos de insumos por parte de la Fundación Universitaria De Popayán	Sensores, Arduino y el parlante.	Desarrollo del sistema con código libre.	Tener un producto mínimo viable, que satisfaga los requerimientos anteriores.
Evaluar el prototipo	Comunidad del asentamiento la fortaleza en la comuna 7, Estudiantes, director.	Reuniones con nuestro director y la comunidad para realizar las pruebas.	Sistema de alerta temprana para inundaciones - FLOODALERT	Simulación de inundación, alterando variables y generando la alerta.	Generar una alerta con anticipación en la comunidad para poder evitar pérdidas por inundaciones.

Tabla 25 Proceso de Investigación

## 8 CONCLUSIONES

El prototipo de alerta temprana que integra tecnologías IoT, es un gran inicio para generar diferentes soluciones que coadyuven a los asentamientos que se encuentran en la ciudad de Popayán con características similares en todos los aspectos a la comunidad La Fortaleza.

Al integrar sistemas de bajo costo con metodologías ágiles de desarrollo, se obtuvo como resultado el prototipo de alerta temprana contra inundaciones, FloodAlert, que podría ser implementado, no solo en el asentamiento La Fortaleza, situado junto a la quebrada Pubús, sino también en diferentes sitios de la ciudad de Popayán y en otros lugares en donde el desborde de los ríos y arroyuelos ha costado no solo bienes materiales, sino también pérdidas de vidas humanas.

De igual manera, cada proyecto que busque implementar el Sistema FloodAlert necesitará realizar estudios adicionales a los afluentes, las pendientes de los ríos, su ancho, profundidad, y todo lo que de acuerdo a la fisiología sean necesarios para la ubicación adecuada del Sistema FloodAlert. Igualmente se deben estudiar características de la región como: factores climáticos, medio ambientales, factores sociales, entre otros.

La aplicación de las metodologías SCRUM y HCD al desarrollo del prototipo de alerta temprana FloodAlert, fue de gran ayuda puesto que permitió potencializar el desarrollo y realizar validaciones constantes del prototipo con la comunidad. Otro aspecto a resaltar de la aplicación de estas metodologías (SCRUM Y HCD) es que orientó la interacción con las comunidades de la Fortaleza y Nueva Esperanza, como Stakeholders del proyecto, facilitando la generación de empatía entre las comunidades y el equipo de este trabajo de grado, logrando un buen resultado conjunto.

Las reuniones realizadas a partir de la aplicación de la metodología ágil Scrum propiciaron la solución de los inconvenientes que se presentaron en el desarrollo, los cuales se superaron de manera rápida, oportuna y encontrando soluciones acertadas.

Las correctas entregas al finalizar cada Sprint (SCRUM) y validación con la comunidad, permitieron mantener la confianza y la buena relación creada con las comunidades, aspecto que fue fundamental para el desarrollo del prototipo de alertas tempranas contra inundaciones FloodAlert.

Se logró importantes aprendizajes al desarrollar un producto en conjunto con la comunidad que tiene necesidades y malas experiencias con respecto a la desatención y expectativas insatisfechas de acuerdo a los ofrecimientos realizados por terceros. Una de ellas, es apropiar con mayor énfasis que la tecnología debe

estar al servicio de las personas y que en un sistema real, es sólo un componente más de la solución.

Un aspecto importante en la construcción de soluciones basadas en tecnología, es garantizar la pertinencia y la relevancia de la misma, de acuerdo a las características sociales y económicas de la comunidad y del ecosistema con el cual se interactúa.

Cómo ingenieros de sistemas dejamos planteada la pregunta ¿Deberíamos seguir en la búsqueda de soluciones tecnológicas que faciliten una mejor calidad de vida, salvaguardando lo que con tanto empeño se ha conseguido, en especial en un mundo donde la polución y demás factores ambientales ponen en riesgo la vida misma?

## **9 TRABAJOS FUTUROS**

Implementación del prototipo en la comunidad LA FORTALEZA, ubicada en la comuna 7 de Popayán, aledaña a la quebrada Pubús.

## 10 ANEXOS

	<b>Descripción</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Verificadores</b>	<b>Supuestos</b>
<b>Fin</b>	Crear un sistema de alertas temprana contra inundaciones para la comunidad que está ubicada en el cauce de la quebrada Pubús	Cuando ocurra una inundación, el porcentaje de pérdidas naturales, físicas y humanas disminuya en una gran cantidad.	Comparación de estadísticas e informes con inundaciones del pasado y posibles a futuro.	Capacitaciones a la comunidad del servicio que se les está regalando para que ellos mismos cuiden de él.
<b>Propósito</b>	Evitar las pérdidas físicas, humanas y naturales que ocurren cada vez que hay una inundación en la quebrada Pubús, ya que la comunidad que habita cerca de este no tiene manera de darse cuenta cuando va a ocurrir una inundación.	Simulación de variación en los datos e información con características de una inundación en el ambiente controlado, para que el SI genere la alerta de manera correcta.	Realizar el mayor número de pruebas para validar de manera correcta el producto mínimo viable, con el fin de hacer un despliegue correcto	Cambio de hardware por actualizaciones de tecnología o pérdida de uno o más de los componentes.

	<b>Descripción</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Verificadores</b>	<b>Supuestos</b>
<b>Componentes (Productos)</b>	Sistema de alertas creado con una tarjeta Arduino, sensores para medición de variables en el río, un módulo ESP32, dos sensores y un parlante por el cual se generará la alerta.	Obtención y puesta en marcha de todo el hardware y software para realizar el sistema de alertas tempranas.	Probar que el hardware y el software esté con un correcto funcionamiento.	Revisión constante que se estén obteniendo los datos e información necesarias para la generación de la alerta temprana
<b>Actividades</b>	Visitas técnicas en la quebrada Pubús, conversación constante con la comunidad que tiene la necesidad de esta solución, búsqueda de financiamiento para la compra de insumos, configuración del hardware y software y despliegue del sistema para la realización de pruebas con un producto mínimo viable.	Para realizar el producto mínimo viable es necesario un presupuesto de \$400.000 pesos.	Comprar el hardware y desarrollar el software necesario para obtener el producto mínimo viable	Existencia de otros posibles financiadores para la compra y desarrollo del hardware y software.

Tabla 26 Anexos

## MAPAS COMUNA SIETE (7) DE LA CIUDAD DE POPAYAN

### *Comuna 7 Municipio de Popayan*

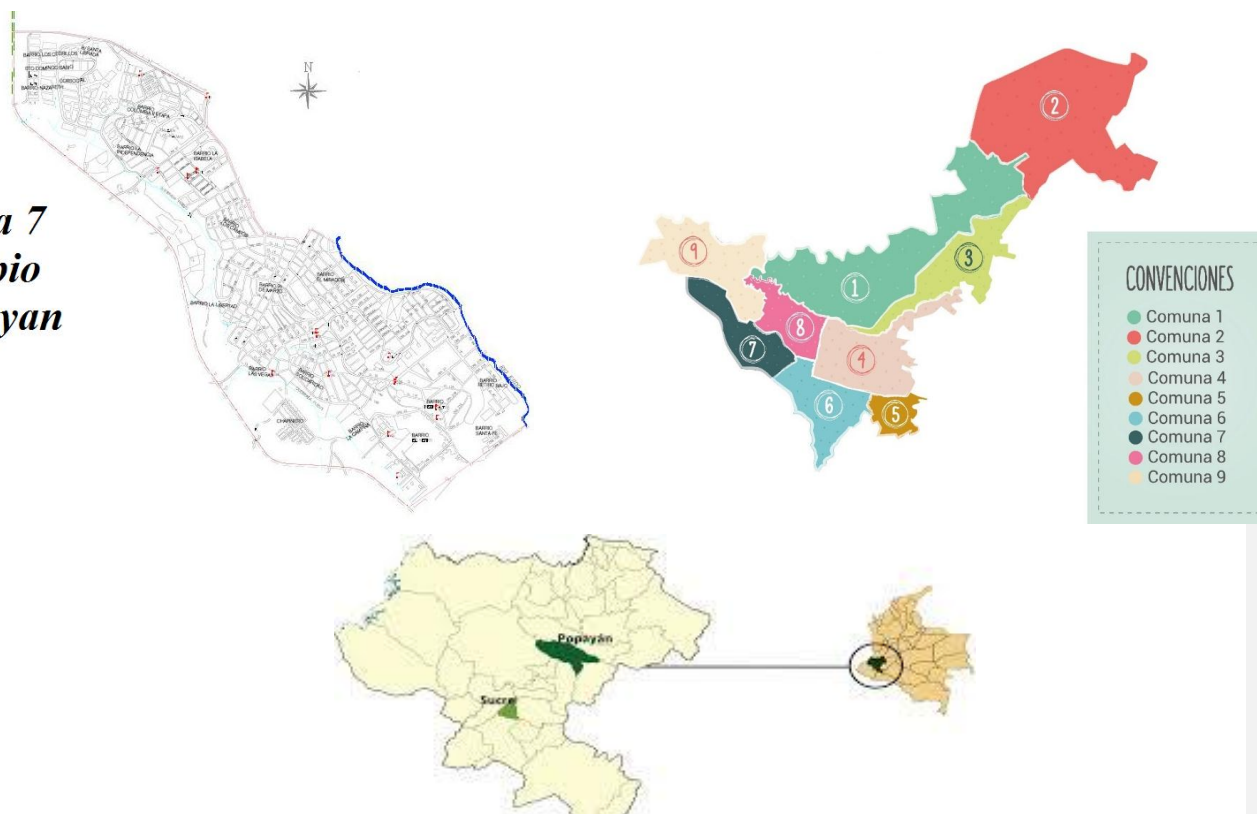


Imagen 24 Macro y micro localización

## REFERENCIAS

- [1] S. Morelli, A. Battistini and F. Catani, "Rapid assessment of flood susceptibility in urbanized rivers using digital terrain data: Application to the Arno river case study", *Applied Geography*. Department of Earth Sciences, University of Firenze, Via La Pira n, 2014.
- [2] S. Morelli, A. Battistini, and F. Catani, "Rapid assessment of flood susceptibility in urbanized rivers using digital terrain data: Application to the Arno river case study (Firenze, northern Italy)," *Appl. Geogr.*, vol. 54, pp. 35–53, 2014.
- [3] X. Fu, A. Q. Li, and H. Wang, "Allocation of Flood Control Capacity for a Multireservoir System Located at the Yangtze River Basin," *Water Resour. Manag.*, vol. 28, no. 13, pp. 4823–4834, 2014.
- [4] T. Tanaka, Y. Tachikawa, Y. Iachikawa, and K. Yorozu, "Impact assessment of upstream flooding on extreme flood frequency analysis by incorporating a flood-inundation model for flood risk assessment," *J. Hydrol.*, vol. 554, pp. 370–382, 2017.
- [5] H. Y. S. V. Arief, "Design of Flooding Detection System Based on Velocity and Water Level DAM with ESP8266," pp. 395–400, 2017.
- [6] K. Hiroi and N. Kawaguchi, "FloodEye: Real-time flash flood prediction system for urban complex water flow," *Proc. IEEE Sensors*, pp. 1–3, 2017.
- [7] N. Rohaimi, F. Ruslan and R. Adnan, "3 Hours Ahead of Time Flood Water Level Prediction Using NNARX Structure: Case Study Pahang", *2016 IEEE 7th Control and System Graduate Research Colloquium*. Faculty of Electrical Engineering Universiti Teknologi MARA, 40450 Shah Alam, Selangor, Malaysia, 2016.
- [8] B. Hoh, T. Iwuchukwu, Q. Jacobson, D. Work, A. M. Bayen, R. Herring, J. Herrera, M. Gruteser, M. Annavaram and J. Ban, "Enhancing Privacy and Accuracy in Probe Vehicle Based Traffic Monitoring via Virtual Trip Lines". 2010.
- [9] M. Wister, J. Hernández Nolasco, P. Pancardo, F. Acosta and A. Jara, "Emergency population warning about Floods by Social Media", *2016 10th International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*. 978-1-5090-0984-8/16 \$31.00 © 2016 IEEE, Tabasco, Mexico, 2016.
- [10] N. Ahmad Zubir, K. Jaafar and M. Fazalul Rahiman, "Water Level Modeling for Kelantan River at Jeti Kastam Station Using Nonlinear Autoregressive with Exogenous Input Structure", *Ahmad Zubir*. 978-1-5090-1175-9/16/\$31.00 ©2016 IEEE, UiTM Shah Alam, Malaysia, 2016.
- [11] "Las 5 inundaciones más grandes de la historia", *VIX*. [Online]. Available: <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/5984/las-5-inundaciones-mas-grandes-de-la-historia>. [Accessed: 29- May- 2018].
- [12] "Principales inundaciones ocurridas en el mundo desde el año 2000 - ABC.es", *ABC*. [Online]. Available:

<http://www.abc.es/20110113/internacional/rc-principales-inundaciones-ocurridas-mundo-201101131953.html>. [Accessed: 29- May- 2018].

[13] "PRINCIPAL - IDEAM", *Ideam.gov.co*. [Online]. Available: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima>. [Accessed: 29- May- 2018].

[14] "Habitantes de la quebrada Pubús, solicitan ser reubicados | Diario del Cauca", *Diariodelcauca.com.co*. [Online]. Available: <http://diariodelcauca.com.co/noticias/nacional/habitantes-de-la-quebrada-pub%C3%BAs-solicitan-ser-reubicados-98962>. [Accessed: 29- May- 2018].