



**Los desastres no son naturales: Propuesta de un sistema de alerta temprana
para la cuenca baja de la quebrada Acuatá en el municipio de Tocaima,
Cundinamarca.**

Cristian Ricardo Pulido Correa

Director (a):

Ricardo Antonio Tobón Rojas

CoDirectora:

Liliana Figueroa del Castillo

Universidad El Bosque

Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

2023

**Los desastres no son naturales: Propuesta de un sistema de alerta temprana para la cuenca
baja de la quebrada Acuatá en el municipio de Tocaima, Cundinamarca.**

Cristian Ricardo Pulido Correa

Director (a):

Ricardo Antonio Tobón Rojas

CoDirectora:

Liliana Figueroa del Castillo

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Ambiental

Línea de Investigación:

Ingeniería para la sostenibilidad - grupo de investigación Agua, Salud y Ambiente

Universidad El Bosque

Facultad de Ingeniería

Programa Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

2023

Acta de sustentación

Nota de salvedad de responsabilidad institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Tabla de contenido

Resumen.	11
Abstract	11
Introducción	11
1. Planteamiento del problema	13
2. Justificación	15
3. Pregunta de investigación	16
4. Hipótesis	16
4.1. Hipótesis nula	16
4.2. Hipótesis alterna	16
5. Objetivos	16
5.1. Objetivo general	16
5.2. Objetivos específicos	16
6. Marco de referencia	17
6.1. Antecedentes	17
6.1.1. Institucional	17
6.1.2 Nacional	17
6.1.3 Internacional	18
6.2. Marco teórico	18
6.3 Marco conceptual	20
6.4. Marco geográfico	22
6.5 Marco normativo	23
6.5.1 Normatividad internacional	23
6.5.2 Normatividad nacional	23
6.6 Marco institucional	24
6.6.1 Universidad El Bosque	24
6.6.2 Alcaldía Municipal de Tocaima	25
6.6.3 Gobernación de Cundinamarca	26
6.6.4 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MINAMBIENTE)	27
6.6.5 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)	28
6.6.6 Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD)	29
6.6.7 Corporación Autónoma Regional	29
7. Metodología	30
8. Plan de trabajo	38
9. Resultados.	43
10. Análisis y discusión.	69
10.1 Generación de información geoespacial.	69
10.2 Identificación de los componentes necesarios para el S.A.T.	71
10.3 Conocimiento de los Riesgos.	71
10.3.1 Pluviómetro de botella de plástico.	72
10.3.2 Escala hidrométrica.	74

10.4 Divulgación y monitoreo.	75
11. Conclusiones	85
12. Recomendaciones	87
13. Referencias	90
Anexos	95

Lista de figuras

Figura 1. Mapa de las aptitudes del suelo de Tocaima Cundinamarca.	14
Figura 2. Marco geográfico.	22
Figura 3. Universidad El Bosque.	25
Figura 4. Alcaldía de Tocaima.	26
Figura 5. Gobernación de Cundinamarca.	27
Figura 6. Minambiente.	28
Figura 7. IDEAM.	28
Figura 8. UNGRD.	29
Figura 9. CAR.	30
Figura 10. Mapa drenaje de la cuenca baja del río Acuatá.	43
Figura 11. Salida de campo de un tramo de la cuenca baja del río Acuatá.	44
Figura 12. Mapa zona de inundación de la cuenca baja del río Acuatá.	45
Figura 13. Escala de Saaty.	47
Figura 14. Experience Builder Widgets.	52
Figura 15. Experience Builder Interfaz de la página.	53
Figura 16. Guía de implementación de un S.A.T. sección de conocimiento del riesgo	54
Figura 17. Guía de implementación de un S.A.T. Sección de Riesgos y comunidades afectadas.	55
Figura 18. Guía de implementación de un S.A.T. Sección de infraestructura de Tocaima.	56
Figura 19. Guía de implementación de un S.A.T. Sección de Instrumentos y equipos de Análisis.	56
Figura 20. Guía de implementación de un S.A.T. Sección de divulgación y monitoreo	58
Figura 21. Guía de implementación de un S.A.T. Sección de Alerta.	62
Figura 22. Guía de implementación de un S.A.T. Sección de Plan de emergencia.	64
Figura 23. Guía de implementación de un S.A.T. Sección de Anexos.	68
Figura 24. Realización de encuesta a entes participativos.	77
Figura 25. FloodHub.	87
Figura 26. Delimitación de la cuenca del parque nacional natural Farallones de Cali.	88

Lista de tablas

Tabla 1. Metodología en formato tabla.	32
Tabla 2. Cronograma.	38
Tabla 3. Criterios de las amenazas.	46
Tabla 4. Matriz de comparación de criterios.	46
Tabla 5. Matriz de ponderación.	47
Tabla 6. Relación de consistencia	48
Tabla 7. Comparación de las amenazas según la probabilidad de ocurrencia.	49
Tabla 8. Ponderación de la comparación de las amenazas según la probabilidad de ocurrencia.	49
Tabla 9. Comparación de las amenazas según el alcance geográfico.	49
Tabla 10. Ponderación de la comparación de las amenazas según el alcance geográfico.	49
Tabla 11. Comparación de las amenazas según la capacidad de predicción o detección temprana.	50
Tabla 12. Ponderación de la comparación de las amenazas según la capacidad de predicción o detección temprana.	50
Tabla 13. Comparación de las amenazas según la probabilidad de ocurrencia.	50
Tabla 14. Ponderación de la comparación de las amenazas según la probabilidad de ocurrencia.	51
Tabla 15. Ponderación de la comparación de las amenazas según la probabilidad de ocurrencia.	51
Tabla 16. Puntos Observados de salida de campo.	70
Tabla 17. Unidades hidrográficas de interés	71
Tabla 18. Niveles de alerta y acciones.	82

Lista de Anexos

Anexo 1. Mapa de uso del suelo de Tocaima, Cundinamarca.	95
Anexo 2. Mapa de amenazas y riesgos de Tocaima, Cundinamarca.	96
Anexo 3. Horas disponibles de la comunidad para trabajo en el S.A.T.	97
Anexo 4 . Horas de precipitación previas a una inundación.	98
Anexo 5 . Edades de los encuestados.	99
Anexo 6 . Encuesta a las comunidades.	100

Lista de Gráficas

Gráfica 1. Metodología en formato diagrama.	35
Gráfica 2. Conocimiento sobre un S.A.T.	78
Gráfica 3. Resultados de la ayuda ante emergencias.	79
Gráfica 4. Resultados de las habilidades de la comunidad.	80
Gráfica 5. Frecuencia de Precipitación de la vereda Acuatá. Periodo comprendido entre noviembre de 2022 y octubre de 2023.	81
Gráfica 6. Medios de comunicación más concurridos.	84

Resumen.

Las inundaciones por desbordamiento de ríos son un riesgo bastante común en Colombia, dada su naturaleza como un país con numerosos cuerpos de agua (ONU. 2019). Sin embargo, muchos de los planes de gestión del riesgo municipales carecen de varios aspectos, entre esos estudios aplicados a la zona, recursos y tecnologías. Tocaima, es un municipio que sufre de esta eventualidad, cada temporada de altas precipitaciones debido a su ubicación geográfica con respecto a la cuenca baja de la quebrada Acuatá, la cual se desborda al punto de arrasar y deteriorar la infraestructura, bienes de los habitantes e incluso poniendo en riesgo la vida de las personas. Por esta razón se desarrolló una propuesta de un Sistema de Alerta Temprana (S.A.T.) para la cuenca baja de la quebrada "Acuatá", en el municipio de Tocaima, Cundinamarca. por lo cual se planteó este sistema como una herramienta esencial para minimizar los daños y proteger vidas humanas; se diseñó teniendo en cuenta las características geográficas, climáticas y socioeconómicas específicas del área trabajada, en donde se logró delimitar la zona de estudio utilizando técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), con los que se obtuvieron los mapas de caracterización de la zona, evidenciando las áreas de afectaciones ante un evento hidrológico y se combinó con la información proporcionada por la comunidad local y la que se puede encontrar en diferentes bases de datos institucionales. Este enfoque permitió seleccionar las opciones y tecnologías más adecuadas para la creación de una guía de implementación de fácil entendimiento para un S.A.T. específico para la vereda Acuatá por medio de la herramienta de Builder Experience de ESRI. Así las cosas, el 48% de las zonas de inundación de la cuenca baja de la quebrada Acuatá está habitada por la población, propendiendo el aumento de los impactos que este fenómeno puede ocasionar en las comunidades en los sectores económicos, sociales y ecológicos.

Palabras clave: Mitigación, S.A.T, inundación, riesgo, parámetros ambientales, precipitación, Fenómenos hidrológicos.

Abstract

Flooding from overflowing rivers is a fairly common risk in Colombia, given its nature as a country with numerous bodies of water (UN. 2019). However, many of the municipal risk management plans lack several aspects, including studies applied to the area, resources and technologies. Tocaima, is a town that suffers from this eventuality, every season of high rainfall due to its geographical location with respect to the low basin of the Acuatá stream, which overflows to the point of devastating and deteriorating the infrastructure and property of the inhabitants, including the risk of human loss. For this reason, a proposal was developed for an Early Warning System (EWS) for the lower basin of the "Acuatá" stream in the town of Tocaima, Cundinamarca. It was designed taking into account the specific geographic, climatic and socio-economic characteristics of the area under study, where the study area was delimited using Geographic Information Systems (GIS) techniques, which were used to obtain characterisation maps of the area, showing the areas affected by a hydro-climatic event and combined with the information provided by the local community and that which can be found in different institutional databases. This approach allowed the selection of the most appropriate options and technologies for the creation of an easy-to-understand implementation guide for a specific S.A.T. for the Acuatá district by means of the ESRI Builder Experience tool. Thus, 48% of the flood zones in the lower basin of the Acuatá stream are inhabited by the population, leading to an increase in the impacts that this phenomenon can have on the communities in the economic, social and ecological sectors.

Keywords: Mitigation, S.A.T, flood, risk, environmental parameters, precipitation, hydroclimatic phenomena.

Introducción

En la actualidad, los desastres son cada vez más frecuentes y pueden ocurrir en cualquier parte del mundo. Sin embargo, a pesar de esta realidad, todavía no estamos completamente preparados para hacer frente a la aparición de estos fenómenos. Las inundaciones se producen cuando las lluvias intensas o continuas sobrepasan la capacidad de retención e infiltración del suelo, o cuando la capacidad máxima de transporte del río o arroyo es superada y el cauce principal se desborda e inunda los terrenos cercanos a los propios cursos de agua (INETER, 2005).

Por tanto, es necesario desarrollar instrumentos de gestión del riesgo como herramienta para mitigar los impactos que provocan los fenómenos naturales (Hoffmann, B, 2020), Es crucial que la población esté preparada para enfrentar estos fenómenos hidroclimáticos, ya que solo así podremos reducir las tasas de letalidad, mortalidad y las pérdidas económicas en las comunidades afectadas (Saavedra, A. G. F., & Moreno, S. D, 2018). Como lo es la comunidad del municipio de Tocaima, la cual desde su fundación como cabecera municipal, ha tenido afectaciones por las inundaciones del río Bogotá y, en la actualidad, la vereda Acuatá está siendo afectada por las crecientes torrenciales de la quebrada que lleva el mismo nombre. Conforme a lo descrito por los propietarios de los centros vacacionales ubicados en la vereda, en la última temporada de lluvias del fenómeno de la niña, en el año 2022, se evidenciaron más de cuatro (4) crecientes en el mes de junio con caudales de 15 m³/s en adelante; concordando con el periodo de lluvias de la zona de interés.

Con base en lo descrito anteriormente, para el control y la prevención de riesgos, se utilizan los sistemas de alerta temprana (S.A.T.), los cuales se implementan en conjunto con las comunidades afectadas para lograr una mayor efectividad. El objetivo es reducir el tiempo de respuesta en caso de emergencia, permitiendo así que las personas que se encuentren en zonas propensas a inundaciones, conocidas como cuencas bajas, puedan evacuar a tiempo y ponerse a salvo de la zona de inundación (Naciones Unidas, 2021).

Conforme a la OMM (2018) un S.A.T. para inundaciones, de carácter comunitario, es una infraestructura operativa que se apoya en modelos hidrológicos y meteorológicos para monitorizar en tiempo real variables como precipitaciones, niveles de ríos y caudales. Al integrar datos topográficos y de precipitación con modelos de pronóstico y alerta, este sistema colaborativo emplea estaciones hidrometeorológicas y teledetección. La información recopilada activa alertas graduales según niveles de riesgo, permitiendo la participación de la comunidad en medidas preventivas y de gestión del riesgo ante posibles inundaciones.

A nivel global, todos los continentes experimentan fenómenos hidroclimatológicos, y en la actualidad se ha observado un aumento en su frecuencia, atribuido al cambio climático y a la invasión de las galerías forestales en las cuencas hidrográficas. Entre los países más afectados por estos fenómenos se destaca China, reconocido por su sólida gestión del riesgo y planificación (ONU , 2008).

En China, se ha implementado un destacado S.A.T. de inundaciones conocido como el "Sistema de Alerta Temprana y Control de Inundaciones del Río Yangtze", establecido en 2003 y administrado por la Oficina de Control de Inundaciones del Río Yangtze. Este sistema consta de una red de monitoreo hidrológico, un centro de control de inundaciones y un sistema de comunicación de alerta temprana. Mediante estaciones hidrológicas automáticas y teledetección satelital, se recopilan datos sobre las condiciones meteorológicas, hidrológicas y geológicas en la cuenca del río Yangtze. Estos datos permiten analizar el riesgo de inundaciones y emitir alertas tempranas a las autoridades locales y la sociedad en general. El sistema de comunicación de alerta temprana utiliza diversas vías informativas, como radios, televisión, SMS, sirenas y aplicaciones móviles, garantizando que las alertas lleguen de manera efectiva y oportuna a la población.

Además, China ha implementado sistemas de S.A.T. de inundaciones a nivel local en ciudades y regiones específicas, como Shanghai y la provincia de Hunan. Estos sistemas se adaptan a las características de

cada región y emplean tecnologías basadas en redes de monitoreo para prevenir y mitigar los daños ocasionados por las inundaciones (Shi, Y, et al, 2018).

Otro sistema relevante es el Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones (FAS) en la India, diseñado para la gestión anticipada de inundaciones en los principales ríos del país, como el Ganges, Brahmaputra y Mahanadi. Este sistema es desarrollado por el Servicio Meteorológico de la India y la Agencia Central de Agua de la India.

El FAS recopila datos meteorológicos, hidrológicos y topográficos, fundamentales para predecir la cantidad y duración de las precipitaciones, así como los niveles de agua en los ríos y embalses. Estos datos se obtienen de diversas fuentes, como estaciones meteorológicas, satélites y sensores de nivel de agua. La información recopilada se procesa mediante modelos matemáticos, permitiendo prever el riesgo de inundaciones en una zona específica.

Cuando se identifica un potencial riesgo de inundación, se emite una alerta de manera oportuna, la cual es enviada a las autoridades locales pertinentes. Estas alertas son transmitidas a través de varios medios, con el objetivo de que se tomen las medidas necesarias para proteger a la población y minimizar los daños ocasionados por las inundaciones (Karmakar, et al., 2016).

La vereda Acuatá, ubicada a 400 m.s.n.m. al inicio de la cuenca baja, es la zona de mayor impacto por inundaciones y constituye el foco principal del estudio. Este sector, enmarcado en la zona turística del municipio, alberga numerosas fincas de producción agrícola y comercios situados en la ribera de la quebrada Acuatá. Dada su dependencia de esta fuente hídrica, sin acceso a un sistema de acueducto, la vulnerabilidad de la comunidad ante inundaciones se incrementa considerablemente. La quebrada Acuatá actúa como receptora de efluentes de todas las corrientes de la cuenca alta y media, manifestando una longitud axial de 15 km y abarcando un área de 68.4 km², siendo la de mayor extensión en el municipio. La comunidad ha llegado a sufrir por estos fenómenos naturales en donde se pierden vidas y bienes materiales como cultivos, hogares y comercios, para esto es fundamental la ayuda de la población junto con la tecnología en donde se genera un sistema conjunto con el que se genera un sistema eficiente de prevención de riesgos.

Es por esto que se generó una propuesta de un S.A.T. para la cuenca baja del río Acuatá, en donde se caracterizó inicialmente la zona de estudio, seleccionando los diferentes parámetros de un S.A.T y adecuarlo conforme a los variables analizadas en el proyecto.

1. Planteamiento del problema

El municipio tiene como principal fuente de ingresos el turismo y predios con vocación agrícola, en su mayoría son frutales como mango, papaya entre otros, como podemos observar en el mapa de aptitudes del suelo, desarrollado por la alcaldía de Tocaima (2001) (ver figura 1), es por esto que se suelen asentar cerca de la ronda de los ríos o quebradas y se generan constantes construcciones en las zonas de

en la temporada de lluvias (normalmente dos al año), la cuenca no tiene la capacidad de retener todo el caudal que recolectan los drenajes tributarios, ocasionando el desborde hacia las áreas de inundación en donde se encuentra localizada la población y sus proyectos productivos. Esto se debe a que, en las partes altas de la subcuenca, se recolecta toda la precipitación de la zona, la cual desciende por el cauce de la quebrada en estudio y que en épocas de sequía, este cauce es utilizado como vía por parte de la población, modificando su uso, lecho de la quebrada y trazabilidad de la misma, alterando su curso normal y en ciertos sectores, rectificando el cauce para que los autos transiten de manera óptima; aumentando el caudal y disminuyendo el cauce de la quebrada (Pulido, 2022).

De igual manera como se señala en el Boletín Informativo No. 031 de la UNGRD (2021) a nivel nacional, “en un primer balance, entre el 1 de enero y el 12 de marzo se registraron 289 eventos de origen hidrometeorológico con una gran cantidad de movimientos en masa (deslizamientos), inundaciones y demás” En el instante en que ocurren estos eventos, no se cuenta con un plan de acción previo sino que se atienden las situaciones post emergencia, donde ya se presentan todas las consecuencias del fenómeno,

2. Justificación

Los fenómenos naturales son impredecibles y difíciles de analizar, es por esto que una de las formas de minimizar los riesgos que se generan en el municipio se puede realizar por medio de herramientas de gestión de riesgo, sin embargo, en Colombia, las organizaciones gubernamentales no atienden la importancia de incluir dentro de sus planes de gestión del riesgo los sistemas de alerta temprana especificados en las zonas que presentan mayor vulnerabilidad. Los que ya han sido implementados, no son completamente eficientes, debido a que los datos proporcionados no tienen la completa rigurosidad y precisión pertinente. Es así que la problemática de la vereda Acuatá del municipio de Tocaima expone la necesidad de crear una cultura de gestión del riesgo y así mismo, controlar y reducir cada uno de los factores que aumentan la vulnerabilidad, mediante la caracterización de la zona de estudio y análisis de los parámetros hidrometeorológicos para poder involucrar correctamente los elementos necesarios para generar una guía de implementación de un sistema de alerta temprana que siga una correcta línea base, asegurando la disminución de pérdidas, ya que en muchas inundaciones se afecta cultivos, maquinarias o vidas tanto animales como humanas, en donde el municipio tiene desajustes presupuestarios debido a las emergencias por inundaciones (Cárdenas, 2018).

Razón por la cual un S.A.T. caracterizado específicamente para la zona de afectaciones por los eventos hidrometeorológicos como las inundaciones generados por los fenómenos ENOS en su fase negativa, debido a su gran incidencias en las precipitaciones del país como lo menciona el IDEAM y la UNGRD (2021), por lo que se puede contribuir a las autoridades de gestión como bomberos o defensa civil, en la disminución de los daños ocasionados por los fenómenos de manera significativa, asimismo, las labores de monitoreo y atención se puedan realizar de manera más óptima y atender las emergencias correctamente (Guerrero Barrios, V., & Arias Duarte, C. H, 2021), es por esto que la población estaría directamente involucrada en la operación del sistema, siendo la recepción y respuesta adecuada de la población uno de los pilares del S.A.T. en donde junto con la retroalimentación que se genera sobre la precisión y la utilidad de los S.A.T. se puede adaptar y perfeccionar. De esta manera se podría generar una educación a la comunidad sobre la gestión de riesgo para facilitar la ejecución y aumentará la eficiencia de los planes de gestión de riesgo por lo cual al momento de que lleguen las autoridades institucionales,

las personas ya se encuentren a salvo y solo se necesite la recuperación y limpieza de los predios o casas las cuales se vieron afectadas. Esto permite la agilización del trabajo de los entes de control minimizando significativamente la crisis y la vulnerabilidad a la cual se encuentra expuesta la población (Liu, C., Guo, L., Ye, L., Zhang, S., Zhao, Y., & Song, T, 2018) .

Por lo anteriormente descrito, con el desarrollo de este proyecto se constituye un aporte en factores económicos, ambientales y sociales, impactando positivamente en la calidad de vida de los habitantes de Tocaima, Cundinamarca y asimismo a la alcaldía municipal en donde se pueda disminuir los gastos generados, por lo cual durante este estudio evidencian cómo funcionan las cuencas y cuál es su importancia en el ambiente (Cárdenas, 2018).

3. Pregunta de investigación

¿Cuál es la relación de la propuesta de un sistema de alerta temprana (S.A.T.) en la reducción de afectaciones en la vereda Acuatá en Tocaima, Cundinamarca?

4. Hipótesis

4.1. Hipótesis nula

La caracterización de la zona de estudio con los diversos parámetros y las revisiones bibliográficas de las guías de S.A.T. influirá significativamente en la efectividad de la propuesta de un Sistema de Alerta Temprana (S.A.T.) en la reducción de afectaciones en la vereda Acuatá, municipio de Tocaima, Cundinamarca.

4.2. Hipótesis alterna

La caracterización de la zona de estudio con los diversos parámetros y las revisiones bibliográficas de las guías de S.A.T. no influirá significativamente en la efectividad de la propuesta de un Sistema de Alerta Temprana (S.A.T.) en la reducción de afectaciones en la vereda Acuatá, municipio de Tocaima, Cundinamarca.

5. Objetivos

5.1. Objetivo general

Generar una propuesta de un Sistema de Alerta Temprana (S.A.T.) para la cuenca baja de la quebrada “Acuatá”, municipio de Tocaima, Cundinamarca.

5.2. Objetivos específicos

1. Caracterizar la zona de estudio con los parámetros físicos, geográficos, hidrológicos y ambientales.
2. Definir el diseño y las etapas del sistema de alerta temprana (S.A.T.) a implementar.

3. Establecer una guía base de un sistema de alerta temprana (S.A.T.) para la vereda Acuatá municipio de Tocaima, Cundinamarca.

6. Marco de referencia

6.1. Antecedentes

Dentro de esta sección del documento, se presentarán de manera detallada las investigaciones más relevantes relacionadas con el caso de estudio. Esta sección se dividirá en tres partes: antecedentes institucionales, antecedentes nacionales y antecedentes internacionales.

En la sección de antecedentes institucionales, se reconocerán los proyectos previos que abordan el mismo campo de investigación y que se encuentran en el repositorio de la Universidad El Bosque.

En la sección de antecedentes nacionales, se mencionan algunos de los estudios y proyectos realizados e implementados en el territorio nacional. Estos proyectos servirán como referencia para comprender la situación y los desafíos específicos que enfrenta el caso de estudio, se hace énfasis en las regiones con mayor similitud al caso de estudio debido a que en la Provincia del alto magdalena, región a la que hace parte el municipio de Tocaima, no cuenta con ningún S.A.T. para inundaciones.

En la sección de antecedentes internacionales, se destacarán los estudios más relevantes realizados en otros países donde las condiciones son similares a las planteadas en el caso de estudio. Estos antecedentes internacionales proporcionarán una perspectiva global y permitirán identificar prácticas exitosas y lecciones aprendidas que pueden ser aplicables al contexto del proyecto.

6.1.1. Institucional

Dentro del repositorio de la universidad El Bosque, actualmente no se registran investigaciones o proyectos que hablen de los sistemas de alerta temprana o temas afines, de esta forma, el presente proyecto pretende posicionarse como el primero dentro del historial académico de la universidad.

6.1.2 Nacional

En el artículo trabajado por Coll (2013) denominado Sistemas de Alerta Temprana (S.A.T) para la Reducción del Riesgo de Inundaciones Súbitas y Fenómenos Atmosféricos en el Área Metropolitana de Barranquilla se exponen los fenómenos atmosféricos como una grave problemática que atraviesa la Región Caribe Colombiana, ya que estos han incrementado su intensidad con los años debido a las variaciones fuertes del cambio climático. En relación a lo anterior, se ha aumentado considerablemente el nivel del riesgo al ser una zona con vulnerabilidad frente a factores sociales, económicos y sociales. Es por esto que se proponen acciones que permitan reducir la amenaza producida al implementar sistemas de monitoreo y sistemas integrales de alerta temprana, de manera que las entidades gubernamentales y la comunidad pueda estar al frente de la toma de decisiones para prevenir el daño con el que acarrearán estos desastres naturales. Dicho sistema se planea con la intervención de políticas de sostenibilidad que permite que sean social, económica y ambientalmente viable. En este proyecto se implementa un Sistema de Alerta Temprana (S.A.T.), basado en redes TIC aplicado en los arroyos de Barranquilla, que por medio de una plataforma web se puede visualizar el nivel de peligrosidad del cuerpo de agua (Coll, 2013).

Por otra parte, en el artículo “Sistema de alerta temprana de inundaciones para el río Arauca basado en técnicas de inteligencia artificial” se realiza la implementación de este SAT utilizando la información de estudio del IDEAM, donde se utilizan variables como precipitación, nivel y caudal. Este modelo que se utiliza en el artículo es matemático, de manera que se obtiene a partir de tendencia lineal o por relaciones potenciales. Esta información permite generar alertas preventivas para que las entidades gubernamentales realicen la adecuada gestión del riesgo. Igualmente, se puede evidenciar que la aplicación de este tipo de soluciones, resulta buena alternativa para implementar los SAT, sin embargo, la efectividad de este modelo y la predicción de este depende directamente de la información que es suministrada al inicio, por lo que si esta presenta errores de precisión, alteraría inmediatamente la eficacia de estos (Cárdenas-Rodríguez, et al, 2022).

6.1.3 Internacional

Los Sistemas de Alerta Temprana se pueden encontrar implementados en distintos países del mundo donde se presentan catástrofes ambientales recurrentes. En el caso del arroyo Sauce Corto, provincia de Buenos Aires; en el artículo “Tecnología y extensión universitaria: los Sistemas de Alerta Temprana Colaborativos en la gestión del riesgo de inundación”, en el cual las actividades principales se basan en generar una aplicación para dispositivos móviles que permita informar con rapidez a los ciudadanos del arroyo acerca de un evento hidrometeorológico y de la magnitud de este, es decir, de los elementos que pueden ser afectados en el entorno. Es importante destacar que la efectividad de la propuesta se basa en la apropiación y el buen uso que la comunidad haga de este (Gentili, J. O, et al, 2018).

Por otro lado, “China es uno de los países más afectados por fenómenos meteorológicos peligrosos. Entre 1984 y 2014, estos fenómenos han causado una media anual de 4.066 muertes y pérdidas económicas directas de 192.200 millones de yuanes chinos” (Meiyan, J, et al, 2015). Por tal motivo, el gobierno chino ha desarrollado un sistema de gestión de riesgo de desastre fundamentados en variables de tiempo y clima y se ha esforzado en establecer un sistema nacional de gestión de prevención de desastres, que involucra su mitigación y las posibles soluciones. Por esto se han incorporado nuevas estrategias y políticas para mejorar la prevención y la mitigación de desastres, así mismo se han incorporado nuevos mecanismos y políticas, y por ende, nuevas leyes para mejorar el sistema legal como la correcta toma de decisiones para el plan de gestión de riesgo. (Meiyan, J, et al, 2015).

Finalmente, Gutiérrez (2013) en su artículo titulado “Diseño conceptual de un sistema de alerta temprana para la ciudad de Villahermosa, Tabasco”, plantea una estructura del S.A.T. basado en los valores como la precipitación en tiempo real, en un modelo de lluvia- escurrimiento, utilizando un modelo matemático, de manera que infieren que los datos proporcionados por los satélites proporcionan una mejora en el análisis hidrológico de la cuenca.

6.2. Marco teórico

El cambio climático ha generado una serie de amenazas hidrológicas a lo largo de los años, de las cuales han ido incrementando tanto en frecuencia como en magnitud. Las inundaciones son una de las más importantes debido a la cantidad y tipo de desastres que pueden generar, lo que con los años ha despertado el interés por los Sistemas de Alerta Temprana o S.A.T., para afrontar las emergencias. Este caso se centra en la emergencia por inundaciones, un fenómeno que se desencadena de forma repentina y se considera como una de las amenazas de mayor gravedad ya que causan, a nivel mundial, miles de

muerdes tanto en animales como en personas humanas, adicionando las grandes pérdidas económicas representadas en estructuras y deterioro de los recursos (Domínguez-Calle, E., et al, 2014).

Las *inundaciones* se definen como el desbordamiento de cuerpos de agua, como ríos, lagos o mares, que afectan las zonas aledañas a estos cuerpos hídricos. Las causas pueden ser naturales o antropogénicas, donde las naturales se encuentran el aumento del nivel del mar debido al derretimiento de los glaciares y el cambio climático, la ocurrencia de lluvias torrenciales, en donde las precipitaciones aumentan en la región de la cuenca, generando una dificultad del suelo para retener todo este caudal que va llegando a los afluentes, por otro lado tenemos la obstrucción de los cauces naturales por sedimentos y la falta de mantenimiento de los cuerpos de agua. Además, entre las causas antropogénicas se encuentran la urbanización, la deforestación, la construcción de represas y la alteración del curso de los ríos (Kundzewicz, Z. W, et al, 2019). Las inundaciones pueden tener consecuencias graves en el ambiente, la economía y la sociedad; estas pueden causar la pérdida de vidas humanas, destrucción de hogares y bienes, interrupción de servicios básicos como el suministro de agua y electricidad, y daños en la infraestructura, lo que puede tener un impacto económico negativo significativo (Kundzewicz, Z. W, et al, 2019). También pueden provocar la erosión del suelo, la degradación del hábitat de las especies y la alteración de los ecosistemas acuáticos. Estas consecuencias también pueden llegar a ser indirectas, como la escasez de alimentos, la propagación de enfermedades, y el desplazamiento de poblaciones enteras. Este fenómeno puede afectar a las comunidades más vulnerables, como los ancianos, los niños y las personas con discapacidad, y agravar las desigualdades sociales existentes. En general, las causas pueden ser variadas, pero es importante tomar medidas preventivas y estar preparados para minimizar su impacto negativo. (Morales, et al, 2018).

En este contexto, se comprende que la implementación de un sistema de alerta temprana para inundaciones es de vital importancia, debido a las graves consecuencias que este fenómeno natural puede ocasionar en las personas, las propiedades y la economía de una región (Morales, et al, 2018). En primer lugar, un S.A.T. Permite a las autoridades y a la población tomar medidas preventivas antes de que ocurra una inundación, esto incluye la construcción de barreras de protección, evacuaciones, la movilización de recursos y la implementación de planes ante emergencias. El S.A.T. dentro de sus múltiples funciones y objetivos, se contempla la reducción de víctimas mortales, la minimización de los daños a propiedades y estructuras de las poblaciones afectadas e influye en la disminución del costo económico asociado a los daños generados por el fenómeno. (Botero, et al, 2016).

Los sistemas de alerta temprana específicamente diseñados para inundaciones, consideran una variedad de tecnologías para monitorear y pronosticar las condiciones hidrológicas y emitir alertas. Algunas de estas tecnologías pueden ser con estaciones meteorológicas, estaciones hidrológicas, sensores a nivel de agua, sistemas de información geográfica (SIG), sistemas de comunicación y alerta, sistemas de monitoreo de precipitaciones, entre otros. (Olivera, F, et al, 2017).

Para este tipo de eventos, los sistemas de monitoreo de precipitaciones son fundamentales para la predicción y el monitoreo de inundaciones. La combinación de diferentes tecnologías, como pluviómetros, radares meteorológicos, satélites meteorológicos y sistemas de teledetección, proporciona una visión más completa de datos que abarcan la cantidad y distribución espacial de la precipitación, lo que permite a los entes de control e investigadores a cargo, tomar decisiones apropiadas para proteger a la población y minimizar los daños causados por las inundaciones. Por otro lado, los sistemas de

comunicación son fundamentales para implementar S.A.T. Estos sistemas son usados para transmitir a las autoridades encargadas de tomar decisiones y a la población en general, la información que es recolectada por los sensores y dispositivos de monitoreo, aparte de que se transmiten las medidas que deben ser tenidas en cuenta para estar preparado ante una inundación inminente (Barrera J, et al, 2019).

Por otro lado, se destaca el modelo de gestión del riesgo donde se generan sistemas como el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastre, mejor conocido en el SNGRD. Este proceso es vital para la identificación de posibles amenazas, donde se puede analizar y caracterizar los posibles impactos de los eventos naturales a tal punto que se puedan disminuir los daños causados (Narváez, L., Pérez Ortega, G., & Lavell, A. 2009), para esto se debe empezar con la evaluación de los riesgos ambientales identificando amenazas potenciales y evaluando su probabilidad e impacto en la salud humana y el entorno natural. Luego, se realiza un análisis detallado de cómo estos riesgos pueden afectar los ecosistemas, recursos naturales y la salud. La planificación y gestión de riesgos sigue, con el desarrollo de estrategias para disminuirlos, abarcando desde prevención hasta restauración de ecosistemas. El monitoreo constante del entorno, junto con planes de respuesta y capacitación para emergencias, complementan este enfoque, asegurando una protección continua y una respuesta efectiva frente a posibles amenazas o desastres ambientales. Estos procesos se diseñan para preservar el medio ambiente, minimizar impactos negativos de actividades humanas y garantizar la sostenibilidad de los recursos naturales.

Estos análisis se deben realizar diferentes estudios agroclimatológicos que abarca los fenómenos naturales hidrológicos como lo son las precipitaciones o inundaciones que afectan a algún ecosistema en sí (Poveda, 2004) Esta ciencia tiene un amplio campo de trabajo, es por esto que se trabaja desde campos más óptimos, ya que Colombia es un país con más variedad de climas y permite la toma de datos oportunos. Según esto, se puede afirmar que la efectividad de los S.A.T. en Colombia se relacionan con la gestión del riesgo a cargo de la UNGRD, por lo que estos entes se basan en la correcta funcionalidad de sus proyectos en pronósticos de la variables hidrometeorológicas, las cuales son emitidos por el IDEAM u otras entidades institucionales (Domínguez-Calle, E., et al, 2014).

6.3 Marco conceptual

Los *sistemas de alerta temprana* son mecanismos de gestión del riesgo que tienen como objetivo alertar a la población de algún evento o fenómeno climatológico para que se puedan mitigar los impactos (Ocharan, 2007; OEA, 2010; Domínguez y Lozano, 2014). Para el control y prevención de riesgos, se suelen utilizar los sistemas de alerta temprana (S.A.T.) los cuales son procedimientos que pueden estar funcionando en conjunto con la comunidad para una mejor efectividad; de modo que el tiempo de respuesta en caso de alguna emergencia sea menor, para que las personas que estén en cuenca baja; que son las zonas donde normalmente se inunda, alcancen a evacuar la zona de inundación (Naciones Unidas, 2021). Entre las mayores ventajas aportadas por los sistemas comunitarios de alerta temprana se mencionan las siguientes:

- Estos sistemas contribuyen directamente a las entidades de protección civil a concientizar e informar a las comunidades que presentan mayor vulnerabilidad sobre la importancia de incluir actividades de reducción de desastres naturales en su educación.

- Dichos sistemas pueden tener una red de comunicaciones por medio de dispositivos móviles o vía radio que permite el intercambio de información entre las comunidades y los entes de control sobre aspectos de carácter legal o social o hidrometeorológicos.
- Estos sistemas tienen costos reducidos, ya que este se puede implementar de manera simple (Silva Pereda, J. 2021).

Dentro de los conceptos básicos, se definen a continuación:

Principalmente, **las precipitaciones** que permiten enfocar el inicio de la problemática de la zona se definen como un fenómeno meteorológico que consiste en la caída de agua, en forma de lluvia, nieve o granizo, sobre la superficie terrestre. Estas pueden tener variables considerables en su cantidad y frecuencia por distintos factores como la latitud, la altitud, la presión atmosférica, la temperatura y la humedad. **Las crecidas** que en general son un fenómeno de ocurrencia de caudales que pueden ser grandes. Cuando las precipitaciones son muy intensas pueden provocar crecidas en pequeñas cuencas; sin embargo, las que tienen mejor intensidad pero que tienen alta duración también pueden causar crecidas en grandes cuencas (Estas son de extremo interés para el estudio). Estas crecidas han existido desde el principio de los tiempos. Por otra parte el impacto de estas en las comunidades se ve relacionado al deterioro ambiental y demás variaciones naturales de los cuerpos de agua (Ocampo, et al, 2013).

El riesgo se puede definir como las pérdidas significativas que se dan por una amenaza determinada en un periodo específico, este puede ser medido según la pérdida económica, los daños físicos o el número de vidas perdidas. La comunidad que atraviesa por esta situación, entra en un estado de vulnerabilidad se puede definir como una incapacidad o debilidad, que se produce por un efecto de un cambio en su espacio y esto le hace crear una incapacidad para adaptarse a un cambio. (Salvador, E, 2017).

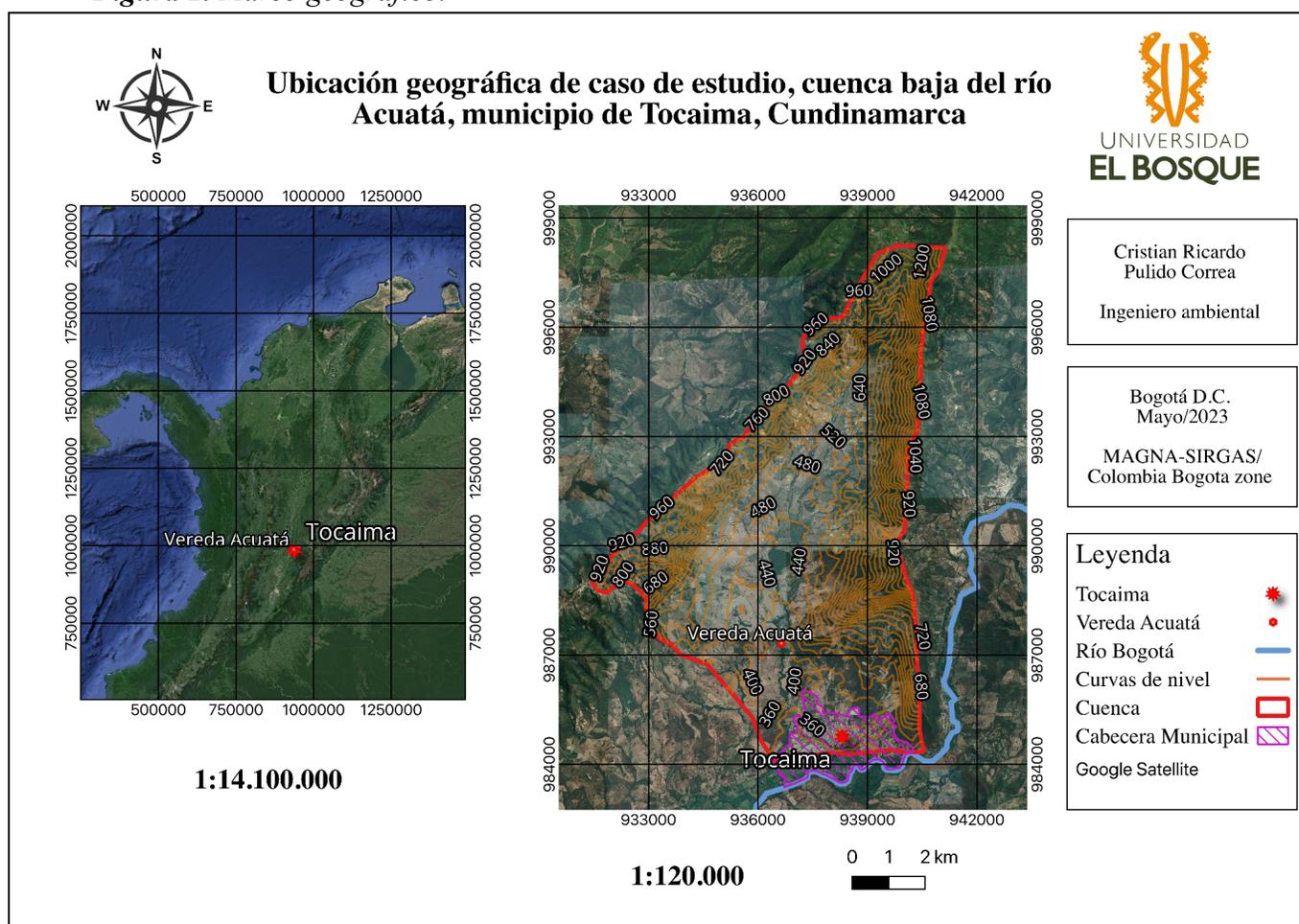
El **monitoreo hidrometeorológico** que consiste en la recopilación y análisis de datos sobre variables hidrológicas y meteorológicas relevantes para la predicción de inundaciones, como la precipitación, el caudal de ríos y la altura de las cuencas; así mismo, los **modelos hidrológicos**, que son herramientas matemáticas que permiten simular el comportamiento de los sistemas hidrológicos, como la interacción entre la lluvia, el suelo y los cuerpos de agua, y estimar el riesgo de inundaciones (Linsley, R, et al, 1992).

En un sistema de alerta temprana (SAT) de inundaciones, **el sistema de comunicación** se usa para asegurar que la información generada sea transmitida a las personas interesadas e involucradas en el plan. Es decir que, en caso de que se detecte un evento de inundación inminente, el centro de monitoreo enviará alertas y recomendaciones a las autoridades locales y regionales, así como a los medios de comunicación y la población en general. La información se puede transmitir mediante diferentes medios, como vía radio, mensajes de texto, correos electrónicos o televisión, y notificaciones a través de aplicaciones móviles. Relacionado a esto, es importante el conocimiento e implementación de un **plan de contingencia**, al ser una herramienta fundamental para la gestión del riesgo, ya que este permite anticiparse a los posibles escenarios de emergencia presente y establecer un conjunto de medidas y acciones que deben ser tomadas en caso de que se produzcan. El plan de contingencia debe ser elaborado con la participación de todas las entidades involucradas en la gestión del riesgo, incluyendo las autoridades locales, los organismos de socorro, la población afectada y otros actores relevantes (Molina-Giraldo, et al, 2020)

6.4. Marco geográfico

El municipio de Tocaima está ubicado en la cuenca baja del río Bogotá, en la provincia del alto Magdalena, se encuentra a 400 m.s.n.m. con aproximadamente 13.000 habitantes, y una superficie de 246 kilómetros cuadrados está entre dos montañas llamadas el cerro Guacana y el cerro Pan de Azúcar dejando a la mayoría del municipio en un valle, este tiende a recoger las precipitaciones de todas estas cuencas, por lo que al final de la cuenca de la quebrada Acuatá el caudal es mayor, sin embargo la cabecera municipal se encuentra a 400 metros sobre el nivel del mar, a diferencia de la desembocadura de la quebrada Acuatá la cual llega a estar a una altura de 339 metros sobre el nivel del mar (Contáctenos Tocaima Cundinamarca, s. f.).

Figura 2. Marco geográfico.



Tocaima se reconoce como un municipio de producción agropecuaria, en donde más del 50% de los ingresos se debe a este sector y en segundo lugar tenemos al turismo, por sus aguas termales, con temperaturas entre los 27 a 32 grados Celsius, en donde encontramos aguas azufradas, lo cual lo vuelve uno de los atractivos turísticos más importantes de la región (Carranza, 1941).

6.5 Marco normativo

En Colombia la normatividad que existe para los sistemas de alerta temprana por inundaciones se define en ámbitos como las políticas, planes, programas, y normas técnicas con las cuales se puede gestionar las acciones que se deben realizar para poder mitigar los desastres generados por los fenómenos naturales como las inundaciones.

6.5.1 Normatividad internacional

Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030

Por el cual se genera el marco global para la reducción del riesgo de desastres, en donde está incluido la gestión y prevención de inundaciones (Ocampo, M., Santa Catarina, C, 2019).

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas

En los ODS podemos encontrar algunos como el ODS 11 en donde se intenta generar ciudades y comunidades sostenibles en donde puede incluir la gestión de riesgos y desastres; por otro lado, tenemos el ODS 13 por el cual se intenta generar una acción por el clima con el cual se busca fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptarse frente a desastres relacionados con el cambio climático, como lo son los fenómenos naturales. (Perea Hinestroza, L. M, 2019).

Acuerdo de París sobre el Cambio Climático

En donde se generó un compromiso de los países que forman parte para poder tomar medidas de mitigación ante el cambio climático y sus efectos los cuales incluyen la gestión de riesgo y eventos hidrológicos como las inundaciones (Hernández, S. M, 2020).

Directrices de Hyogo para la Reducción del Riesgo de Desastres 2005-2015

En estas directrices se contemplan los principios y prácticas necesarias para la reducción del riesgo por desastres de fenómenos naturales a nivel internacional (Hardy-Casado, V., Cuevas-Muñiz, A., & Gallardo-Milanés, O, 2019).

Acuerdo Internacional sobre Gestión del Agua y Riesgo de Inundación

Es el marco de cooperación internacional el cual aborda la gestión del agua y los riesgos que se generan por las inundaciones en un ámbito global (Cullmann, J, 2019).

6.5.2 Normatividad nacional

Constitución Política de Colombia (1991):

En donde se muestra el Artículo 79 el cual “Establece el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano y la obligación del Estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente, incluyendo la prevención y control de desastres naturales” (Constitución Política de Colombia, B, 2020).

Ley 1523 de 2012 - Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD):

En el cual se establecen los principios, políticas, estructuras, competencias y procedimientos para la gestión del riesgo de desastres en Colombia (ley 1523, 2012).

Ley 99 de 1993 - Ley General Ambiental:

Ley la cual muestra el Artículo 18 que explica cómo “Establecer los mecanismos para la prevención y control de la contaminación y los desastres ambientales” (ley 99, 1993).

Ley 388 de 1997 - Ley de Ordenamiento Territorial

En esta ley encontramos el Artículo 9, el cual “Regula la planificación y gestión del territorio” (ley 388, 1997).

Decreto 2811 De 1974

Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Decreto 2811, 1974).

Norma Técnica Colombiana NTC 1500 - Gestión del Riesgo: Fundamentos y Vocabulario

En esta norma se establecen los conceptos y términos básicos los cuales se relacionan con la gestión del riesgo (Peñaranda, V., & Esleydy, Y, 2019).

Resolución 365 de 2010 - Plan Nacional de Contingencia para la Atención de Emergencias por Desastres Naturales

En donde se establecen las acciones y procedimientos para la atención de emergencias por desastres naturales (Resolución 365, 2010).

Ley 2048 del 2020 - Entidades del sector ambiental

En donde se gestionan todos los recursos de la asignación especial del Sistema General de Participaciones para los municipios ribereños del río Magdalena (Ley 2048, 2020).

6.6 Marco institucional

Para el marco institucional, no solo se contempla la Universidad El Bosque como el medio de presentación de este proyecto, sino también todas aquellas entidades y autoridades cuyos objetivos sean afines con el tema de investigación, entre ellas se encuentran varias partes relacionadas, desde las gubernamentales y municipales, hasta algunas internacionales según la UN por medio de la *Red Internacional de Sistemas de Alerta Temprana Multirriesgos (IN-MHEWS)*.

6.6.1 Universidad El Bosque

Al realizar el proyecto como cumplimiento de requisito para optar por el título de ingeniero ambiental, se asegura que el trabajo realizado esté respaldado por los conocimientos y habilidades adquiridos durante la formación académica.

- Aplicación práctica de los conocimientos: Se presenta una oportunidad para aplicar de manera práctica los conocimientos teóricos y técnicos adquiridos durante el programa de estudios en ingeniería ambiental. Al trabajar en una problemática real como lo son las inundaciones por

desbordamiento de la cuenca baja del río Acuatá, se demuestra la capacidad de los estudiantes para abordar y proponer soluciones a desafíos ambientales complejos.

- **Contribución al desarrollo de la disciplina:** Contribuye al avance y desarrollo de la ingeniería ambiental como disciplina. Los resultados obtenidos y las soluciones propuestas pueden servir como base para futuras investigaciones y proyectos en el área de la gestión del riesgo por inundaciones. Además, al compartir los hallazgos y experiencias del proyecto, se promueve la divulgación y difusión del conocimiento generado.
- **Vinculación con la comunidad académica y local:** La participación de la Universidad El Bosque en el proyecto fortalece la relación entre la institución educativa y la comunidad local, en este caso, el municipio de Tocaima. Esta vinculación permite identificar las necesidades y particularidades del entorno, asegurando que las soluciones propuestas sean pertinentes y contextualizadas. Además, la universidad puede a futuro permitir que los estudiantes del programa se integren a municipios como este dentro de las salidas de campo semestrales o una salida técnica en específico que quisiera realizar alguno de los semilleros en cuestión.



Figura 3. Universidad El Bosque.

Nota: Universidad El Bosque, 2023.

6.6.2 Alcaldía Municipal de Tocaima

Empezando desde lo micro a lo macro, la Alcaldía Municipal de Tocaima se convierte en la entidad principal sobre la cual se espera entregar el presente proyecto; dicho que, dentro de la planificación del municipio, los riesgos son uno de los ejes más importantes, permitiendo que resultados como los que se obtuvieron permitan generar conocimiento y aporten a la toma de decisiones. Dentro de los aspectos más importantes de la Alcaldía en relación con el proyecto, se encuentran los siguientes.

- **Coordinación local:** La Alcaldía de Tocaima es la autoridad local responsable de la administración y gobierno del municipio. Su participación en el proyecto permite una coordinación efectiva a nivel local, asegurando que todas las acciones estén alineadas con las necesidades y características específicas del municipio. Esta puede facilitar la comunicación y colaboración entre diferentes actores locales, lo que es crucial para el éxito de la implementación del sistema de alerta temprana.
- **Recursos y apoyo financiero:** La Alcaldía de Tocaima tiene la capacidad de asignar recursos financieros para proyectos locales. Su inclusión en el marco institucional del proyecto puede

facilitar el acceso a recursos económicos necesarios para el desarrollo e implementación del sistema de alerta temprana. Además, la Alcaldía puede buscar apoyo financiero a través de programas de financiamiento gubernamentales o colaboración con otras entidades.

- Marco normativo y político: La Alcaldía tiene la responsabilidad de cumplir y aplicar las normativas y políticas locales en relación con la gestión del riesgo de desastres y la planificación territorial. Su participación en el proyecto garantiza que la implementación del sistema de alerta temprana esté alineada con los marcos normativos y políticos vigentes en el municipio. Además, la Alcaldía puede integrar el sistema propuesto en los planes de contingencia y ordenamiento territorial local.
- Acceso a información y expertos locales: La Alcaldía de Tocaima tiene acceso a información y expertos locales que pueden ser fundamentales para el desarrollo del sistema de alerta temprana. La Alcaldía puede proporcionar datos locales relevantes, conocimientos sobre las características específicas de la cuenca del río Acuatá y la realidad socioeconómica del municipio. Además, la Alcaldía puede involucrar a expertos locales en la implementación del sistema, lo que enriquece el enfoque con conocimientos y experiencia a nivel local.



Figura 4. Alcaldía de Tocaima.
Nota: Alcaldía de Tocaima, 2022.

6.6.3 Gobernación de Cundinamarca

Coordinación regional: La Gobernación de Cundinamarca tiene la capacidad de coordinar y articular esfuerzos entre los diferentes municipios y entidades gubernamentales dentro del departamento. En el contexto de la propuesta de un sistema de alerta temprana, la Gobernación puede facilitar la comunicación y colaboración entre Tocaima y otras localidades cercanas que también puedan verse afectadas por inundaciones en la cuenca del río Acuatá.

Recursos y apoyo financiero: La Gobernación de Cundinamarca cuenta con recursos y programas de financiamiento para proyectos de desarrollo en el departamento. Incluir a la Gobernación en el marco institucional del proyecto permitiría explorar oportunidades de financiamiento y buscar apoyo económico para la implementación del sistema de alerta temprana en Tocaima.

Marco normativo y político: La Gobernación tiene competencias en materia de gestión del riesgo de desastres y planificación territorial. Su participación en el proyecto podría ayudar a garantizar el cumplimiento de la normativa y la incorporación del sistema de alerta temprana en los planes de contingencia y ordenamiento territorial de la región.

Acceso a información y expertos: La Gobernación de Cundinamarca tiene acceso a información relevante sobre la gestión del riesgo de desastres y cuenta con expertos en el tema. Su participación en el proyecto podría contribuir al intercambio de conocimientos, asesoramiento técnico y la disponibilidad de datos necesarios para desarrollar un sistema de alerta temprana eficiente y preciso en la cuenca baja del río Acuatá.



Figura 5. *Gobernación de Cundinamarca.*

Nota: Gobernación de Cundinamarca, 2020.

6.6.4 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MINAMBIENTE)

Políticas y regulaciones ambientales: Es la entidad responsable de formular y promover políticas y regulaciones relacionadas con el medio ambiente y el desarrollo sostenible en Colombia. Su participación en el proyecto garantiza que la implementación del sistema de alerta temprana cumpla con las normativas ambientales vigentes y se alinee con las políticas nacionales de gestión del riesgo de desastres. El MINAMBIENTE puede brindar directrices y orientación para asegurar que el sistema propuesto cumpla con los estándares ambientales y contribuya al desarrollo sostenible.

Evaluación y gestión de impactos ambientales: El MINAMBIENTE cuenta con experiencia en la evaluación y gestión de impactos ambientales de proyectos y actividades. Su inclusión en el marco institucional del proyecto permite evaluar los posibles impactos ambientales del sistema de alerta temprana propuesto, así como identificar medidas de mitigación y compensación. El MINAMBIENTE puede proporcionar lineamientos para minimizar los impactos negativos en el entorno natural y promover la conservación de los recursos naturales durante la implementación y operación del sistema.

Coordinación interinstitucional y cooperación internacional: El MINAMBIENTE tiene un papel clave en la coordinación y cooperación interinstitucional en asuntos ambientales a nivel nacional e internacional. Su participación en el proyecto facilita la colaboración con otras entidades gubernamentales, como la Alcaldía de Tocaima, la Gobernación de Cundinamarca y la UNGRD, así como la cooperación con organismos internacionales especializados en gestión del riesgo de desastres y medio ambiente. Esta coordinación fortalece la implementación del sistema de alerta temprana y promueve buenas prácticas en la gestión ambiental.

Promoción de la sostenibilidad y la educación ambiental: El MINAMBIENTE promueve la sostenibilidad y la educación ambiental como pilares fundamentales para el desarrollo sostenible. Su inclusión en el proyecto permite integrar enfoques educativos y de sensibilización ambiental en la implementación del sistema de alerta temprana. El MINAMBIENTE puede contribuir en la difusión de información, la capacitación y la concientización sobre la importancia de la gestión del riesgo de inundaciones y la conservación del medio ambiente en la cuenca baja del río Acuatá.



Figura 6. *Minambiente.*

Nota: Gobierno de Colombia, 2022.

6.6.5 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

Experiencia en hidrología y meteorología: El IDEAM es la entidad encargada de la generación de información hidrológica y meteorológica en Colombia. Su participación en el proyecto aporta conocimientos especializados en el monitoreo y análisis de las condiciones hidrometeorológicas relevantes para la predicción de inundaciones. El IDEAM puede proporcionar datos actualizados, pronósticos y análisis de riesgos asociados a las precipitaciones y caudales de la cuenca del río Acuatá.

Pronósticos y alertas tempranas: El IDEAM cuenta con la capacidad de generar pronósticos y alertas tempranas para fenómenos hidrometeorológicos, incluyendo inundaciones. Su inclusión en el marco institucional del proyecto permite aprovechar los sistemas y herramientas desarrolladas por el IDEAM para mejorar la precisión y oportunidad de las alertas tempranas en la cuenca baja del río Acuatá. Esto contribuye a una respuesta más efectiva ante eventos de inundaciones y ayuda a reducir los riesgos asociados.

Coordinación y colaboración interinstitucional: El IDEAM trabaja en estrecha colaboración con otras entidades gubernamentales y organismos relacionados con la gestión del riesgo de desastres y el medio ambiente. Su participación en el proyecto facilita la coordinación interinstitucional, permitiendo el intercambio de información y conocimientos con otras entidades involucradas, como la Alcaldía de Tocaima, la Gobernación de Cundinamarca y la UNGRD. Esta colaboración fortalece la implementación del sistema de alerta temprana y promueve una respuesta integral frente a las inundaciones.

Evaluación de riesgos y recomendaciones técnicas: El IDEAM puede realizar evaluaciones de riesgos hidrometeorológicos en la cuenca baja del río Acuatá, lo cual es fundamental para diseñar e implementar un sistema de alerta temprana efectivo. El IDEAM puede brindar recomendaciones técnicas basadas en análisis científicos para la optimización del sistema, considerando factores como la topografía, los patrones de precipitación, los caudales y otros datos hidrológicos relevantes. Estas recomendaciones contribuyen a mejorar la precisión y confiabilidad del sistema de alerta temprana.



Figura 7. *IDEAM.*

Nota: IDEAM, 2022.

6.6.6 Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD)

Coordinación a nivel nacional: La UNGRD es la entidad gubernamental encargada de la gestión del riesgo de desastres a nivel nacional en Colombia. Su participación en el proyecto permitiría una coordinación efectiva a nivel nacional, asegurando la alineación con las políticas y directrices establecidas a nivel nacional para la gestión del riesgo. La UNGRD puede facilitar la comunicación y la colaboración entre diferentes entidades y actores a nivel nacional.

Recursos y apoyo financiero: La UNGRD cuenta con recursos financieros y programas de financiamiento para proyectos de gestión del riesgo de desastres. Incluir a la UNGRD en el marco institucional del proyecto podría proporcionar oportunidades para acceder a fondos financieros necesarios para el desarrollo e implementación del sistema de alerta temprana. Además, la UNGRD puede brindar asesoramiento y apoyo técnico en la planificación y ejecución del proyecto.

Marco normativo y político: La UNGRD tiene competencias en la formulación y aplicación de políticas y regulaciones relacionadas con la gestión del riesgo de desastres. Su participación en el proyecto garantiza que la implementación del sistema de alerta temprana cumpla con los marcos normativos y políticos establecidos a nivel nacional. La UNGRD puede proporcionar orientación sobre las regulaciones y políticas que deben considerarse en el diseño y funcionamiento del sistema.

Acceso a información y expertos: La UNGRD tiene acceso a información actualizada y expertos en gestión del riesgo de desastres. Su participación en el proyecto podría facilitar el intercambio de conocimientos y datos relevantes para el diseño y la implementación del sistema de alerta temprana. La UNGRD puede brindar información técnica, análisis de riesgos y pronósticos relacionados con las inundaciones en la región, lo cual es crucial para la eficacia y precisión del sistema propuesto.



Figura 8. UNGRD.

Nota: UNGRD, 2023.

6.6.7 Corporación Autónoma Regional

Gestión de recursos naturales y medio ambiente: La CAR tiene la responsabilidad de gestionar los recursos naturales y el medio ambiente en su jurisdicción. Su participación en el proyecto permite evaluar el impacto ambiental del sistema de alerta temprana propuesto y brindar orientación en términos de sostenibilidad y conservación. La CAR puede proporcionar recomendaciones sobre cómo minimizar los posibles impactos negativos del sistema en el entorno natural.

Cumplimiento normativo y político: La CAR está encargada de hacer cumplir las normativas y políticas relacionadas con la conservación del medio ambiente y el uso sostenible de los recursos naturales. Su participación en el proyecto garantiza que la implementación del sistema de alerta temprana cumpla con

los marcos normativos y políticos establecidos por la entidad. La CAR puede proporcionar directrices sobre el cumplimiento ambiental y la incorporación de consideraciones ecológicas en el diseño y la operación del sistema.

Experiencia y conocimiento local: La CAR cuenta con experiencia y conocimiento local sobre la cuenca baja del río Acuatá y su ecosistema circundante. Su participación en el proyecto permite incorporar datos y análisis relevantes sobre la cuenca, la hidrología y otros aspectos ambientales específicos de la región. La CAR puede colaborar en la identificación de áreas de alto riesgo, evaluar la vulnerabilidad ambiental y proporcionar información científica para mejorar la efectividad del sistema de alerta temprana.

Coordinación interinstitucional: La CAR puede desempeñar un papel importante en la coordinación con otras entidades y actores relevantes en la gestión del riesgo de inundaciones. Su participación facilita la colaboración y la sinergia con otras instituciones gubernamentales y organizaciones locales. La CAR puede ayudar a establecer mecanismos de coordinación para la recopilación y el intercambio de información, la definición de responsabilidades y la toma de decisiones conjuntas en situaciones de alerta y respuesta a inundaciones.



Figura 9. CAR.
Nota. CAR, 2022.

7. Metodología

Dentro de lo propuesto, se plantea la metodología del presente proyecto en forma de diagrama. La metodología utilizada en este proyecto se dividió en tres fases principales, cada una alineada con uno de los objetivos específicos. El primer objetivo consistió en obtener una descripción detallada de los parámetros físicos, geográficos, hidrológicos y ambientales de la cuenca baja de la quebrada Acuatá para establecer una base sólida de conocimiento para el diseño e implementación del Sistema de Alerta Temprana (S.A.T).

Para lograr esto, se siguieron los siguientes métodos:

- **Recopilación de Datos:** Se recopilaron datos primarios y se analizaron datos secundarios relevantes.
- **Procesamiento y Análisis de Datos:** Los datos recopilados fueron procesados y analizados.

- **Interpretación de Resultados:** Se interpretaron los resultados, utilizando técnicas de observación directa y mediciones in situ, lo que incluyó salidas técnicas para obtener información actualizada que solo se puede obtener en el campo.

Una vez obtenida esta base de datos, se procedió a desarrollar una propuesta completa y detallada para el diseño e implementación del S.A.T específicamente para la cuenca baja de la quebrada Acuatá. Esto incluyó la identificación de componentes necesarios, la selección de puntos de monitoreo, la determinación de parámetros y umbrales, el diseño del sistema de comunicación y la planificación de las etapas de implementación.

El segundo objetivo se centró en el análisis, diseño y planificación del SAT Para lograr esto, se utilizaron técnicas de análisis y diseño de sistemas, con un enfoque claro en la investigación aplicada a la guía base planteada.

Finalmente, el tercer objetivo se enfocó en establecer una guía base completa y práctica para la implementación y operación del S.A.T en la vereda Acuatá. Esta guía incluye descripciones del S.A.T. propuesto, procedimientos operativos, guía de instalación y mantenimiento, procesamiento y análisis de datos, comunicación de alertas, capacitación y sensibilización del personal y la comunidad. Esta guía servirá como referencia para garantizar la efectividad y el correcto funcionamiento del sistema de alerta temprana en la vereda Acuatá, municipio de Tocaima, Cundinamarca.

Para llevar a cabo esta tercera fase, se siguió una metodología basada en la investigación documental con una revisión sistemática de literatura relevante y el análisis de la base de datos desarrollada durante el proyecto. Se tomaron como referencia sistemas de alerta temprana existentes para determinar las mejores prácticas aplicables a esta propuesta.

Adicionalmente, se estableció un sistema de medición de precipitación con un pluviómetro convencional, que se incluirá en la guía base junto con las cotizaciones de los implementos necesarios a la fecha de entrega del proyecto. La guía base se diseñó visualmente atractiva en ArcGIS Experience Builder para que sea accesible tanto para expertos en el tema como para personas con menos conocimientos, podemos observar la metodología en el formato de tabla con todos sus componentes en la tabla 1.

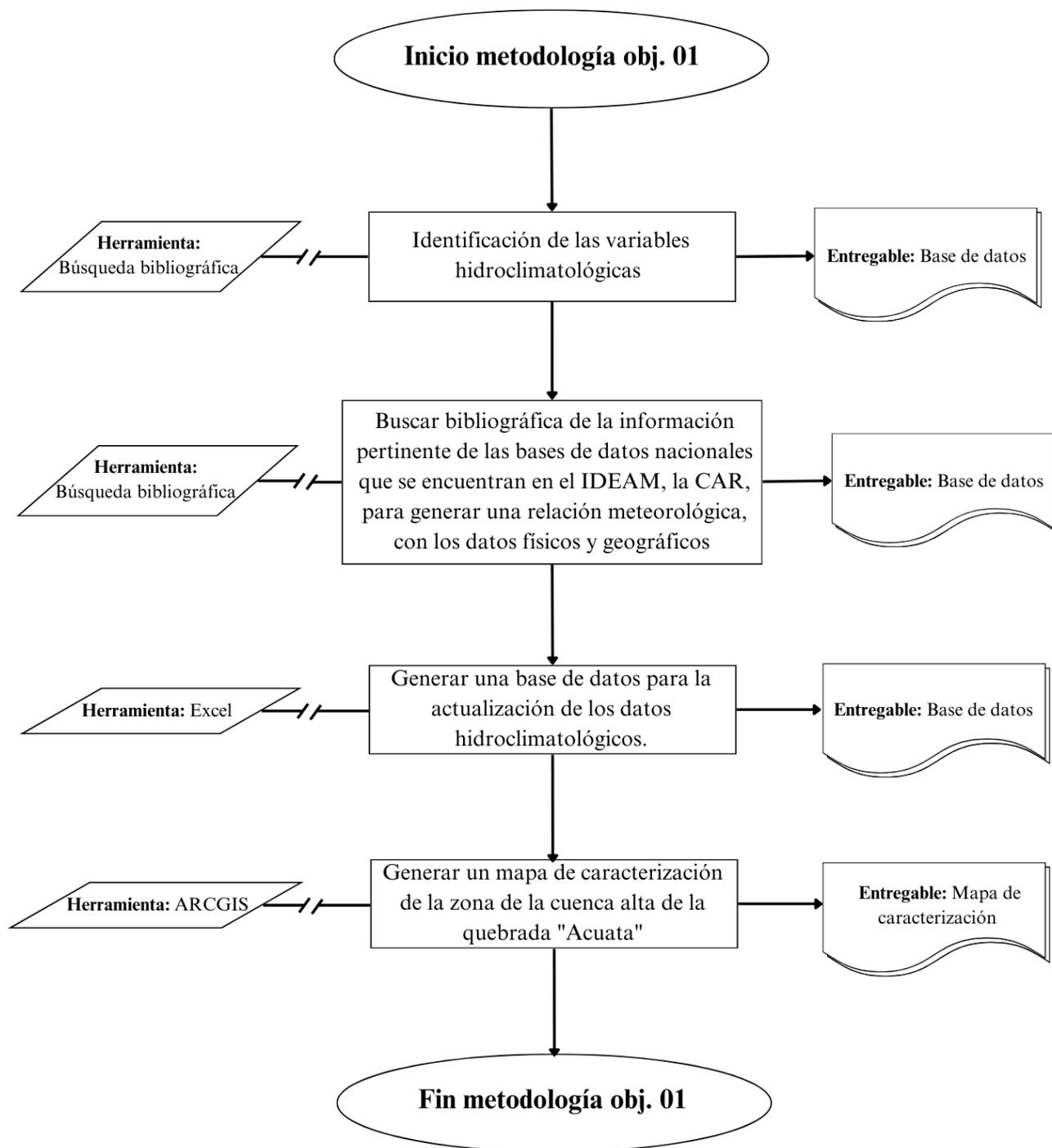
Tabla 1. Metodología en formato tabla.

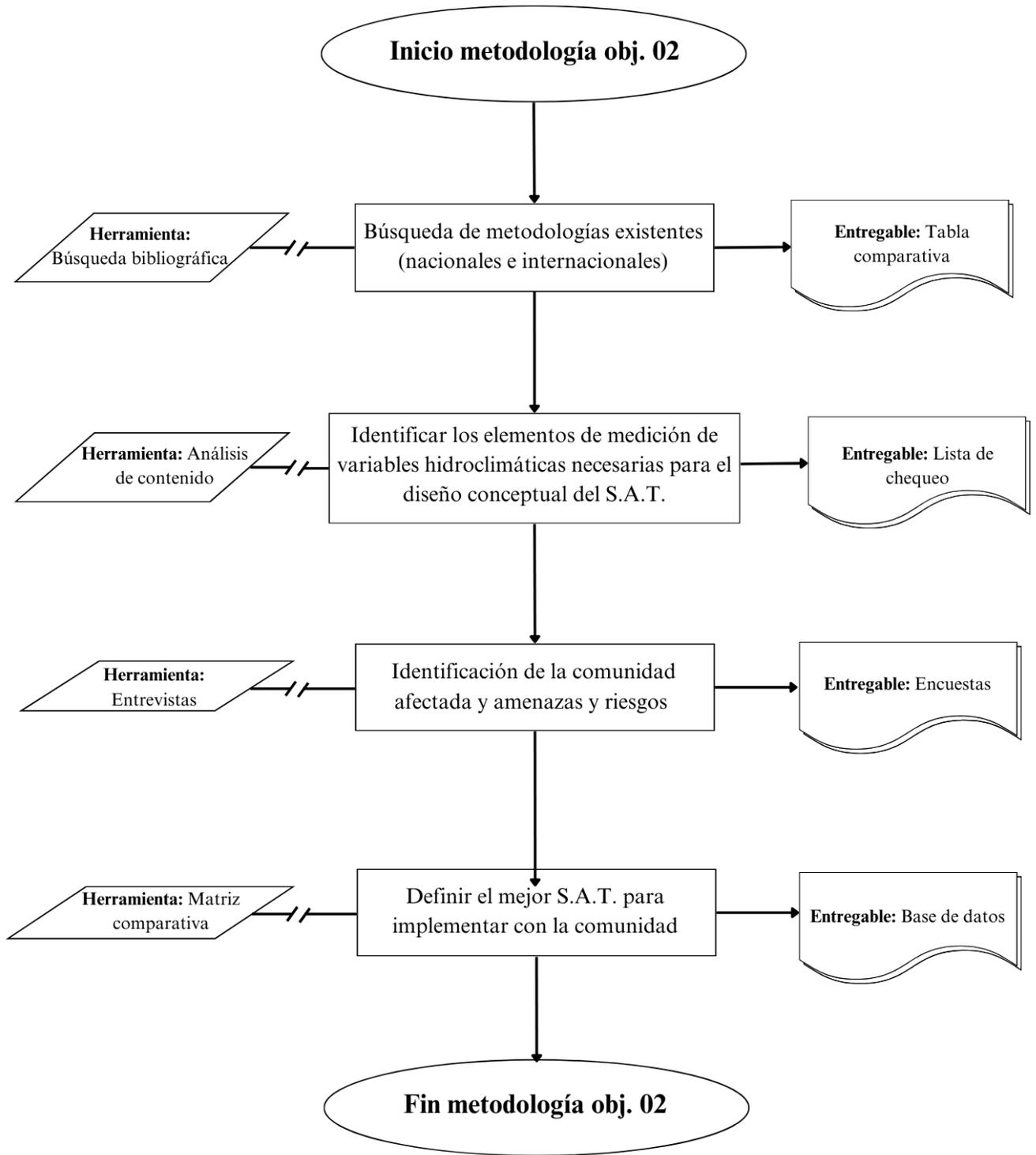
Propuesta de un sistema de alerta temprana para la cuenca baja de la vereda Acuatá en el municipio de Tocaima, Cundinamarca									
Objetivo general	Generar una propuesta de un Sistema de alerta Temprana (S.A.T.) para la cuenca alta de la quebrada “Acuatá” (Tocaima, Cundinamarca)								
Objetivos específicos	Actividades	Herramientas	Entregables	Alcance	Tipo de método	Tipo de metodología	Tipo de Enfoque	Tipo de investigación	Tipo de técnica
Caracterizar la zona de estudio con los parámetros físicos, geográficos e hidrológicos	Identificación de las variables hidroclimatológicas	Búsqueda bibliográfica	Base de datos	Obtener una descripción detallada de los parámetros físicos, geográficos, hidrológicos y ambientales de la cuenca baja de la quebrada Acuatá en el municipio de Tocaima, Cundinamarca, con el fin de tener una base sólida de conocimiento para el diseño y la implementación del sistema de alerta temprana.	1. Recopilación de datos primarios 2. Análisis de datos secundarios 3. Procesamiento y análisis de datos 4. Interpretación de resultados	Metodología descriptiva: Se utiliza para recopilar datos primarios y secundarios sobre los parámetros físicos, geográficos, hidrológicos y ambientales de la zona de estudio. La recopilación de datos proporciona una descripción detallada de las características de la cuenca baja de la quebrada Acuatá y su entorno.	Enfoque descriptivo.	Investigación descriptiva.	Observación directa y mediciones in situ.
	Buscar información pertinente en las bases de datos nacionales que se encuentran en el IDEAM, la CAR entre otras, para generar una relación meteorológica, con los datos físicos y geográficos	Búsqueda bibliográfica	Base de datos						
	Generar una base de datos actualizada que contenga la información hidroclimatológica de la zona de estudio.	Excel	Base de datos						
	Generar un mapa de caracterización de la zona de la cuenca alta de la quebrada "Acuatá"	QGIS	Mapa de caracterización						

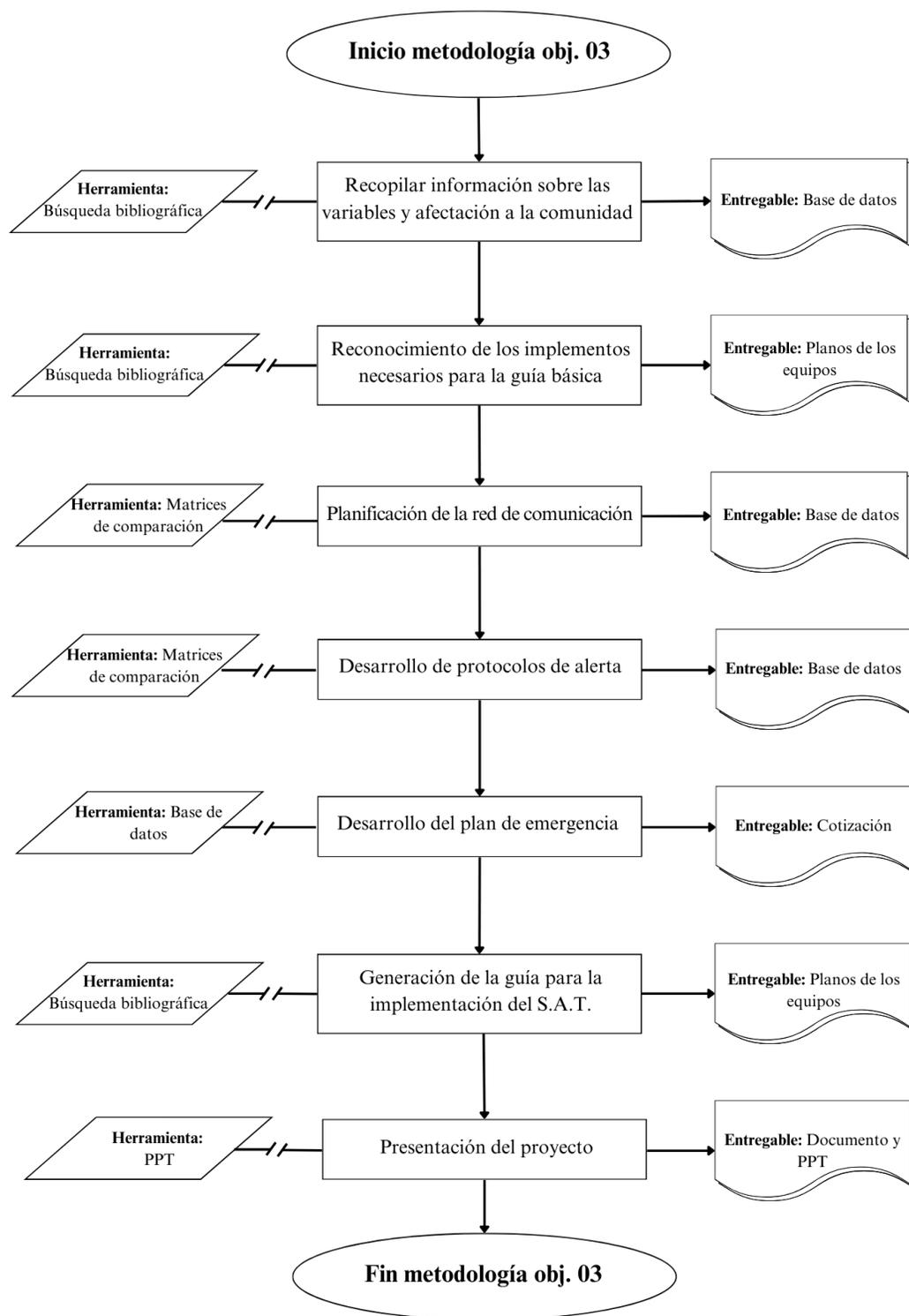
						técnicas específicas para analizar los datos y extraer conclusiones significativas sobre la zona de estudio.			
Definir el diseño y las etapas del sistema de alerta temprana (S.A.T.) a implementar	Búsqueda de metodologías existentes (nacionales e internacionales)	Búsqueda bibliográfica	Tabla comparativa	Desarrollar una propuesta completa y detallada para el diseño e implementación de un Sistema de Alerta Temprana específico para la cuenca baja de la quebrada Acuatá en el municipio de Tocaima, Cundinamarca. Esto incluye la identificación de componentes, la selección de puntos de monitoreo, la determinación de parámetros, el establecimiento de umbrales, el diseño del sistema de comunicación y la planificación de las etapas de implementación.	1. Análisis de requerimientos 2. Diseño conceptual 3. Diseño técnico 4. Planificación de etapas de implementación	<p>Metodología de diseño: Se utilizará para desarrollar el diseño conceptual y técnico del sistema de alerta temprana. Esto implica la aplicación de principios de ingeniería, gestión de riesgos y tecnología para definir los componentes y flujos de información del sistema.</p> <p>Metodología de implementación: Se utilizará para planificar y ejecutar las etapas de implementación del sistema de alerta temprana. Esta metodología incluirá la adquisición de equipos, la instalación de estaciones de monitoreo, la capacitación del personal y las pruebas de funcionamiento del sistema</p>	Enfoque de diseño.	Investigación aplicada.	Análisis y diseño de sistemas.
	Identificar los elementos de medición de variables hidrológicas necesarias para el diseño conceptual del S.A.T.	Análisis de contenido	Lista de chequeo						
	Identificación de la comunidad afectada y amenazas y riesgos	Entrevistas	Encuestas						
	Definir el mejor S.A.T. para implementar con la comunidad	Matriz comparativa	Base de datos						
Establecer una guía	Recopilar información sobre las variables y	Búsqueda bibliográfica	Base de datos	Establecer una guía base	1. Revisión de literatura	Metodología documental: Se	Enfoque de desarrollo.	Investigación	Revisión sistemática

base de un sistema de alerta temprana (S.A.T.) para el municipio de Tocaima Cundinamarca.	afectación a la comunidad			completa y práctica para la implementación y operación del Sistema de Alerta Temprana en la vereda Acuatá. Esto incluye la descripción del S.A.T. propuesto, los procedimientos operativos, la guía de instalación y mantenimiento, el procesamiento y análisis de datos, la comunicación de alertas y la capacitación y sensibilización del personal y la comunidad. Esta guía servirá como referencia para garantizar la efectividad y el correcto funcionamiento del sistema de alerta temprana en la vereda Acuatá, municipio de Tocaima, Cundinamarca.	y normativas 2. Análisis de experiencias exitosas 3. Identificación de requerimientos y necesidades locales 4. Elaboración de la guía base	utilizará para realizar la revisión de literatura, normativas y estudios relacionados con los sistemas de alerta temprana y la gestión del riesgo ambiental. Esta metodología permite recopilar información relevante y actualizada que servirá de base para la elaboración de la guía. Metodología participativa: Se utilizará para involucrar a la comunidad y las autoridades locales en el proceso de identificación de requerimientos y necesidades. A través de consultas, entrevistas y talleres participativos, se recogerá información valiosa que contribuirá a la elaboración de una guía adaptada a las características y contextos locales.	documental.	a de literatura.
	Reconocimiento de los implementos necesarios para la guía básica	Búsqueda bibliográfica	Planos de los equipos					
	Planificación de la red de comunicación	Matrices de comparación	Base de datos					
	Desarrollo de protocolos de alerta	Matrices de comparación	Base de datos					
	Desarrollo del plan de emergencia	Base de datos	Cotización					
	Generación de la guía para la implementación del S.A.T.	Experience Builder ArcGIS	Guia Base de un S.A.T.					
	Presentación del proyecto	Power point	Documento y presentación PP					

Gráfica 1. Metodología en formato diagrama.







Fuente: Propia autoría

8. Plan de trabajo

Tabla 2. Cronograma.

Periodo académico:		2023 - 1																						
Nombre del proyecto:		Los desastres no son naturales: estudio de caso de un sistema de alerta temprana para inundaciones en la cuenca baja del río Acuatá, municipio de Tocaima, Cundinamarca.																						
Nombre del estudiante:		Cristian Ricardo Pulido Correa																						
Nombre del director:		Ricardo Antonio Tobón Rojas																						
Nombre del Co-directora:		Liliana Figueroa del Castillo																						
Fecha de inicio:		6 de febrero de 2023																						
Fecha de finalización:		25 de octubre de 2023																						
No.	ACTIVIDADES	Responsable	%	Peso	2023																			
					Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre			
					6	13	10	27	6	20	5	27	3	28	1	24	1	30	5	22	3	25		
1	Identificación de las variables hidroclimáticas	Cristian Ricardo Pulido Correa	5,0																					
	Buscar bibliográfica de la información	Cristian Ricardo Pulido Correa	10,0																					

	<p>pertinente de las bases de datos nacionales que se encuentran en el IDEAM, la CAR, para generar una relación meteorológica, con los datos físicos y geográficos</p>																				
	<p>Generar una base de datos para la actualización de los datos hidrometeorológicos</p>	<p>Cristian Ricardo Pulido Correa</p>	<p>15,0</p>																		
	<p>Generar un mapa de caracterización de la</p>	<p>Cristian Ricardo Pulido Correa</p>	<p>40,0</p>																		

	zona de la cuenca alta de la quebrada "Acuatá"																		
2	Búsqueda de metodologías existentes (nacionales e internacionales)	Cristian Ricardo Pulido Correa	45,0																
	Identificar los elementos de medición de variables hidroclimáticas necesarias.	Cristian Ricardo Pulido Correa	50,0																
	Identificación de la comunidad afectada	Cristian Ricardo Pulido Correa	55,0																
	Definir el mejor S.A.T. para	Cristian Ricardo Pulido Correa	60,0																

	implemen tar con la comunid ad																		
3	Recopila r informac ión sobre las variables y afectació n a la comunid ad	Cristian Ricardo Pulido Correa	65 ,0																
	Reconoc imiento de los impleme ntos necesari os para la guía básica	Cristian Ricardo Pulido Correa	70 ,0																
	Planifica ción de la red de comunic ación	Cristian Ricardo Pulido Correa	75 ,0																
	Desarrol lo de protocol os de alerta	Cristian Ricardo Pulido Correa	80 ,0																

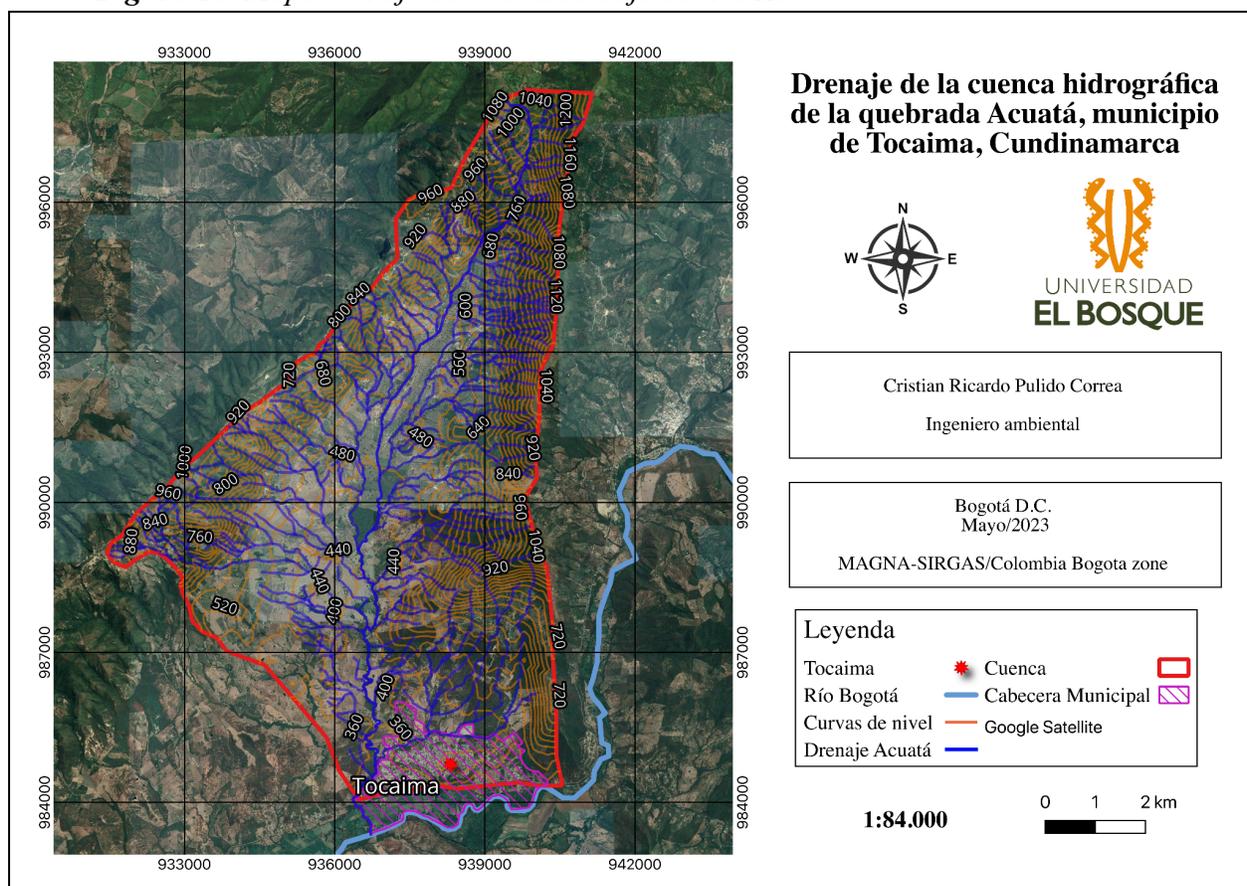
Desarrollo del plan de emergencia	Cristian Ricardo Pulido Correa	85,0																	
Generación de la guía para la implementación del S.A.T.	Cristian Ricardo Pulido Correa	90,0																	
Presentación del proyecto	Cristian Ricardo Pulido Correa	100,0																	

Fuente: Propia autoría

9. Resultados.

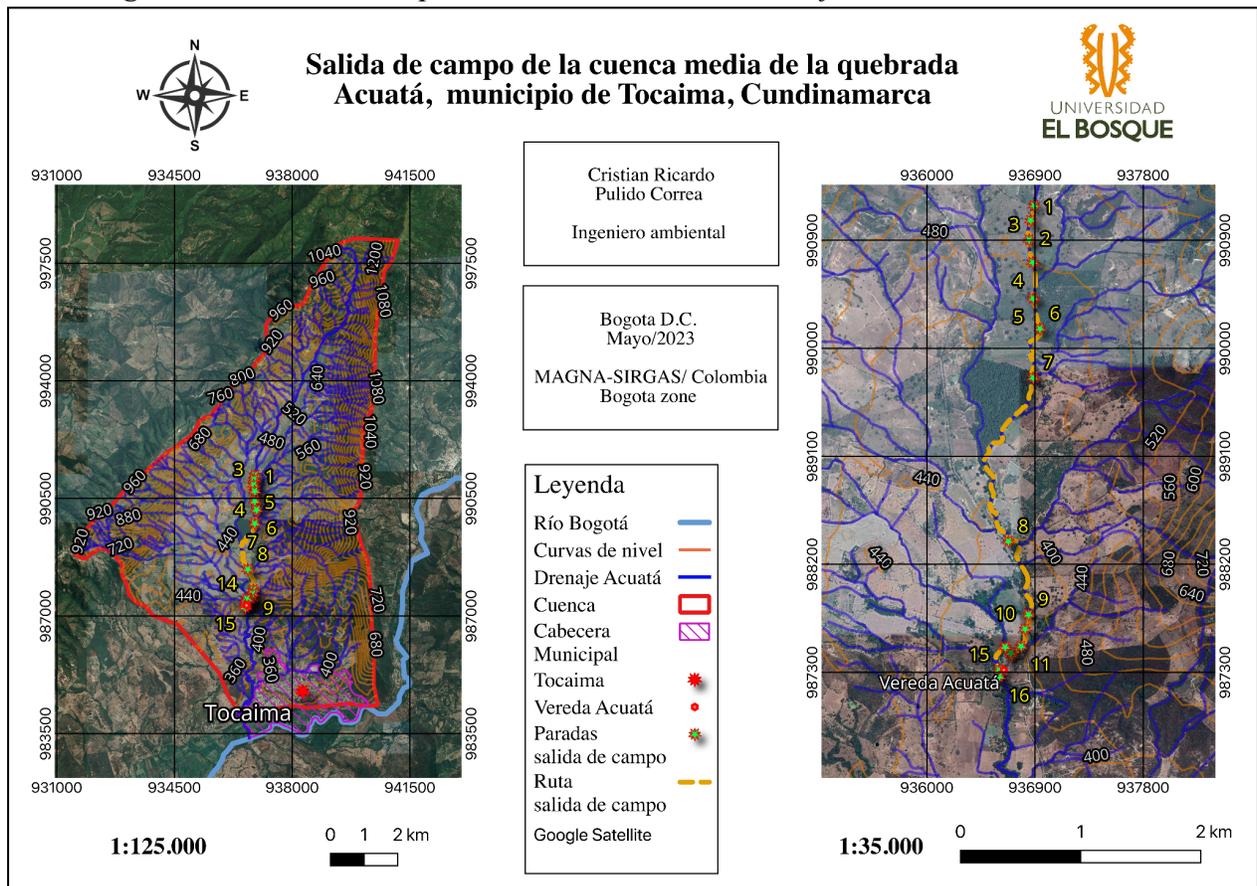
Como resultado de la caracterización de la zona de estudio se obtuvieron los siguientes mapas para el correcto análisis de la geomorfología de la zona, estos mapas son cruciales para identificar las variables que podrían impactar a la comunidad de Tocaima en situaciones de crecientes repentinas. Por ejemplo, en la figura 10 se muestra el mapa del sistema de drenaje de la cuenca baja del río Acuata, proporcionando una visión clave para comprender la dinámica hidrológica y prever posibles riesgos ante eventos extremos.

Figura 10. Mapa drenaje de la cuenca baja del río Acuata.



Asimismo, se obtuvo un mapa de la salida a campo, el cual se realizó con el fin de obtener datos más precisos de la situación a la que se ve afectada la población de la vereda. Se realizaron consultas a la comunidad sobre el cambio del caudal y su perspectiva en las temporadas de lluvias y una poligonal abierta para determinar la trazabilidad, rectificación y características fisiográficas del cauce del río. (Figura 11)

Figura 11. Salida de campo de un tramo de la cuenca baja del río Acuatá.

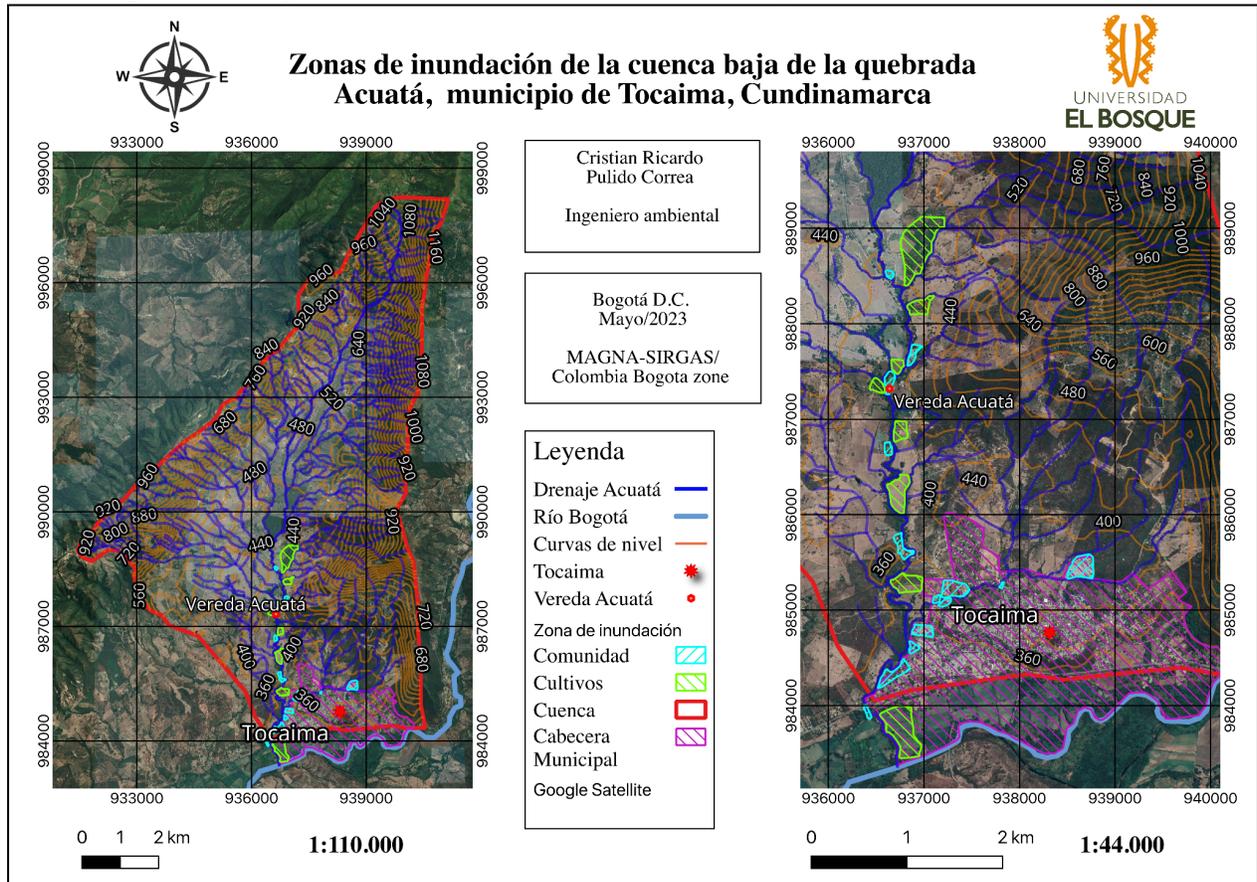


Según los datos obtenidos por la alcaldía municipal de Tocaima y con las entrevistas a los habitantes las cuales podemos observar los resultados en la gráfica 5, en las temporadas de sequías, este efluente llega a tener un caudal en la desembocadura de 5 a 6 m³/s la cual está a 339 m.s.n.m en la ubicación geográfica con coordenadas 4°26'43.42"N 74°38'52.86"O, sin embargo en las temporadas de lluvias el caudal en la desembocadura luego de pasar 3 horas de precipitación, se eleva hasta los 17,4 m³/s, en donde se detalló una diferencia de altitudes desde la cuenca alta hasta la cuenca baja de 859 m.s.n.m. llegando a tener una inclinación pronunciada con la cual junto con el aumento del caudal produce inundaciones de tipo súbito, exponiendo a la población a posibles desbordamientos e inundaciones.

En cualquier caso se determinó las zonas de mayor afectación por la quebrada Acuatá con lo cual se obtuvo el mapa de la figura 12, con el cual se delimitó las zonas de cultivos que se ven inundadas y las zonas de los asentamientos humanos de la población la cual se ve afectada por estas crecientes torrenciales, mucha de esta información fue recolectada del “Estudio De Amenaza, Vulnerabilidad Y Riesgo Por Movimientos En Masa, Inundación, Avenida Torrencial E Incendios Forestales En Los Municipios De Nemocón, Cogua, Tena, San Antonio Del Tequendama Y Tocaima En El Departamento De Cundinamarca” del cual se obtuvieron los

puntos de interés hidráulico los cuales fueron utilizados luego para determinar los puntos de monitoreo del S.A.T.

Figura 12. Mapa zona de inundación de la cuenca baja del río Acuata.



Al momento de seleccionar las amenazas existentes en el municipio se utilizó los sistemas de información geográfica, ahora bien se llevó a cabo un análisis de jerarquía analítica (AHP) (Moreira Franco, L. F. 2021). para determinar la importancia de las amenazas y la funcionalidad que tendrá el S.A.T. para la vereda Acuata y el municipio, a continuación se realizó la tabla 3 la cual es una tabla de comparación, que se completó según la relevancia de cada impacto con su criterio según la población y información encontrada en las bases de datos de la alcaldía municipal de Tocaima (Contactenos Tocaima Cundinamarca. s. f.). , con el fin de continuar con el AHP.

Tabla 3. Criterios de las amenazas.

Amenazas	Criterio			
	Probabilidad de ocurrencia	Alcance geográfico	Capacidad de predicción o detección temprana	Consecuencias socioeconómicas y ambientales
Deslizamientos de tierra	3	2	2	3
Inundaciones	5	5	2	4
Sequías	2	3	3	4
Eventos sísmicos	1	5	1	1

Posteriormente, se procedió a la normalización de los datos, convirtiendo los valores de la tabla de la matriz de comparación de criterios en la matriz de ponderaciones, como se ilustra en la Tabla 4. Este proceso implicó la división de cada uno de los criterios de las amenazas por la suma de las columnas.

Tabla 4. Matriz de comparación de criterios.

Criterio	Criterio			
	Probabilidad de ocurrencia	Alcance geográfico	Capacidad de predicción o detección temprana	Consecuencias socioeconómicas y ambientales
Probabilidad de ocurrencia	1,00	7,00	5,00	0,33
Alcance geográfico	0,14	1,00	0,33	0,11
Capacidad de predicción o detección temprana	0,20	3,00	1,00	0,14
Consecuencias socioeconómicas y ambientales	3,00	9,00	7,00	1,00
Suma :	4,34	20,00	13,33	1,59

Figura 13. Escala de Saaty.

Escala numérica	Escala verbal
1	Ambos criterios o elementos son de igual importancia
3	Débil o moderada importancia uno sobre el otro
5	Importancia esencial o fuerte de un criterio sobre el otro
7	Importancia demostrada de un criterio sobre el otro
9	Importancia absoluta de un criterio sobre el otro
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes que se emplean cuando es necesario un término medio entre las dos intensidades anteriores.
2	Entre igualmente y moderadamente preferible
4	Entre moderadamente y fuertemente preferible
6	Entre fuertemente y muy fuertemente preferible
8	Entre muy fuertemente y extremadamente preferible
Adriana Gómez Villoldo	http://asesordecalidad.blogspot.com

Nota: Contauidorizate, 2023.

En consecuencia se establece las comparaciones para cada criterio en donde se determinó su comparación en términos de importancia relativa frente a otro criterio superior, puesto que se utilizó la escala de Saaty la cual podemos ver en la Figura 13, (Moreira Franco, L. F. 2021).

Tabla 5. Matriz de ponderación.

Criterio	Criterio				Ponderación
	Probabilidad de ocurrencia	Alcance geográfico	Capacidad de predicción o detección temprana	Consecuencias socioeconómicas y ambientales	
Probabilidad de ocurrencia	0,23	0,35	0,38	0,21	0,29
Alcance geográfico	0,03	0,05	0,03	0,07	0,04
Capacidad de predicción o detección temprana	0,05	0,15	0,08	0,09	0,09
Consecuencias socioeconómicas y ambientales	0,69	0,45	0,53	0,63	0,57

En caso de que no se esté seguro de que la ponderación es correcta se realizó la relación de consistencia en donde primero se multiplicó la tabla de los criterios por la ponderación de la matriz de ponderaciones, obteniendo la tabla 6, con esta se podrá obtener el índice de consistencia el cual consta de la fórmula 1, luego se podrá obtener la consistencia aleatoria con la fórmula 2 y finalmente la relación de consistencia con la fórmula 3, si la CR es menor que 0,1 quiere decir que se ha ponderado razonablemente, con lo cual podemos seguir con el análisis.

Tabla 6. Relación de consistencia

Comparación x Ponderación	Índice de consistencia (CI)	Consistencia Aleatoria (RI)	Relación de Consistencia (CR)
1,2	0,090	0,990	0,091
0,2			
0,4			
2,5			
4,3			

$$CI = (n_{max} - n_c) / (n_c - 1)$$

Fórmula 1. Índice de consistencia.

en donde:

CI: Índice de consistencia

n_{max}: la suma de la tabla de relación de consistencia

n_c: la cantidad de criterios

$$RI = 1,98 * (n_c - 2) / n_c$$

Fórmula 2. Consistencia aleatoria.

en donde:

RI: *Consistencia aleatoria.*

n_c: la cantidad de criterios

$$CR = CI / RI$$

Fórmula 3. Relación de consistencia.

en donde:

CR: Relación de consistencia

CI: Índice de consistencia

RI: *Consistencia aleatoria.*

En el siguiente paso se comparó cada una de las amenazas de acuerdo a cada criterio, comparándolos uno a uno en función de cada criterio iniciando por el criterio de Probabilidad de ocurrencia, la cual se obtuvo los resultados en la tabla 7 y 8, luego con el alcance geográfico con la tabla 9 y 10, la capacidad de predicción o detección temprana en la cual observamos los resultados en la tabla 11 y 12 y por último la Consecuencias socioeconómicas y ambientales en donde su resultados están en la tabla 13 y 14.

Tabla 7. Comparación de las amenazas según la probabilidad de ocurrencia.

Amenazas	Amenazas			
	Deslizamientos de tierra	Inundaciones	Sequías	Eventos sísmicos
Deslizamientos de tierra	1,00	0,2	3,00	1,00
Inundaciones	5,00	1,00	7,00	5,00
Sequías	0,33	0,14	1,00	0,33
Eventos sísmicos	1,00	0,20	3,00	1,00
Suma :	7,33	1,542857143	14,00	7,33

Tabla 8. Ponderación de la comparación de las amenazas según la probabilidad de ocurrencia.

Amenazas	Amenazas				Ponderación
	Deslizamientos de tierra	Inundaciones	Sequías	Eventos sísmicos	
Deslizamientos de tierra	0,14	0,13	0,21	0,14	0,15
Inundaciones	0,68	0,65	0,50	0,68	0,63
Sequías	0,05	0,09	0,07	0,05	0,06
Eventos sísmicos	0,14	0,13	0,21	0,14	0,15

Tabla 9. Comparación de las amenazas según el alcance geográfico.

Amenazas	Amenazas			
	Deslizamientos de tierra	Inundaciones	Sequías	Eventos sísmicos
Deslizamientos de tierra	1,00	3	0,20	5,00
Inundaciones	0,33	1,00	0,33	3,00
Sequías	5,00	3,00	1,00	9,00
Eventos sísmicos	0,20	0,33	0,11	1,00
Suma :	6,53	7,333333333	1,64	18,00

Tabla 10. Ponderación de la comparación de las amenazas según el alcance geográfico.

Amenazas	Amenazas	Ponderación
----------	----------	-------------

	Deslizamientos de tierra	Inundaciones	Sequías	Eventos sísmicos	
Deslizamientos de tierra	0,15	0,41	0,12	0,28	0,24
Inundaciones	0,05	0,14	0,20	0,17	0,14
Sequías	0,77	0,41	0,61	0,50	0,57
Eventos sísmicos	0,03	0,05	0,07	0,06	0,05

Tabla 11. Comparación de las amenazas según la capacidad de predicción o detección temprana.

Amenazas	Amenazas			
	Deslizamientos de tierra	Inundaciones	Sequías	Eventos sísmicos
Deslizamientos de tierra	1,00	0,33	3,00	0,20
Inundaciones	3,00	1,00	5,00	0,33
Sequías	0,33	0,20	1,00	0,14
Eventos sísmicos	5,00	3,00	7,00	1,00
Suma :	9,33	4,53	16,00	1,68

Tabla 12. Ponderación de la comparación de las amenazas según la capacidad de predicción o detección temprana.

Amenazas	Amenazas				Ponderación
	Deslizamientos de tierra	Inundaciones	Sequías	Eventos sísmicos	
Deslizamientos de tierra	0,11	0,07	0,19	0,12	0,12
Inundaciones	0,32	0,22	0,31	0,20	0,26
Sequías	0,04	0,04	0,06	0,09	0,06
Eventos sísmicos	0,54	0,66	0,44	0,60	0,56

Tabla 13. Comparación de las amenazas según la probabilidad de ocurrencia.

Amenazas	Amenazas			
	Deslizamientos de tierra	Inundaciones	Sequías	Eventos sísmicos
Deslizamientos de tierra	1,00	3,00	0,20	5,00

Inundaciones	0,33	1,00	7,00	3,00
Sequías	5,00	0,14	1,00	9,00
Eventos sísmicos	0,20	0,33	0,11	1,00
Suma :	6,53	4,48	8,31	18,00

Tabla 14. Ponderación de la comparación de las amenazas según la probabilidad de ocurrencia.

Amenazas	Amenazas				Ponderación
	Deslizamientos de tierra	Inundaciones	Sequías	Eventos sísmicos	
Deslizamientos de tierra	0,15	0,67	0,02	0,28	0,28
Inundaciones	0,05	0,22	0,84	0,17	0,32
Sequías	0,77	0,03	0,12	0,50	0,35
Eventos sísmicos	0,03	0,07	0,01	0,06	0,04

Para concluir se recopiló la ponderación de cada comparación de las amenazas según cada criterio en la tabla 15 y se obtuvo la priorización de las amenazas con el cual podrá determinar cuál es el impacto más relevante en la vereda Acuata, con el fin de enfocar el S.A.T. a esta amenaza, en donde con el AHP se determinó que las inundaciones es la amenaza con mayor injerencia en la vereda Acuata, es por esto que se debe enfocar la guía en un S.A.T. para inundaciones con ayuda de la comunidad, en donde como lo dice el Marco de senday se deberá primero comprender el riesgo de desastres para de esta manera fomentar las inversiones en innovación y desarrollo tecnológico.

Tabla 15. Ponderación de la comparación de las amenazas según la probabilidad de ocurrencia.

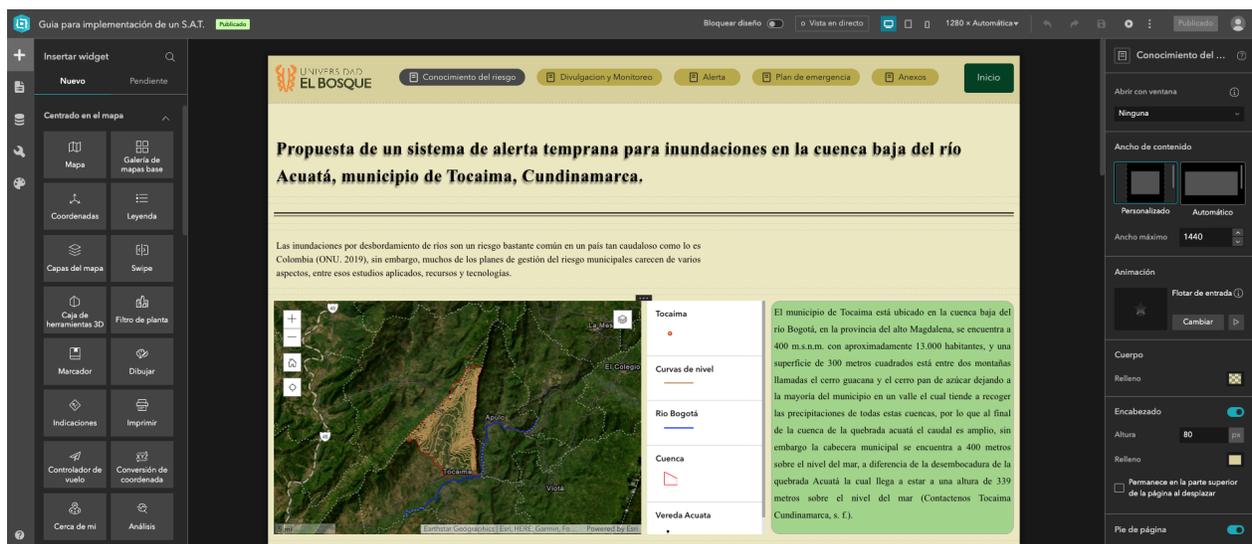
Amenazas	Criterio				Priorización
	Probabilidad de ocurrencia	Alcance geográfico	Capacidad de predicción o detección temprana	Consecuencias socioeconómicas y ambientales:	
Deslizamientos de tierra	0,15	0,24	0,12	0,28	0,23
Inundaciones	0,63	0,14	0,26	0,32	0,40
Sequías	0,06	0,57	0,06	0,35	0,25
Eventos sísmicos	0,15	0,05	0,56	0,04	0,12
Ponderación	0,29	0,04	0,09	0,57	

Teniendo acceso a estos datos históricos, geográficos, hidrológicos y ambientales, se dio inicio a la búsqueda del modelo óptimo de un Sistema de Alerta Temprana (SAT.) para inundaciones que se adecuó a las necesidades que se analizaron anteriormente para la cuenca del caso de estudio. Para ello, se desarrolló una matriz que incluyó diversos S.A.T. ya operativos, los cuales habían enfrentado eventos similares en áreas geográficas comparables. En este proceso, se tomaron como referencia guías previamente establecidas, tales como la "Guía para la Operación del Sistema de Alerta Temprana frente a Inundaciones - Protocolo de Actuación S.A.T. en el Municipio de El Seibo y el Municipio de Miches". el cual se realizó en República Dominicana (Estudio Varsovia, s.f.) Estas guías proporcionan una visión general de los componentes necesarios de un S.A.T. La cual sirvió como base para la implementación en nuestro caso de estudio. Esto se debe a que cuenta con un S.A.T. comunitario en un escenario en donde no se dispone de mucha información histórica. Por lo tanto, la comunidad se convirtió en un componente crucial para la operación del mismo, además de las tecnologías que permiten obtener datos actualizados y proporcionar avisos y alertas más efectivas a la población.

Considerando todos los pasos requeridos, se inicia el proceso con la elaboración de una guía destinada a la implementación de un Sistema de Alerta Temprana (S.A.T.) diseñado específicamente para adaptarse a las condiciones de la cuenca de la quebrada Acuatá de Tocaima, Cundinamarca.

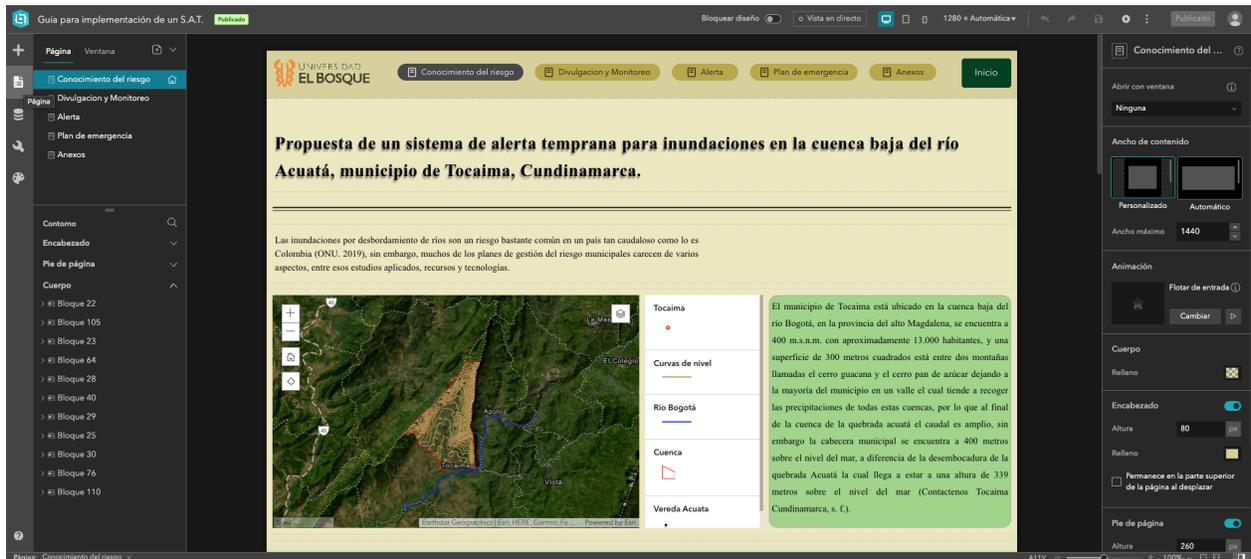
Para llevar a cabo esta tarea, se empleó la extensión Experience Builder de ArcGIS, una plataforma que facilita la creación de páginas web altamente personalizadas e interactivas sin la necesidad de programación. Esta plataforma aprovecha todas las herramientas ofrecidas por el software SIG ArcGIS y la empresa ESRI de manera eficiente como lo son los mapas de la extensión ArcMap o adjuntar fotografías o texto. Con la cual permite la creación de diversas experiencias digitales interactivas y funcionales, incluso para aquellos usuarios que carecen de experiencia en el desarrollo de páginas web, de modo que tiene una interfaz muy intuitiva y dinámica con la cual se generó una página guía esencial para el planteamiento del S.A.T. para el municipio de Tocaima (ESRI, 2023), este sistema lo podemos observar en la figura 14,

Figura 14. Experience Builder Widgets.



Por medio de esta herramienta se empezó la construcción de la propuesta de un S.A.T. para el municipio de Tocaima, en la izquierda podemos encontrar los widgets los cuales son las herramientas del aplicativo para editar la página web en cuestión, cada uno de los artilugios con los que cuenta la guía fue realizado desde cero debido a que no se obtuvo ninguna plantilla sino que se adecuo de acuerdo a la información que se obtuvo

Figura 15. Experience Builder Interfaz de la página.



El apartado del conocimiento del riesgo inicia con la presentación de la ubicación geográfica mediante un widget interactivo de ArcGIS Pro. Este recurso permite explorar un mapa interactivo de la cuenca de estudio, brindando la opción de acercar, activar o desactivar capas y acceder a información detallada. Esto se complementa con una breve contextualización de la zona de estudio, presentada de manera concisa y clara en la parte derecha, tal como se muestra en la figura 16.

Figura 16. Guía de implementación de un S.A.T. sección de conocimiento del riesgo

Propuesta de un sistema de alerta temprana para inundaciones en la cuenca baja del río Acuatá, municipio de Tocaima, Cundinamarca.

Las inundaciones por desbordamiento de ríos son un riesgo bastante común en un país tan caudaloso como lo es Colombia (ONU. 2019), sin embargo, muchos de los planes de gestión del riesgo municipales carecen de varios aspectos, entre esos estudios aplicados, recursos y tecnologías.

El municipio de Tocaima está ubicado en la cuenca baja del río Bogotá, en la provincia del alto Magdalena, se encuentra a 400 m.s.n.m. con aproximadamente 13.000 habitantes, y una superficie de 300 metros cuadrados está entre dos montañas llamadas el cerro guacana y el cerro pan de azúcar dejando a la mayoría del municipio en un valle el cual tiende a recoger las precipitaciones de todas estas cuencas, por lo que al final de la cuenca de la quebrada acuatá el caudal es amplio, sin embargo la cabecera municipal se encuentra a 400 metros sobre el nivel del mar, a diferencia de la desembocadura de la quebrada Acuatá la cual llega a estar a una altura de 339 metros sobre el nivel del mar (Contactenos Tocaima Cundinamarca, s. f.).

Como extensión del análisis de amenazas, se incluyó un apartado dedicado a los riesgos y las comunidades afectadas. En este segmento se ofrece una concisa explicación sobre los posibles riesgos que podrían enfrentar las comunidades y se detalla el método para identificarlos. Se han empleado herramientas especializadas, como los mapas de uso del suelo (anexo 1) y el mapa de aptitudes del suelo (Figura 1), que proporcionan una visión clara y detallada para este propósito.

Figura 17. Guía de implementación de un S.A.T. Sección de Riesgos y comunidades afectadas.

Riesgos y comunidades afectadas

Uso del suelo

No obstante, se incluyen los mapas de uso del suelo para que puedan revelar si se encuentran en zonas coherentes con lo que generan o si existe un conflicto en el uso del suelo. Para ello, disponemos del mapa de aptitudes del suelo, el cual está disponible en el botón siguiente, y también contamos con el mapa de uso del suelo rural.

Mapa Uso Del Suelo Anexo 3

Mapa Aptitudes del Suelo Anexo 1

Población cerca al río

Varias de las veredas, como Acuatá, Santarosa, Guacana y Vásquez, experimentan impactos tanto en la población residente como en su infraestructura debido a los eventos hidrológicos. Un patrón común en estas áreas es la proximidad de las viviendas agrícolas a las quebradas, lo cual se debe a la necesidad de acceso constante al suministro de agua, especialmente durante los periodos de sequía, que son recurrentes en Tocaima a lo largo del año (Pulido C, 2023).

Inundaciones

La mayoría de las inundaciones causadas por estos fenómenos impactan a las comunidades cercanas al río, así como a sectores como el turismo y la agricultura. Esto resulta en pérdidas económicas significativas y un aumento en las tasas de letalidad y mortalidad entre la población. (Gabriel, 2023)

Riesgos y comunidades afectadas

Agricultores y Cultivos

Tocaima, situado en una región de predominio agrícola, alberga extensas zonas de cultivo de frutales, como mangos y cítricos, que son altamente vulnerables a los impactos de los fenómenos hidrológicos. Estos eventos, en particular las inundaciones causadas por el desbordamiento del río Acuatá en la parte baja de la cuenca, representan una amenaza significativa para la integridad de estos valiosos cultivos y, por consiguiente, para la sostenibilidad económica de la comunidad agrícola local (Guerra López, D., & Trujillo Romero, N. A, 2021).

Mapa Zonas de Inundación Anexo 5

Zonas de inundación

Esta situación ha llevado a la identificación anticipada de áreas propensas a inundaciones. En consecuencia, se han mapeado zonas vulnerables debido a su proximidad a las fuentes de agua. Las fincas y viviendas en estas veredas están especialmente expuestas a los efectos adversos de las crecidas del río Acuatá. Como resultado, hemos desarrollado mapas que representan claramente estas áreas de inundación.

Inundaciones

La mayoría de las inundaciones causadas por estos fenómenos impactan a las comunidades cercanas al río, así como a sectores como el turismo y la agricultura. Esto resulta en pérdidas económicas significativas y un aumento en las tasas de letalidad y mortalidad entre la población. (Gabriel, 2023)

Riesgos y comunidades afectadas

Agricultores y Cultivos

Tocaima, situado en una región de predominio agrícola, alberga extensas zonas de cultivo de frutales, como mangos y cítricos, que son altamente vulnerables a los impactos de los fenómenos hidrológicos. Estos eventos, en particular las inundaciones causadas por el desbordamiento del río Acuatá en la parte baja de la cuenca, representan una amenaza significativa para la integridad de estos valiosos cultivos y, por consiguiente, para la sostenibilidad económica de la comunidad agrícola local (Guerra López, D., & Trujillo Romero, N. A, 2021).

Población cerca al río

Varias de las veredas, como Acuatá, Santarosa, Guacana y Vásquez, experimentan impactos tanto en la población residente como en su infraestructura debido a los eventos hidrológicos. Un patrón común en estas áreas es la proximidad de las viviendas agrícolas a las quebradas, lo cual se debe a la necesidad de acceso constante al suministro de agua, especialmente durante los periodos de sequía, que son recurrentes en Tocaima a lo largo del año (Pulido C, 2023).

Comunidades

Tocaima, es en su mayoría un entorno rural que comprende aproximadamente un 80% de su territorio, se compone de más de 20 barrios y veredas. La mayoría de estas áreas están ubicadas en las proximidades de cursos de agua que finalmente desembocan en el río Bogotá. La importancia de brindar información adecuada a la población acerca de los fenómenos que podrían potencialmente afectar esta región se deriva de esta configuración geográfica, que aumenta la exposición a amenazas hidrológicas.

Mapa Amenazas Anexo 4

Además, se aborda la población asentada cerca del río, detallando cómo se verán afectadas por su ubicación en zonas propensas a inundaciones. Para ello, se incorpora un mapa de las zonas de inundación que permite determinar el grado de vulnerabilidad. Este mapa, accesible mediante un botón y un recuadro explicativo, es una herramienta fundamental en la identificación de áreas de alto riesgo. En esta sección se analiza la incidencia de las inundaciones en la comunidad, información recopilada a lo largo del proyecto y complementada con un mapa de amenazas proporcionado por la alcaldía de Tocaima. Estos datos resultan esenciales para futuras implementaciones del Sistema de Alerta Temprana (S.A.T.).

Figura 18. Guía de implementación de un S.A.T. Sección de infraestructura de Tocaima.



Así mismo se expone la infraestructura del municipio debido a la importancia de tener claro cuales son las entidades de emergencia que colaboran en esta herramienta articulada del municipio.

Figura 19. Guía de implementación de un S.A.T. Sección de Instrumentos y equipos de Análisis.



Debido a que se necesita información continua y actualizada para el correcto funcionamiento del S.A.T. es indispensable poner un apartado de los instrumentos de análisis, por ende se añadió un pluviómetro, la escala hidrométrica y un DEM como medios de análisis, debido a que se abarcara con ellos parámetros como la precipitación, el caudal y la topografía de la zona, siendo estos de vital importancia para la eficiencia de un S.A.T.

En la siguiente etapa del S.A.T., se ha desarrollado una sección específica dedicada a la divulgación y monitoreo. En esta sección, se ha integrado información sobre los puntos potenciales de monitoreo a través de un mapa interactivo, creado mediante un widget del aplicativo de Experience Builder vinculado con ArcGIS Online, como se aprecia en la Figura 20. Se detalla la formación de comités de operación de emergencia, un componente fundamental en la implementación exitosa del S.A.T. Asimismo, se facilitan las herramientas necesarias para el análisis hidroclimático del área de estudio, incluyendo la recolección y procesamiento de datos mediante una guía de lectura de variables hidroclimáticas. Este enfoque permitirá disponer de personal especializado en análisis hidrológico durante la implementación, dado que estos datos constituirán la base de una extensa base de datos futura, esencial para aplicar diversos modelos como el de inundación.

Figura 20. Guía de implementación de un S.A.T. Sección de divulgación y monitoreo

UNIVERSIDAD EL BOSQUE

Conocimiento del riesgo | **Divulgación y Monitoreo** | Alerta | Plan de emergencia | Anexos | Inicio

Funcionamiento del S.A.T.

Centro de operación de emergencia (COE)

Conformación de los comités | Puntos de monitoreo

Conformación de los comités

Se deberán crear comités en los cuales se dispondrá de las personas encargadas de los puntos de monitoreo y de la creación de los instrumentos de variables. Estos comités estarán en constante comunicación con los líderes de las juntas de acción comunal para alertar a las comunidades. La mayoría de las veredas cuentan con una escuela rural que se utiliza para las reuniones de los comités. Por esta razón, las escuelas son los mejores centros de aglomeración en caso de emergencias, ya que proporcionan espacio para atender a las personas afectadas (Coll, M. A.2018).



MUNICIPIO

CONVENCIÓNES TEMATICAS

ESCUELAS VEREDALES

ALCALDE FERNANDO ENCISO HERRERA

CONCEJO MUNICIPAL: PRESIDENTE

TOCAMA

DIRECTOR REGIONAL DE LA CAR

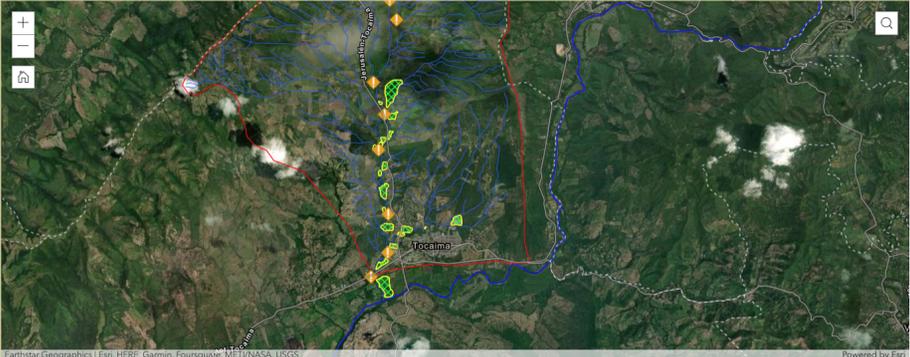
CONSEJO TERRITORIAL DE PLANEACION PRESIDENTE

PROYECTO: ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL MUNICIPIO DE TOCAMA

Funcionamiento del S.A.T.

Centro de operación de emergencia (COE)

Conformación de los comités | Puntos de monitoreo



Puntos De Monitoreo

cuenca

Rio Bogotá

Zonas de Inundación

Drenaje Acuata

Registro y Procesamiento de datos

Para el registro de los datos generados por las variables hidroclimáticas, se establece una base de datos donde se almacenan los valores correspondientes. Esto permite que el Comité de Operaciones de Emergencia (COE) pueda acceder a estos datos para tomar decisiones informadas.

Debido a que se necesitara descargar el pluviómetro, se tiene que tener una gran cantidad de espacios para llenar, al igual que se llenaran de forma simultánea los valores de las Escalas añadidas.

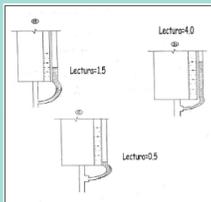
Esta tabla especifica el cómo se deberán llenar los datos en donde se añade la fecha, lugar, hora y persona que realice la lectura (Coll, M. A.2018).

Número de la Cuarta Mesa	Ubicación del Pluviómetro																						
	Villavieja						Mojeda																
Mes	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
6																							
7																							
8																							
9																							
10																							
11																							
12																							
13																							
14																							
15																							
16																							
17																							
18																							
19																							
20																							
21																							
22																							
23																							
24																							
25																							
26																							
27																							
28																							
29																							
30																							
31																							

< Lectura

Registro >

Lectura de variables hidroclimáticas



Precipitación con Pluviómetro

Para registrar los datos que nos dan tanto el pluviómetro casero, el de PVC, o el prefabricado se debe tener a una persona la cual pueda realizar la lectura de la medida, dependiendo de la capacitación que se le dé, a las personas de los puntos de monitoreo (Irlanda, I. G. 2001).

< Lectura



Escala Hidrométrica

Para registrar los datos que se generan en la escala solo se debe medir el nivel en el cual llega el caudal del río al mismo tiempo que se mide el nivel del pluviómetro en donde se registrarán y se analizará el aumento en las temporadas de invierno (Irlanda, I. G. 2001).

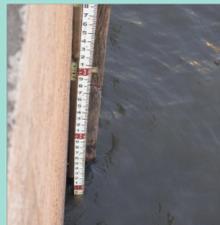
Registro >

Lectura de variables hidroclimáticas

La forma de medir el pluviómetro varía en función del tipo de pluviómetro que se esté utilizando. Los pluviómetros prefabricados cuentan con un manual de uso proporcionado por el fabricante, que establece los procedimientos adecuados para la medición. En contraste, los pluviómetros caseros o no convencionales requieren una metodología de análisis diferente, que implica la observación del nivel del agua en el dispositivo.

Pluviómetro

Pluviómetro de botella casero Anexo 7



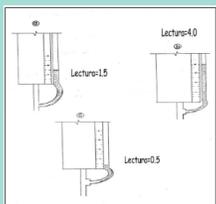
Escala Hidrométrica

Para registrar los datos que se generan en la escala solo se debe medir el nivel en el cual llega el caudal del río al mismo tiempo que se mide el nivel del pluviómetro en donde se registrarán y se analizará el aumento en las temporadas de invierno (Irlanda, I. G. 2001).

< Lectura

Registro >

Lectura de variables hidroclimáticas



Precipitación con Pluviómetro

Para registrar los datos que nos dan tanto el pluviómetro casero, el de PVC, o el prefabricado se debe tener a una persona la cual pueda realizar la lectura de la medida, dependiendo de la capacitación que se le dé, a las personas de los puntos de monitoreo (Irlanda, I. G. 2001).

< Lectura

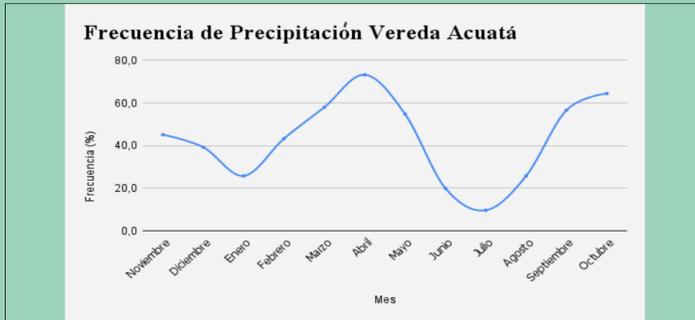
Las escalas hidrométricas están condicionadas por el nivel del caudal, y es fundamental contar con una referencia que supere el nivel máximo registrado en la escala. Esto garantiza que, en situaciones de emergencia que excedan los valores máximos preestablecidos, se puedan obtener datos precisos. La toma de lecturas en estas escalas no requiere una capacitación extensa y puede ser realizada por cualquier persona con facilidad.

Escala Hidrométrica

Registro >

Analisis de datos

Regresión lineal de precipitación



Con los datos de la frecuencia de la precipitación en la Vereda Acuatá la cual se tomaron durante un año se podrá llegar a generar una regresión lineal la cual se utiliza para comprender la relación entre la precipitación y el caudal de la quebrada Acuatá. Esto es esencial para la gestión de recursos hídricos y la prevención de las inundaciones, la cual es una herramienta importante para el grupo de análisis el cual podrá comparar los datos históricos con los actuales y generar una alerta más eficaz determinando en que época estamos, ya que Tocaima tiene un régimen de precipitación bimodal como podemos observar en la gráfica (Silva Pereda, J. 2021).

< Regresion

P. Acumulada >

Analisis de datos

Precipitación Acumulada

Para tomar decisiones y determinar cuándo emitir una alerta, es esencial contar con valores máximos que sirvan como parámetros para definir el riesgo de inundación. Estos valores se basarán en las mediciones de precipitación en milímetros (mm) y se registrarán en una tabla, como la que se muestra a continuación. En el caso de utilizar un pluviómetro de botella, se deberá medir la lámina de precipitación utilizando la ecuación proporcionada a la derecha. Estos valores, expresados en mm, son fundamentales para la toma de decisiones y la emisión oportuna de alertas (Coll, M. A. 2013).

Hora	Número de horas	Lectura P1 (mm)	Lectura P2 (mm)	Lectura P3 (mm)	Promedio $X=(P1+P2+P3)/3$	Promedio acumulado
10:00am	1					
11:00am	2					
12:00pm	3					
1:00pm	4					

Cálculo de Lámina De Precipitación

Si optamos por emplear un pluviómetro del tipo botella de plástico, es imperativo realizar el procedimiento de cálculo de la lámina de precipitación. Para efectuar dicho cálculo, es necesario llevar a cabo la división de la lectura recibida, expresada en centímetros cúbicos (cc), por el área superficial de la botella, medida en centímetros cuadrados (cm²). El área superficial de la botella puede ser determinada mediante la aplicación de la fórmula que relaciona la longitud (L) de una circunferencia ($L=2\pi r$). La longitud de la circunferencia de la botella se mide utilizando un cintómetro de sastré, y para obtener el valor del radio, se procede a dividir dicha longitud entre (2π). Posteriormente, haciendo uso del valor del radio, se calcula el área superficial circular de la botella empleando la fórmula correspondiente al área de un círculo ($A=\pi r^2$).

< Regresion

P. Acumulada >

Análisis Hidrológico

Máxima Precipitación de cada periodo

Para poder tener un valor con el cual se puede generar una alerta es importante tener esos valores máximos de cada periodo de tiempo y si es posible que el grupo de análisis busque información en las entidades estatales o estaciones hidrometeorológicas que se encuentren cerca del caso de estudio, con el fin de dejar un patrón de Precipitación máxima como observamos en la gráfica de la derecha, con el fin de saber en qué momento se debe alertar, o llegar a generar un régimen de precipitación (Salvador, E. 2017)



A través del cálculo del promedio aritmético y la desviación estándar, se busca guiar a la comunidad en el registro adecuado de las variables. Estos registros posteriormente permitirán realizar análisis más precisos y, finalmente, se basarán en cuadros estadísticos para evaluar la posibilidad de inundación. Para llevar a cabo este proceso, se utilizan las siguientes fórmulas:

Promedio Aritmético

$$X = \frac{\sum Xi}{n}$$

Donde:
 X = Promedio
 $\sum Xi$ = Suma de todos los valores de precipitaciones máximas para cada año
 n = Número de años

Desviación Estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum (Xi - X)^2}{n-1}}$$

Donde:
 S = Desviación Estándar
 $\sum (Xi - X)^2$ = Precipitación máxima de cada año
 X = Promedio

De esta manera se bosqueja la guía de implementación del S.A.T en la parte analítica de la información de los parámetros hidrometeorológicos, siendo la sección de análisis de un S.A.T. como se conoce comúnmente, es importante tener estos datos debido a que el correcto funcionamiento de un S.A.T. Se debe al poder analizar los parámetros correctamente al momento de una emergencia de modo que se pueda seguir con la siguiente fase que sería la alerta a la comunidad, siendo este uno de los pasos más importantes de un S.A.T.

Es por esto que se realizaron unas tablas específicamente para la zona de estudio con los parámetros recolectados por la comunidad y la búsqueda bibliográfica, en esta sección se dividió en la determinación de los niveles de alerta y cómo se deberían ajustar dependiendo de su condición y la acción que la comunidad deberá tomar, esto con el fin de que siempre se esté preparado para cualquier eventualidad, esta alerta se deberá emitir siempre y cuando el comité de emergencia haya evaluado la situación, por lo cual se dispone de una tabla con condiciones necesarias para poder tomar la decisión de entablar un aviso, alerta o alarma de inundación, además de esto en esta parte de la guía podremos encontrar unos botones los cuales nos redireccionan a los puntos de evacuación propuestos y los puntos de monitoreo, esto mediante un click.

Para finalizar se dispone de los medios de comunicación necesarios para comunicar a la comunidad, seleccionados mediante encuestas que se realizaron a la comunidad con el fin de determinar cuál era la forma más fácil de llegar al mayor número de habitantes en el menor tiempo, se dispuso medios como lo son las redes sociales, las alarmas del municipio y radiocomunicadores para esas zonas de poca señal generalmente en las cuencas altas. Esta parte del S.A.T. juega un papel fundamental debido a que la eficiencia en la que se transmite la información genera la menor afectación a la comunidad, un buen S.A.T. Se enfoca en la velocidad de transmisión de los datos por lo que si no se tiene una red de comunicación establecida, la eficiencia de la herramienta de gestión de riesgo disminuye.

Figura 21. Guía de implementación de un S.A.T. Sección de Alerta.



Conocimiento del riesgo
Divulgación y Monitoreo
Alerta
Plan de emergencia
Anexos

Inicio

Determinación de los niveles de alerta

Condiciones de Alerta

Aviso

En esta sección se indicará cuándo las expectativas del fenómeno permitan anticipar la ocurrencia de un evento que pueda impactar a la comunidad.

Alerta

Cuando el fenómeno aumenta constantemente puede resultar de riesgo inmediato o alguna emergencia de gran magnitud, por lo cual se debe tomar medidas de mitigación.

Alarma

Ocurre cuando existe una alta probabilidad de que el evento impacte las áreas propensas a inundaciones, lo que potencialmente afectaría a la comunidad. Por lo tanto, es de vital importancia informar a la población de manera prioritaria para llevar a cabo cualquier plan de acción que tenga repercusiones en todo el entorno.

Tipo de Alerta	Condición	Acción
Aviso	El nivel de precipitación aumentó a 10 mm de precipitación en 5 horas en los puntos de monitoreo cerca a las zonas de inundación.	El COE informará a los presidentes de las juntas de acción comunal sobre el comportamiento del río durante la lluvia y las lecturas de las variables en los puntos de monitoreo.
Alerta	El nivel de precipitación aumentó a 10 mm de precipitación en 3 horas y ha aumentado el nivel del caudal en los puntos de monitoreo más cercanos a la cuenca alta.	El COE empezará a alertar a los presidentes para que empiecen a tomar acciones preventivas y de mitigación ante inundaciones emergentes.
Alarma	El nivel de precipitación aumentó a 15 mm de precipitación en 3 horas y el nivel del caudal sobrepasó el punto máximo de la escala hidrográfica de los puntos de monitoreo más cercanos a la cuenca alta.	El COE dará alarma a la población de las zonas bajas de inundación para efectuar los planes de emergencia.

Tipo de Alerta	Condición
Aviso de Inundación	El cual lo dispersa el grupo del COE junto con los presidentes de las juntas para poder informar a todos los integrantes del comité del S.A.T además de toda la población la cual deba tener esta información para su bien para revisar el comportamiento del fenómeno.
Alerta de Inundación	Lo emite el COE junto con los involucrados en el comité del S.A.T. de forma que se puedan llevar a cabo las acciones de mitigación ante las inundaciones emergentes.
Alarma de Inundación	Esta será emitida por el grupo de comunicación del COE y las entidades institucionales con las cuales se ordenará la evacuación de la comunidad a los puntos de encuentro y la activación del plan de emergencia.

Evaluación de la situación

En consecuencia, se procederá a evaluar la situación en colaboración con el grupo de trabajo encargado de analizar la información, anticipando la posibilidad de una inundación. Esto dará lugar a una acción que implicará informar a la comunidad, contemplando tres posibles escenarios o condiciones.

Puntos De Evacuación

Puntos de monitoreo

Determinación
Evaluación
Declaración

Divulgación de la Alerta

- 1

Alerta a los líderes de las entidades

El Centro de Operaciones de Emergencia (COE) informa a las entidades institucionales sobre la situación actual, permitiéndoles prepararse para abordar cualquier
- 2

Comunicación a todo el comité

Todas las entidades involucradas iniciarán la comunicación de la situación a los puntos de monitoreo y a los grupos encargados de implementar el plan de emergencia, los cuales, a su vez, comenzarán a alertar a la comunidad.
- 3

Comunicación a toda la población

Los líderes de las juntas de acción comunal informarán a los diversos líderes de las zonas, quienes están a cargo de comunicar la situación a la población. Esto permite que se ejecuten los planes de

Medios de comunicación



Sirenas y alarmas

Poner alarmas o sirenas en los puntos de inundación



WhatsApp

Grupos de whatsapp con todos los integrantes del COE y líderes de la comunidad



Radiotelefonos

Para las zonas mas alejadas he incomunicadas

Determinación
Evaluación
Declaración

Para finalizar la guía de un S.A.T. se debe añadir la sección del plan de emergencia, debido a que será la última instancia para que la comunidad pueda estar a salvo frente a un fenómeno natural como lo es una inundación, para aquello se debe crear un nuevo comité exclusivo para la emergencia local en donde se tomarán decisiones mucho más deprisa y con mayor importancia para salvar la mayor cantidad de vidas posibles, en la figura 22 vemos como se debería plantear este plan de emergencia empezando por el conocimiento del mismo a la comunidad, luego se deberá dar la alerta y alarma de modo que se puede ejercer el plan de evacuación, debido a esto se generaron los posibles puntos de encuentro dependiendo de cada vereda y su cercanía a la quebrada Acuatá, adicionalmente se entabló la encuesta que se le realizó a la comunidad en este proyecto, de modo que se siga aumentando esa base de datos, en la encuesta pudimos encontrar varias preguntas que fueron fundamentales para la realización del proyecto, la estructura general de la encuesta se encuentra en la figura 24.

Como complementación de la guía del S.A.T. se añade una sección de anexos con la información más relevante que se obtuvo en la realización de este proyecto, entre ellos se cuentan con mapas de la alcaldía municipal de Tocaima, al igual que los mapas realizados para la caracterización de la cuenca. esta sección se encuentra en la figura 23.

Figura 22. Guía de implementación de un S.A.T. Sección de Plan de emergencia.

UNIVERSIDAD EL BOSQUE

Conocimiento del riesgo | Divulgación y Monitoreo | Alerta | **Plan de emergencia** | Anexos | Inicio

Planteamiento del comité de emergencia



Presidente:
Vice-Presidente:
Secretario:
Tesorero:
Fiscal:
Coordinador de Salud:
Coordinador de Educación:
Coordinador Evacuación y Rescate:
Coordinador de Seguridad:
Coordinador de Recursos Disponibles:
Representantes del Sector Público:
Representantes del Sector Privado:

Conocimiento del Plan de Emergencia

Desde la sala de situación de la COE tendrá las siguientes acciones para tener informada a la comunidad:

- Simulacros de evacuación
- Informes de la situación
- Reportes procesados en gráficos o tablas
- Mapas de los datos procesados
- Planes de acción

Comite de emergencia local

En este comité extraordinario de emergencia se tendrán voceros, los cuales deberán cumplir con las siguientes acciones:

- Recopilar la información técnica sobre los efectos del desastre.
- Coordinar las acciones de intercambio, divulgación y distribución oportuna y eficiente de la información, tanto a nivel interno como externo.
- Asesorar al Presidente del COEM en acciones de gestión de información y comunicación conveniente para facilitar la respuesta y proteger la salud de los afectados.
- Evaluación de daños.
- Plan operativo de respuesta

Alerta

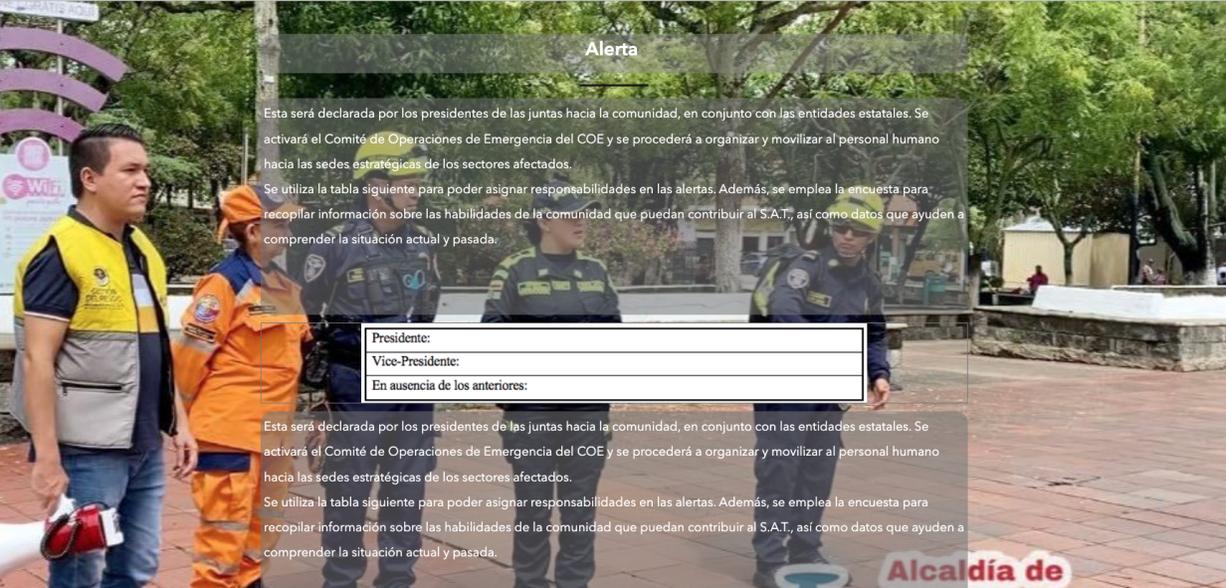
Esta será declarada por los presidentes de las juntas hacia la comunidad, en conjunto con las entidades estatales. Se activará el Comité de Operaciones de Emergencia del COE y se procederá a organizar y movilizar al personal humano hacia las sedes estratégicas de los sectores afectados.

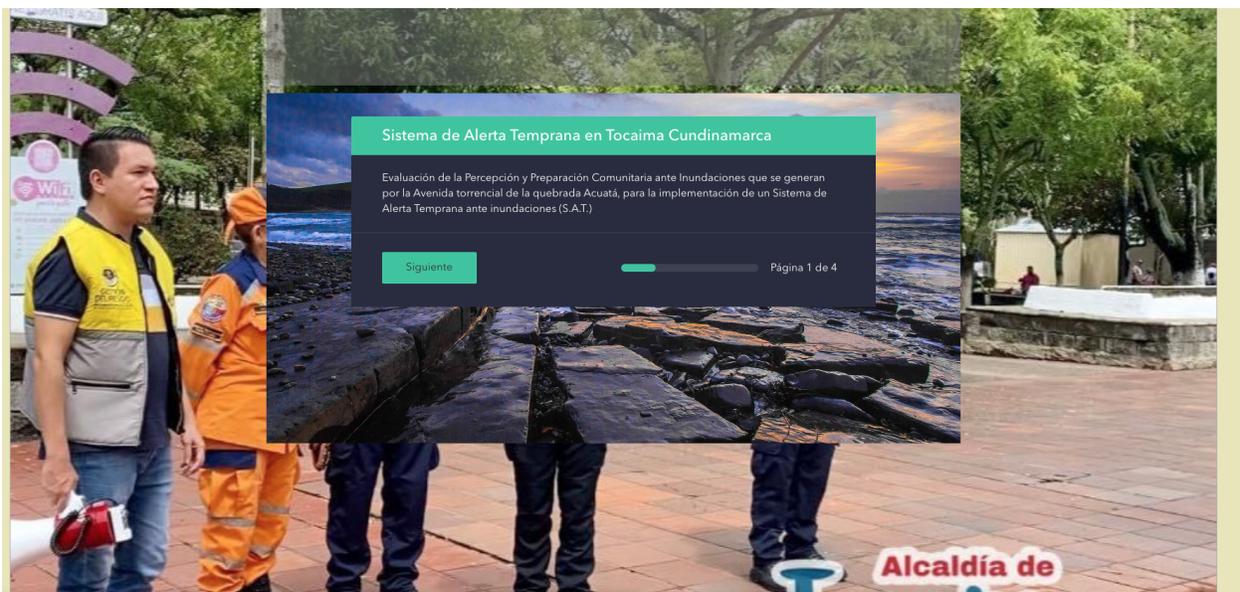
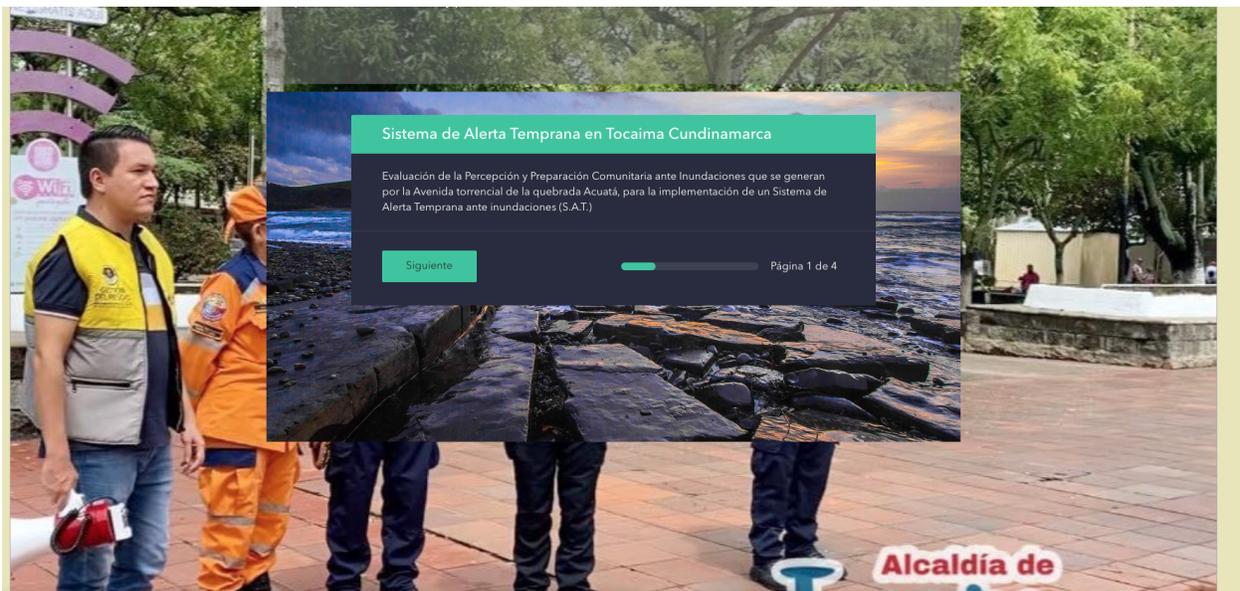
Se utiliza la tabla siguiente para poder asignar responsabilidades en las alertas. Además, se emplea la encuesta para recopilar información sobre las habilidades de la comunidad que puedan contribuir al S.A.T., así como datos que ayuden a comprender la situación actual y pasada.

Presidente:
Vice-Presidente:
En ausencia de los anteriores:

Esta será declarada por los presidentes de las juntas hacia la comunidad, en conjunto con las entidades estatales. Se activará el Comité de Operaciones de Emergencia del COE y se procederá a organizar y movilizar al personal humano hacia las sedes estratégicas de los sectores afectados.

Se utiliza la tabla siguiente para poder asignar responsabilidades en las alertas. Además, se emplea la encuesta para recopilar información sobre las habilidades de la comunidad que puedan contribuir al S.A.T., así como datos que ayuden a comprender la situación actual y pasada.





Esta guía se diseñó de manera intuitiva, con la idea de que en el futuro pueda ser compartida con la comunidad de modo que cualquier persona pueda entenderla. Es importante mencionar que la mayoría de la población encuestada tiene entre 25 y 45 años de edad, información que se puede corroborar en el anexo 4, además de que esta población posee habilidades para utilizar dispositivos electrónicos. La guía se divide en todas las fases del S.A.T. e incluye los mapas de todas las figuras anteriores, El propósito de esta guía es establecer una base de datos de información relacionada con los parámetros físicos, geográficos, hidrológicos y ambientales, esta se podrá visualizar en el siguiente link totalmente finalizada para su visualización <https://experience.arcgis.com/experience/113a2a1ec408476d97e95f90ef737ae4/> de una forma mas completa, para poder tener acceso a toda la información del proyecto como los mapas interactivos información adicional y la estructura general de la guía.

10. Análisis y discusión.

10.1 Generación de información geoespacial.

Para esto se realizó el mapa de la figura 10 en donde se utilizó el software de código libre de Sistema de Información Geográfica (SIG) QGIS 3.28, con el cual se realizó la delimitación de la cuenca del caso de estudio, se descargó el modelo de elevación digital (DEM) con una resolución espacial de 12 metros el cual se delimitó para el caso de estudio utilizando la herramienta de Ráster →Extracción →Cortar raster por extensión de modo que se pueda utilizar el corte del DEM para obtener las curvas de nivel cada 40 metros del caso de estudio con las cuales se empezó a delimitar la cuenca, para poder tener un mejor detalle de la caracterización se realizó un modelamiento 3D el cual podemos observar en el siguiente link, https://www.youtube.com/watch?v=ez_BE1Ig7mk&t=2s para poder observar la pendiente de las elevaciones topográficas, además de esto se utilizó datos multiespectrales adquiridos por sensores remotos por medio del programa Landsat, de modo que se pueda verificar la delimitación de la cuenca con los recursos que se provee con el SIG, de esta manera se genera la capa de drenajes que podemos observar en la figura 10, adicionalmente se añadió un polígono de la cabecera municipal de Tocaima, y los puntos claves como lo son la vereda Acuatá, debido a que es una de las zonas de mayor inundación según la comunidad y los reportes que se obtuvieron de los entes estatales como los bomberos de Tocaima, de igual modo se creó una capa de archivo shape de cadena de puntos para el río Bogotá, pudiendo observar la desembocadura de la quebrada en el efluente de la siguiente cuenta hidrográfica el cual es la cuenca del alto magdalena del río Bogotá.

De modo que se realizó un análisis geoespacial con datos tomados de la salida de campo que se realizó en Tocaima, Cundinamarca y con datos proporcionados por la alcaldía de Tocaima, El municipio cuenta con una cuenca hidrográfica, desde el nacimiento de la quebrada Acuatá en su cuenca alta. la quebrada tiene un caudal de 4,5 metros cúbicos por segundo (m^3/s) a una altitud de 1198 m.s.n.m. Aquí podemos observar como el cauce se va aumentando debido a todos los afluentes que podemos observar en la figura 10 en donde se generó el drenaje de la cuenca hidrográfica de la quebrada Acuatá.

Ahora bien, se observó el cauce que va cambiando por estas crecientes torrenciales de la quebrada que se generan en las temporadas de lluvia, para esto se fue a la vereda Acuatá la cual es uno de los puntos críticos de desbordamiento del caudal en donde se realizó una caracterización de 4.5 km desde el punto 1 que podemos observar en la figura 11 que se encuentra en las ubicación geográfica 4°30'58.70"N 74°38'46.20"O hasta un punto 16 el cual tiene la ubicación en 4°28'50.80"N 74°38'55.50"O sitio turístico de Tocaima el cual suelen tener inundaciones siempre que están en temporada de lluvias, durante este recorrido se pudo observar como el cauce ha ido cambiando por las crecientes que se han generado por las fuertes precipitaciones en los últimos años, esto generando que en algunas partes del recorrido el cauce tenga un ancho de 16 metros y en algunas partes una altura de hasta 4 metros, como podemos observar en la tabla 16, debido al cambio en el cauce que realiza la comunidad en la cuenca medio-alta en la quebrada Acuatá, el caudal aumenta de 15 a 17 m³/s por lo que en el punto de observación 16 de la salida de campo; se presenten situaciones críticas por el desbordamiento del caudal, ocasionado por la velocidad con la que se incrementa

Tabla 16. Puntos Observados de salida de campo.

Punto	Altura del cauce (m)	Ancho de cauce (m)	Altitud (m.s.n.m)	Norte	Oeste
1	1,8	7,2	443,0	4°30'58.7"	74°38'46.2"
2	1,9	7,4	474,0	4°30'54.7"	74°38'47.1"
3	2,8	6,2	473,0	4°30'49.4"	74°38'47.5"
4	2,1	10,8	466,0	4°30'43.3"	74°38'46.5"
5	2,0	12,5	458,0	4°30'33.5"	74°38'46.4"
6	1,9	8,4	458,0	4°30'25.3"	74°38'44.6"
7	1,7	12,8	453,0	4°30'12"	74°38'46.4"
8	1,2	8,8	420,0	4°29'27.6"	74°38'53.2"
9	1,2	12,5	417,0	4°29'07.7"	74°38'47.6"
10	3,5	6,3	401,0	4°29'03.8"	74°38'48.5"
11	2,3	9,0	409,0	4°28'59.1"	74°38'49.6"
12	3,5	8,5	405,0	4°28'56.6"	74°38'52.1"
13	1,7	8,3	405,0	4°28'57.3"	74°38'52.4"
14	3,0	16,5	413,0	4°28'58.9"	74°38'53.9"
15	4,0	5,8	413,0	4°28'52.7"	74°38'55.5"

Complementando este análisis, se procedió a establecer una zona de monitoreo en el punto denominado "Salida de Campo 15". En esta estación, se instaló un pluviómetro convencional de fabricación casera, utilizando una botella de plástico, el cual podemos ver su proceso de construcción en el apartado 10.3.1 (Silva Pereda, J. L. 2021). Este dispositivo se empleó para medir la cantidad de precipitación en los días de lluvia, los cuales influyen en el aumento del caudal del río. Generando un registro de las precipitaciones, que se utilizó para generar la gráfica 5. Dicha gráfica muestra la frecuencia de las precipitaciones a lo largo del año objeto de estudio, con las tomas de cada día en que las precipitaciones llegaban desde las 3 horas hasta las 6 horas.

Por otro lado, en la figura 12 podemos observar las zonas más recurrentes de inundación, las cuales cuentan por un lado con las zonas residenciales o de asentamientos humanos, que se pueden ver representadas con el color azul y las áreas de color verde son de cultivos que se ven afectados por las inundaciones que se pierde, Tocaima tiene un uso de suelo de agricultura tradicional debido a sus condiciones climáticas y geomorfológicas, por lo que en la actualidad encontramos cultivos que son los que disipan un poco el caudal por lo que generan que la escorrentía de las zonas de cultivos no deja llegar todo el caudal a la cuenca baja. Anteriormente, gran parte de la zona estaba dedicada a la ganadería, lo que resultaba en un mayor escorrentía de agua. Esto se debía a las características de los suelos en la mayoría de la cuenca, los cuales suelen ser moderadamente profundos, profundos en las laderas de las montañas, a diferencia de las montañas que llegan a ser muy superficiales, sin embargo en su mayoría son arcillosos, los cuales son susceptibles a la erosión, así mismo, se obtuvo la morfometría de la quebrada con la cual se identificaron las áreas vulnerables, obteniendo el área, perímetro y longitud axial de la quebrada con la cual se observó que es la quebrada con mayor área, esto lo podemos observar en la tabla 17. además de ser la de mayor longitud Axial, llegando a recorrer gran parte de las precipitaciones del municipio en temporadas de lluvias.

Tabla 17. Unidades hidrográficas de interés

CÓDIGO	CORRIENTE HÍDRICA	ÁREA (km ²)	LONGITUD AXIAL (km)	PERÍMETRO (km)	CLASIFICACIÓN TAMAÑO
		A	La	P	
21200101	Río Bogotá	11.155	6.71	17.41	Pequeña
21200102	Río Bogotá	27.441	7.37	26.24	Pequeña
21230201	Quebrada El Tabaco	44.226	6.9	43.61	Pequeña
21200103	Quebrada Acuatá	68.383	15	47.52	Pequeña
21200104	Quebrada Cachimbula	8.295	2.64	19.42	Pequeña
21200105	Quebrada Cachimbula	17.252	4.56	21.03	Pequeña
21200106	Quebrada Cachimbula	5.264	2.98	15.61	Pequeña
21200107	Quebrada La Honda	18.16	8.95	25.71	Pequeña
21200108	Quebrada San Juanito	9.466	8.52	23.06	Pequeña
21200109	Quebrada La Salada	15.66	7.52	21.77	Pequeña

Nota. Gobernación de Cundinamarca, (2016).

10.2 Identificación de los componentes necesarios para el S.A.T.

Es importante destacar que la mayoría de los S.A.T. comparten una estructura similar, en la que la detección y pronóstico de amenazas se sitúan como etapas fundamentales. Posteriormente, se procede con la difusión de información y la monitorización de cualquier emergencia, culminando en la activación de las alertas y la ejecución de planes de respuesta en caso de emergencia, esto guiado del SNGRD el cual establece los principios para cualquier herramienta de gestión de riesgo.

10.3 Conocimiento de los Riesgos.

Para llevar a cabo este proceso, se estructuró la guía digital en las partes esenciales de un S.A.T. el cual se inicia con el componente de **Evaluación de Riesgos**, en donde se desarrolló un

procedimiento sistemático para la recopilación de información relacionada con las amenazas asociadas a inundaciones o avenidas torrenciales. Estos datos se deberán basar en los mapas de ubicación geográfica previamente elaborados, los cuales se incluyen como parte de la orientación para cualquier persona que desee utilizar la guía. Además, se inició con la caracterización de los riesgos y las poblaciones afectadas en donde se deberá categorizar a las comunidades para determinar las afectaciones socioeconómicas que les ocurre al momento de que pase estos fenómenos hidrológicos y ocurran las avenidas torrenciales, con un enfoque particular en los agricultores cuyos cultivos se ven frecuentemente afectados por inundaciones. En esta fase, se incorporaron mapas de uso del suelo el cual se puede encontrar como anexo 3 que permiten a los agricultores identificar si sus terrenos se encuentran en zonas congruentes con sus actividades o si existe algún conflicto de uso del suelo. Para facilitar este proceso, se adjuntó el mapa de aptitudes del suelo como Anexo 2 en la guía, que se encuentra disponible en la sección de anexos para su consulta.

En otro aspecto relevante, se encuentra la población que reside en proximidad a la quebrada, cuya ubicación y exposición a riesgos se explica detalladamente a través del mapa previamente elaborado, como se muestra en la Figura 12, lo que resulta crucial para la planificación de acciones de respuesta ante emergencias y la determinación de los puntos de encuentro en las diversas veredas.

Asimismo, esta información proporciona una valiosa guía para las autoridades de control, como los bomberos y la defensa civil, permitiéndoles establecer rutas eficientes para responder a cualquier eventualidad de manera más efectiva. Además, contribuye significativamente a la preparación de la población en estas zonas para hacer frente a situaciones de emergencia.

Posteriormente, se procedió a analizar los elementos para la medición de las variables hidrológicas, con el propósito de emplearlos en plataformas de monitoreo que funcionarán como centros de alerta para la población afectada, tal como se realizó en el punto de revisión 16 que se realizó en la salida de campo. Entre estas herramientas, se considera la utilización de pluviómetros, los cuales pueden ser fabricados de manera sencilla, teniendo en cuenta que la comunidad en Tocaima, en su mayoría, carece de recursos económicos significativos. En este contexto, se pueden generar pluviómetros caseros, como podemos encontrar en varios recursos o se pueden optar por pluviómetros prefabricados, dependiendo de los recursos disponibles. Esta elección permitirá obtener datos precisos sobre la precipitación y, por ende, mejorar la capacidad de alerta temprana ante eventos hidro-climáticos adversos (Coll, M. A. 2013). Estos métodos de construcción lo podemos observar mejor en la guía para la propuesta del S.A.T. el cual se encuentra en el anexo 9 o como lo ilustra Stephanie Kent (2001) el cual nos explica cómo crear el pluviómetro con una botella de plástico.

10.3.1 Pluviómetro de botella de plástico.



1. La botella se llega a cortar un tercio de la parte superior

2. Se llena el fondo de la botella con plastilina o arcilla hasta formar una capa horizontal y se coloca la parte superior pico abajo dentro de la botella en forma de embudo, como se muestra en la figura siguiente.
3. Se marca el papel utilizando la regla, colocándola al costado del papel y dividiendo la graduación en 0.5 centímetros. Este papel debe cubrirse con cinta adhesiva para protegerlo de la lluvia. Se pega el papel graduado a la botella haciendo coincidir el 0 con la parte superior de la capa de arcilla. Alternativamente, se puede hacer la graduación directamente en la botella utilizando un plumón.
4. Se une el balde con la tabla utilizando el tornillo o perno y el destornillador.



5. Se coloca la botella con el embudo dentro del balde. Así se recolecta la lluvia.

Nota: Elaboración propia adaptada de Stephanie Kent, 2001.

En zonas con elevado caudal, como se pudo constatar durante la salida de campo, se contempla la posibilidad de implementar una escala hidrométrica en cada tributario que contribuye significativamente al cauce principal. Estas escalas consisten en dispositivos de gran nivel que permiten la observación de la cota del cauce sin requerir una proximidad excesiva. Esto facilita la medición del caudal durante eventos de crecidas repentinas.

10.3.2 Escala hidrométrica.



Nota: Ortiz, N. (2020).

La ubicación precisa de estas escalas depende de los registros históricos de lluvias y no debe exceder el nivel máximo conocido en el lugar de medición (Ortiz, N. 2020). La instalación de estas escalas se encuentra detalladamente documentada en la guía que se presentará para generar un S.A.T., en las figuras 16, 17 y 18, estas escalas hidrométricas desempeñan un papel esencial en el monitoreo constante del nivel de agua y el caudal en los tributarios, mejorando así la capacidad de respuesta ante situaciones de inundación y eventos hidrológicos críticos.

Es crucial resaltar que la instalación de estos dispositivos debe llevarse a cabo en puntos estratégicos que permitan a los miembros del comité de gestión de riesgos analizar los cambios en el caudal y las precipitaciones intensas. En cualquier plan o acción relacionada con la gestión de riesgos y la mitigación, es esencial que la comunidad esté debidamente informada y comprometida con la operación de este Sistema de Alerta Temprana (S.A.T.). Por tanto, en la guía se han incluido todos los instrumentos y equipos necesarios para llevar a cabo el análisis de las variables relevantes, con el fin de tener todos los datos necesarios para su lectura. Además, se han incorporado dispositivos de comunicación, como radio comunicadores de larga distancia, para facilitar la comunicación desde las zonas remotas de la cuenca alta, donde la señal es débil, hacia las áreas con una mejor cobertura de señal, permitiendo así la difusión de alertas a toda la comunidad (Coll, M. A. 2013).

Como último componente, se encuentran los mapas previamente elaborados y la modelación de la cuenca mediante un Modelo de Elevación Digital (DEM) el cual lo podemos visualizar en el siguiente link: https://www.youtube.com/watch?v=ez_BE1Ig7mk&t=2s. Estos elementos son esenciales para una caracterización detallada de la cuenca, con lo que mejora significativamente el análisis y la planificación de medidas de mitigación ante los fenómenos hidroclimáticos que puedan surgir, Es importante destacar que, como mencionó el señor Petteri Taalas, Secretario General de la OMM:

“Dicho simplemente, una cosa es descifrar el tiempo que va a hacer y otra muy distinta anticipar las consecuencias que podría llevar aparejadas, que no se suelen conocer”. (OMM, 2018)

En cualquier plan o actividad de gestión de riesgo o mitigación es importante tener claro la comunidad la cual apoyará con el manejo y operación de este S.A.T. lo cual vuelve al sistema más eficiente.

10.4 Divulgación y monitoreo.

Para iniciar la sección de divulgación y monitoreo, es fundamental establecer los protocolos estándar para la adquisición de lecturas de las variables hidroclimáticas. Esto implica proporcionar directrices detalladas sobre la forma de llevar a cabo las lecturas en los pluviómetros, ya sean de tipo botella, PVC o prefabricados. En su mayoría, estas lecturas deben realizarse en respuesta a eventos de precipitación o crecidas torrenciales. Por lo tanto, al registrar la intensidad de las lluvias, se requiere repetir el proceso de medición cuando el pluviómetro alcance su capacidad máxima de retención. Se estima que las lecturas se realicen a intervalos de 15, 30 o 45 minutos, dependiendo de la intensidad de las precipitaciones (Ortiz, N. 2020). Además, es esencial efectuar la lectura de la escala hidrométrica de manera simultánea a la medición del pluviómetro.

Para medir los pluviómetros prefabricados, se debe seguir las instrucciones proporcionadas en el manual por el fabricante, donde se explica cómo realizar la lectura. Sin embargo, si se utiliza un pluviómetro casero fabricado con botellas o tubos de PVC, la medición consistirá en registrar el nivel del agua dentro de la botella o el tubo de PVC. Estas medidas se registran en una base de datos que estará bajo la responsabilidad del COE, donde se almacenarán las mediciones junto con las variables de tiempo en las que se efectuaron, en conjunto con la comunidad que tenga conocimientos de utilización de base de datos como excel el cual pudimos observar que es más del 50% de los encuestados que podemos observar en la gráfica 4. Esto permitirá tomar decisiones más rápidas y comunicar de manera más eficiente a la población. La actividad de monitoreo debe ser continua, con personal disponible en los puestos de monitoreo en todo momento para alertar a la comunidad en caso de ser necesario. En esencia, este S.A.T. esté diseñado teniendo en cuenta las necesidades de la comunidad, y por lo tanto, es esencial capacitar a los miembros de la comunidad que se encuentren en los puestos de monitoreo para que ellos sean la parte esencial de la operación del mismo (Coll, M. A.2018).

Para almacenar la información recopilada acerca de las variables, se crean bases de datos que pueden alojarse en una nube como Google Drive en la cual se pueda almacenar offline. Estas bases de datos estarán accesibles para el COE y serán de fácil acceso para todas las personas en los puntos de monitoreo. Además, estas bases de datos permitirán acceder a información histórica, ya que las crecidas no se repiten de manera idéntica, y es crucial contar con una datos

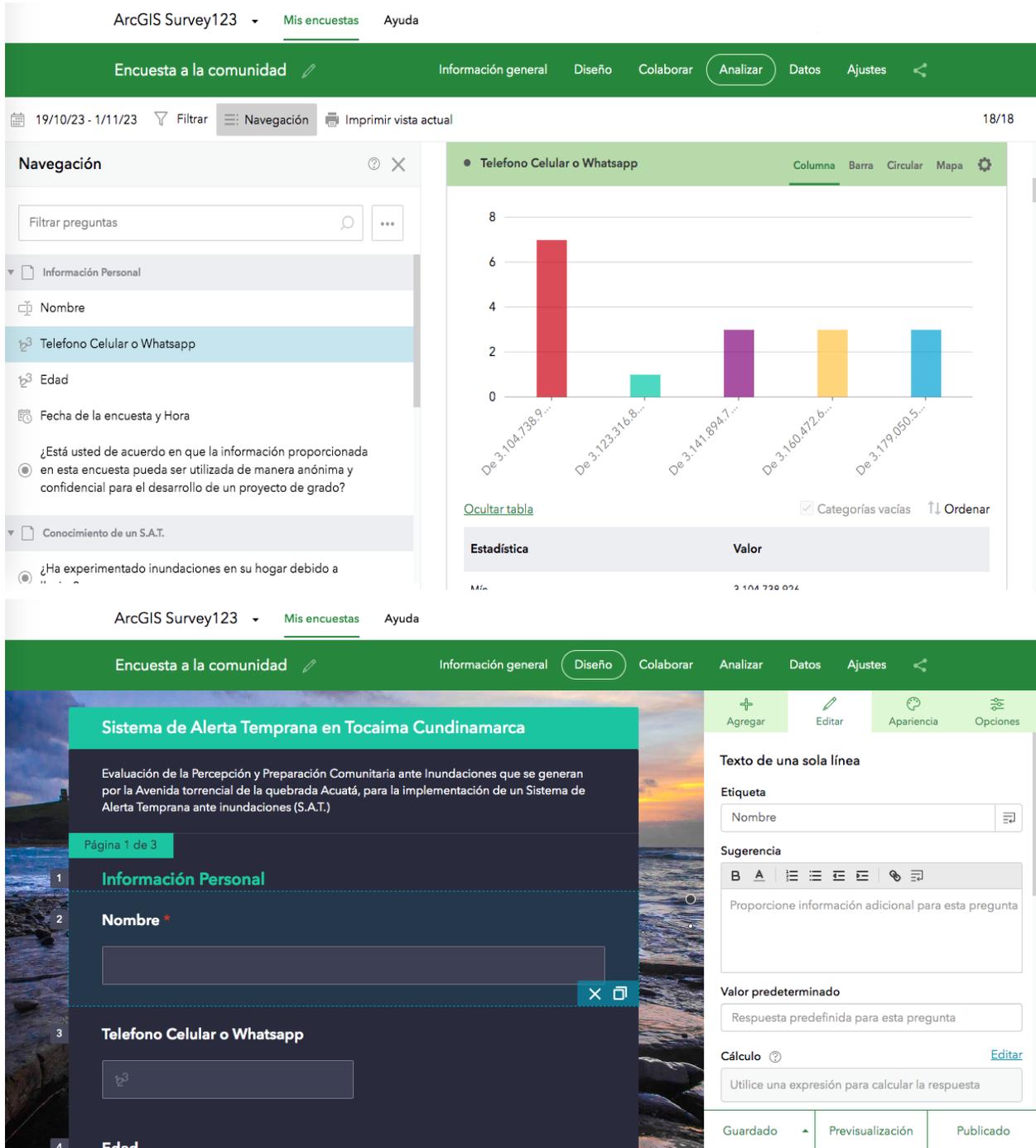
que proporcione información sobre eventos anteriores para orientar las acciones, con el fin de tener información actualizada cada día que pasa generando mejor exactitud en los estudios que se realizan.

Es fundamental contar con un comité organizador sólidamente estructurado para la implementación exitosa del programa que guía el S.A.T. La participación activa de la comunidad es la piedra angular, ya que su conocimiento profundo del comportamiento del afluente resulta invaluable. Los miembros del comité son quienes tomarán decisiones críticas para preservar vidas y reducir los costos asociados a los fenómenos. Para asegurar una respuesta ágil en caso de alertas, es esencial designar líderes capaces de transmitir información de manera precisa. En Tocaima, los presidentes de las juntas de acción comunal desempeñan un papel clave, ya que mantienen un canal de comunicación directa con la comunidad y las entidades estatales. Las reuniones de estas juntas contribuirán a formar grupos de trabajo y nombrar responsables de la recepción, análisis y divulgación de información relevante. Además, en la mayoría de las veredas, se han establecido grupos de WhatsApp que permiten a los presidentes compartir información con rapidez debido a que según la encuesta realizada a la comunidad esta red social es la más utilizada por cualquier persona de cualquier edad, esto lo observamos en la gráfica 3, por lo mismo se estará aprovechando la comunicación a través de radiocomunicadores en los puntos de monitoreo (Irlanda, I. G. 2001). Además, es esencial contar con zonas de reunión definidas para situaciones de emergencia, como las escuelas rurales que suelen ubicarse en puntos centrales y sirven como centros de encuentro de los comités de juntas de acción comunal.

El COE se encargará de organizar los equipos de trabajo, distribuyendo responsabilidades específicas entre sus miembros. Algunos de ellos se dedicarán a la fabricación y calibración de los instrumentos de análisis, mientras que otros estarán ubicados en los puntos de control, tomando las lecturas y registrando datos en tiempo real. Además, habrá un grupo de trabajo dedicado a la análisis y procesamiento de los datos almacenados en la base de datos, comparándolos con eventos históricos cuando sea necesario.

En última instancia, se establecerá un equipo respaldado por las entidades de control y gestión del riesgo, encargado de ejecutar los planes de emergencia en caso de que sea necesario. Cada miembro de estos equipos deberá contar con conocimientos especializados pertinentes a sus respectivas funciones, ya que tomarán decisiones críticas basadas en la información recopilada. Para evaluar las capacidades y habilidades de la población en respuesta a emergencias, se han realizado encuestas estructuradas la cual podemos ver su cuerpo en la figura 24 o en el siguiente link <https://survey123.arcgis.com/share/72daafacd07d44b5b6fa891eb16791c7> , si no se cuenta con una cuenta de ArcGIS en ESRI, es necesario crearse una gratuitamente, para poder tener acceso a toda la información del proyecto.

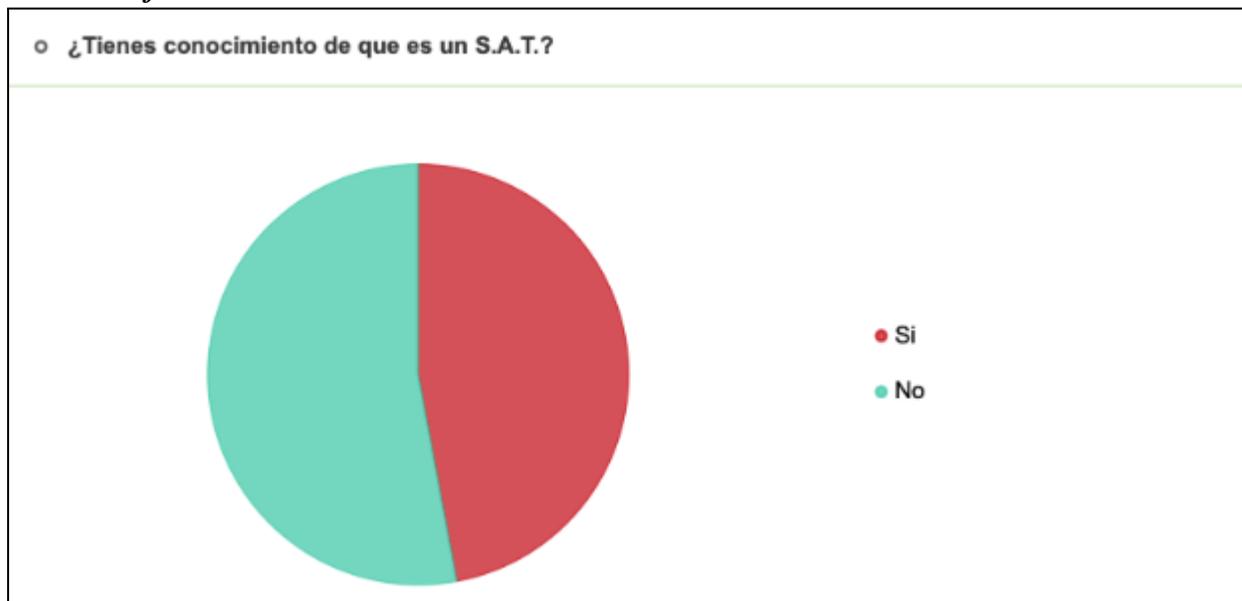
Figura 24. Realización de encuesta a entes participativos.



Esta encuesta se realizó con la herramienta de Survey 123 la cual es una herramienta de ESRI con la que se puede recopilar datos de campo que facilita la creación, el diseño y la administración de encuestas y formularios digitales, con las cuales se pudo determinar si la comunidad conocía que era un SAT entre otras preguntas, en donde más de la mitad tiene conocimiento de que es un SAT

como observamos en la gráfica 2, o tienen algunas bases de utilización de herramientas como Excel.

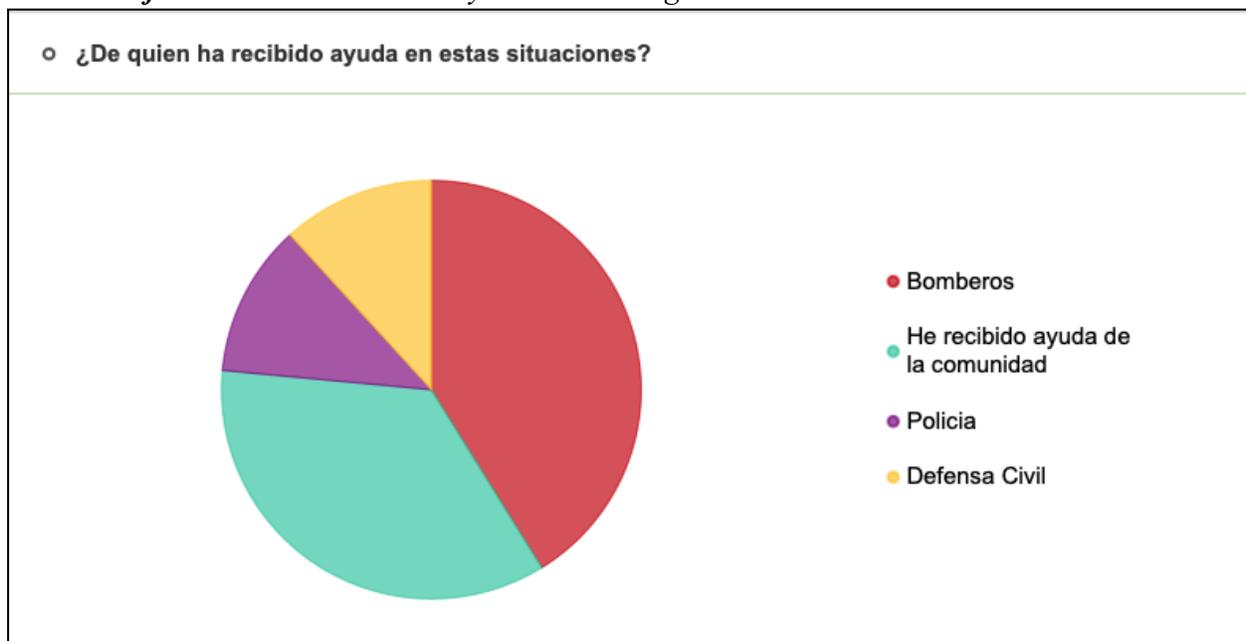
Gráfica 2. Conocimiento sobre un S.A.T.



Además de esto, contamos con las encuestas realizadas a las entidades estatales y a la comunidad, las cuales brindan una perspectiva más detallada sobre cómo la comunidad podría colaborar en la mitigación de los impactos negativos de los fenómenos hidrolimáticos durante situaciones de emergencia. A través de estas encuestas, se exploró la forma en que la comunidad podría prestar asistencia para reducir los efectos de estos eventos.

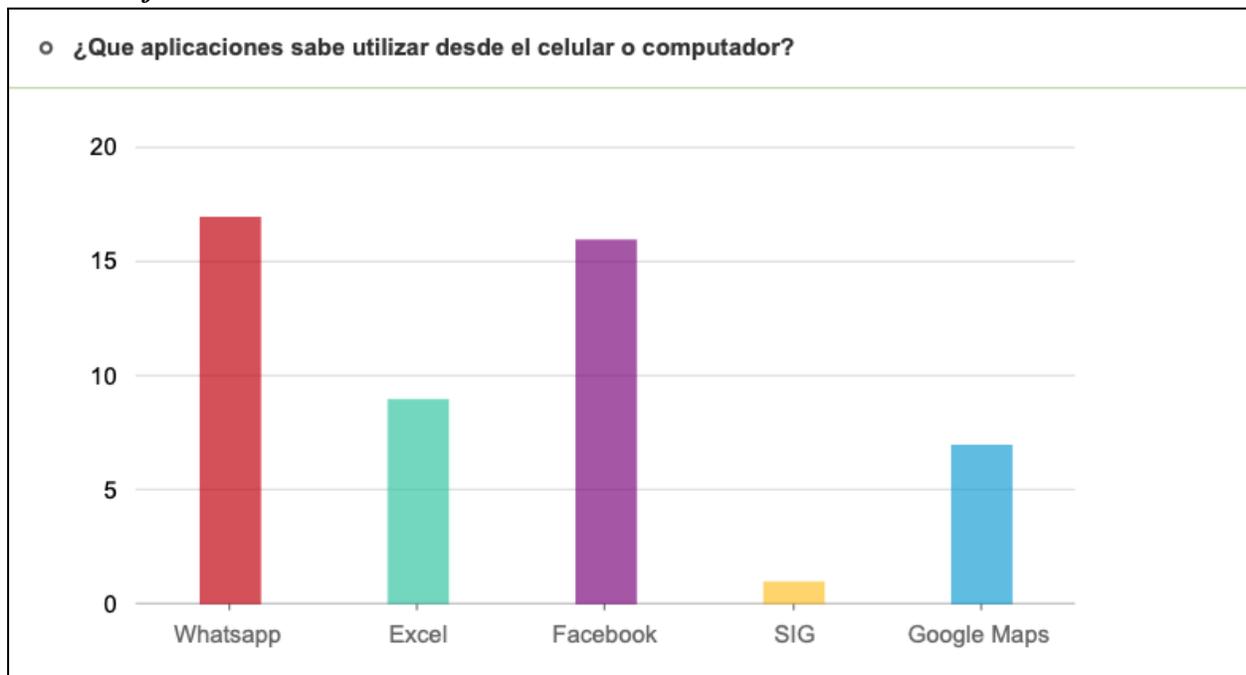
En la gráfica 3, podemos observar que la comunidad se apoya mutuamente en estas circunstancias. Esto se debe a que las entidades de emergencia no pueden llegar a todos los sitios donde se generan las emergencias. Asimismo, la primera fuente de información en eventos de inundación proviene de la propia comunidad, como se evidencia en la gráfica 5, extraída de las encuestas. Por lo tanto, gran parte del Sistema de Alerta Temprana (S.A.T.) se basará en la colaboración comunitaria.

Gráfica 3. Resultados de la ayuda ante emergencias.



Por otra parte, pudimos evaluar las habilidades de la comunidad para colaborar en la implementación del S.A.T., así como su disponibilidad. Dado que gran parte de este trabajo será voluntario, se requiere que las personas dediquen su tiempo libre. Los resultados de la encuesta indican que la mayoría de la población está dispuesta a contribuir con aproximadamente 3 o 4 horas de trabajo comunitario, como se muestra en el Anexo 5. En la gráfica 4, es relevante destacar que el 100% de los encuestados saben utilizar redes sociales como WhatsApp y Facebook, más de la mitad tienen conocimientos en el uso de Excel. Esto implica que podemos utilizar Excel para crear y gestionar las bases de datos de todas las tablas de variables necesarias, y las redes sociales como el medio de difusión primario.

Gráfica 4. Resultados de las habilidades de la comunidad.



Ya para la toma de decisiones se tiene que tener en cuenta todos los aspectos del río Acuatá, En promedio, desde el punto más alto de la cuenca hasta el último punto de monitoreo, las avenidas torrenciales demoran aproximadamente 30 minutos en llegar. A medida que avanzan desde el punto de origen, las primeras zonas de inundación, representadas en la Figura 11, se ven afectadas antes que las últimas zonas de inundación, ubicadas cerca de la desembocadura de la quebrada.

Estos puntos de monitoreo se encuentran en asentamientos urbanos, lo que garantiza la proximidad de personas que pueden colaborar en la vigilancia, lectura y mantenimiento de los equipos (Pulido R, comunicación personal, 20 de mayo de 2023).

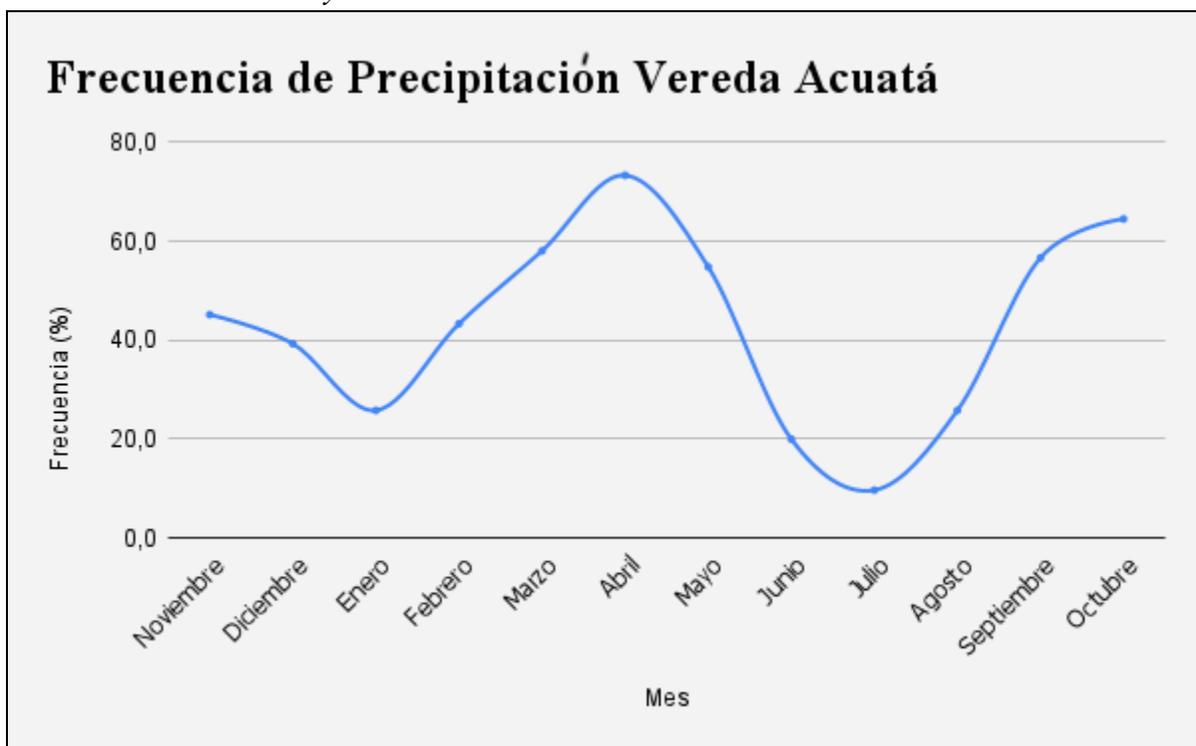
En coordinación con las entidades estatales, se han identificado los puntos críticos más susceptibles ante una emergencia. Estos puntos se determinaron teniendo en cuenta el tiempo que la creciente toma en llegar a las zonas de inundación. En promedio, desde el punto más alto de la cuenca hasta el último punto de monitoreo que se tomó en la salida de campo, las avenidas torrenciales tardan alrededor de 30 minutos en llegar al punto 15 del mapa de la figura 10.

Este enfoque garantiza una mayor eficacia en la supervisión y alerta temprana de eventos hidrológicos adversos, permitiendo a la comunidad actuar con rapidez y eficacia en caso de una emergencia. Para determinar los niveles de alerta, se realizaron lecturas de precipitación en el punto de observación 15, ubicado en la cuenca de la quebrada Acuatá, durante eventos de crecientes. Este punto de observación fue seleccionado durante la salida de campo y se presenta

en la figura 10. En dicho punto, se instaló un pluviómetro casero hecho de botella como podemos ver en la sección 10.3.1. y se asignó a una persona responsable de tomar las lecturas.

Aunque no se efectuaron lecturas diarias, se registraron mediciones precisas cuando se produjeron avenidas torrenciales. En la mayoría de los casos, se observaron valores de precipitación superiores a 15 mm de precipitación en días lluviosos. En una única ocasión, cuando se registró una inundación en el punto de observación, la precipitación alcanzó un máximo de 25 mm de precipitación en un solo día, lo que lo establece como un punto crítico de alerta.

Gráfica 5. Frecuencia de Precipitación de la vereda Acuatá. Periodo comprendido entre noviembre de 2022 y octubre de 2023.



Iniciaremos utilizando los datos recopilados durante la ejecución del proyecto, como se detalla en la gráfica 5. Esta gráfica muestra la frecuencia de precipitación a lo largo del año 2023 el cual es el año de estudio, destacando que los meses de abril y octubre presentan las mayores frecuencias. Durante estos meses, se registraron los niveles de precipitación en milímetros mencionados anteriormente.

Con esta información, se ha establecido la Tabla 18, que define las condiciones para activar los niveles de alerta y las acciones a seguir en caso de alcanzar dichos umbrales de alerta (Coll, M. A.2018).

Tabla 18. Niveles de alerta y acciones.

Tipo de Alerta	Condición	Acción
Aviso	El nivel de precipitación aumentó a 10 m.m. de precipitación en 5 horas en los puntos de monitoreo cerca de las zonas de inundación.	El COE informará a los presidentes de las juntas de acción comunal sobre el comportamiento del río durante la lluvia y las lecturas de las variables en los puntos de monitoreo.
Alerta	El nivel de precipitación aumentó a 10 m.m. de precipitación en 3 horas y ha aumentado el nivel del caudal en los puntos de monitoreo más cercanos a la cuenca alta.	El COE empezará a alertar a los presidentes para que empiecen a tomar acciones preventivas y de mitigación ante inundaciones emergentes.
Alarma	El nivel de precipitación aumentó a 15 m.m. de precipitación en 3 horas y el nivel del caudal sobrepasó el punto máximo de la escala hidrográfica de los puntos de monitoreo más cercanos a la cuenca alta.	El COE dará alarma a la población de las zonas bajas de inundación para efectuar los planes de emergencia.

La determinación de las condiciones de cada alerta se basa en la información específica de la zona de estudio. Es necesario considerar los datos locales para establecer las condiciones y acciones adecuadas, como lo podría ser las horas de precipitaciones previas a una inundación, este dato lo pudimos obtener de la comunidad la cual podemos observar en el anexo 6, en donde más del 50 % de la población informó que las fuertes lluvias por 3 horas como mínimo pueden llegar a generar inundaciones, en varias zonas del municipio.

El proceso comienza con una etapa de aviso, que generalmente es preventiva y se activa cuando se identifica el inicio del fenómeno. Posteriormente, se emite una alerta a la comunidad, con el propósito de mantener a la población informada y preparada para actuar si es necesario. En caso de que la situación se agrave, se declara la alarma, y la comunidad se moviliza para poner en marcha los planes de emergencia pertinentes (Silva Pereda, J. 2021).

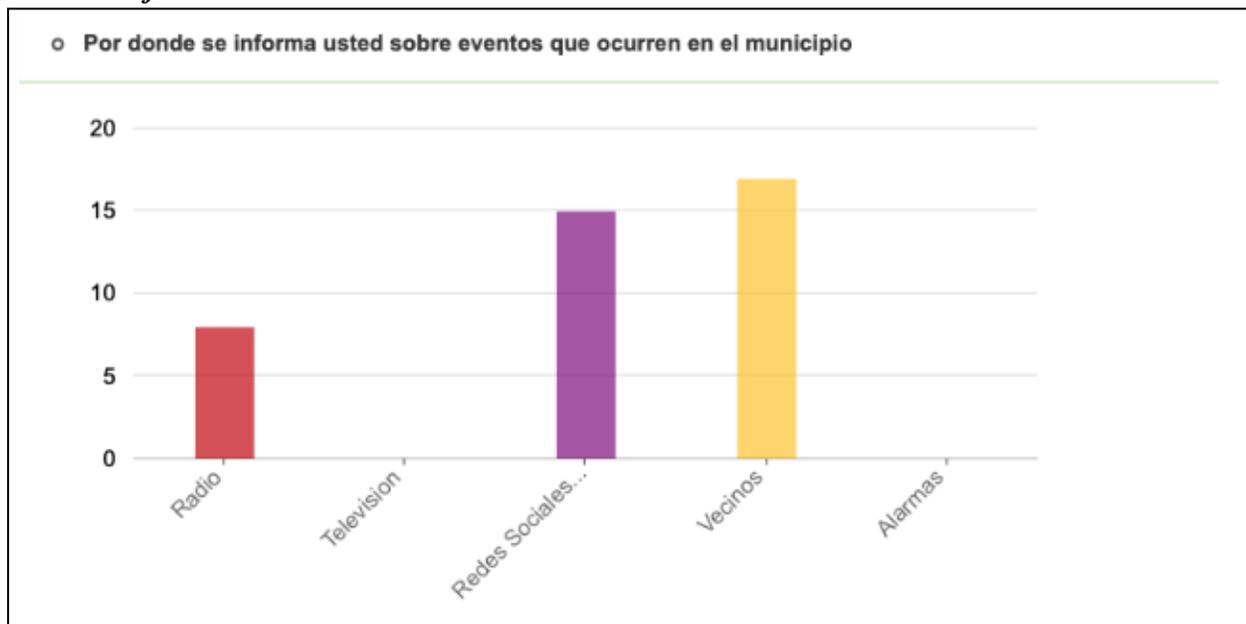
Así, se procederá a evaluar la situación de manera colaborativa, en conjunto con el equipo de trabajo encargado del análisis de información. Se realizará una evaluación anticipada de posibles inundaciones, y en función de esta evaluación, se activarán tres posibles condiciones:

- Aviso de inundación: Esta será difundida por el grupo del COE y los presidentes de las juntas, con el propósito de informar tanto a los miembros del comité del S.A.T. como a toda la población que debe estar al tanto de esta información crucial para monitorear el desarrollo del fenómeno.
- Alerta de inundación: La alerta de inundación será emitida por el COE en coordinación con los miembros del comité del S.A.T. Esto permitirá poner en marcha las medidas de mitigación necesarias en caso de inundaciones inminentes.
- Alarma de inundación: La alarma de inundación será activada por el grupo de comunicación del COE y las entidades institucionales pertinentes. Esto ordenará la evacuación de la comunidad hacia los puntos de encuentro predeterminados y activará el plan de emergencia correspondiente.

Con el inicio de estas alertas, se inicia el proceso de divulgación de las mismas. El Centro de Operaciones de Emergencia (COE) notificará a las entidades institucionales sobre la situación actual, permitiéndoles prepararse para abordar cualquier emergencia. La transmisión de esta alerta se llevará a cabo mediante el uso de radioteléfonos, los cuales estarán ubicados en el centro principal del COE, así como en los puntos de monitoreo más distantes y en manos de entidades como los bomberos, la policía y la defensa civil.

De esta manera, todas las entidades involucradas podrán comunicar la situación a los puntos de monitoreo y a los grupos encargados de implementar el plan de emergencia, quienes a su vez comenzarán a alertar a la comunidad. Todos los líderes de los comités del Sistema de Alerta Temprana (S.A.T.) estarán integrados en un grupo de WhatsApp para recibir información en tiempo real, además de los radioteléfonos. Esto se lleva a cabo con el objetivo de difundir la situación a la mayor cantidad de personas que puedan verse afectadas. La información se transmitirá a través de la radio local y otros medios de comunicación de gran alcance para alertar a toda la comunidad, debido a que estos son los más utilizados por la población según la encuesta que se realizó la cual podemos observar en la gráfica 6.

Gráfica 6. Medios de comunicación más concurridos.



Los líderes de las juntas de acción comunal informarán a los diversos líderes de las zonas, quienes están a cargo de comunicar la situación a la población. Esto permite que se ejecuten los planes de emergencia o, en su caso, que se brinde asistencia a las personas afectadas si forman parte del comité del COE o han recibido capacitación previa por parte de las entidades institucionales.

Como última instancia de la guía del S.A.T., se debe tener previsto un plan de emergencia con el cual se puedan ejecutar los procesos ante eventos adversos súbitos. Para esto, se generará un comité especial ante emergencias que estará encargado de preparar simulacros de evacuación y de informar a la comunidad sobre los planes de acción en caso de que se llegue a la etapa de evacuación o alarma. Esto se logrará mediante los reportes de los diferentes procesos generados por el equipo de análisis, con toda la base de datos que se ha recopilado durante el tiempo en el que no se ha generado la alarma.

Este comité de emergencia tendrá previsto la recopilación de datos durante la emergencia para evaluar los daños y ejecutar el plan operativo de respuesta. Esto implica llevar a cabo las rutas de evacuación si es necesario, transportar a la comunidad a los puntos de encuentro y proporcionar alimentos a la población afectada o desplazada debido a la pérdida de sus hogares. Además, se mantendrá la comunicación entre la comunidad y las entidades, como la alcaldía, a través de medios de comunicación como lo son las redes sociales, donde se informarán las acciones a nivel municipal.

11. Conclusiones

La quebrada Acuatá del municipio de Tocaima Cundinamarca cuenta con unas crecientes torrenciales debido a su geomorfología en donde tiene una diferencia de altitud de 859 m.s.n.m desde la cuenca alta hasta el punto de desembocadura al río Bogotá, aumentando el caudal hasta los 17 m³/s siendo un factor de aumento del riesgo para la comunidad vulnerable de la vereda Acuatá.

El uso actual del suelo ha desencadenado un conflicto de uso del suelo, resultado de la erosión crónica inducida por décadas de prácticas agrícolas y ganaderas inadecuadas. Estos suelos, predominantemente arcillosos, exhiben una deficiencia crítica en el contenido de humedad, lo que da lugar a una escorrentía agravada. Esta escorrentía excesiva contribuye significativamente al aumento del caudal de los afluentes del río Bogotá, a pesar de que las actividades ganaderas ya no ostentan el papel principal en la economía de Tocaima en la actualidad, las consecuencias legadas por las prácticas pasadas continúan repercutiendo en el nuevo ciclo de cultivos. Los desafíos de rehabilitación de estos suelos para un uso agrícola sostenible siguen siendo un tema pendiente que requiere atención y soluciones específicas en el ámbito de la ingeniería ambiental.

La significativa heterogeneidad de los pisos térmicos y las diversa unidades geológicas en Colombia, ampliamente influenciadas por la presencia de las cordilleras de los Andes, hace que sea virtualmente inviable hallar áreas con condiciones geomorfológicas idénticas. En consecuencia, la precisión en la caracterización de los parámetros físicos, geográficos, hidrológicos y ambientales se convierte en un pilar esencial para mejorar la efectividad de un Sistema de Alerta Temprana (S.A.T.), cada área geográfica que demanda la implementación de un S.A.T. de envergadura debe desarrollar una metodología singular al concebir su guía base de implementación, de modo que se deberán seleccionar los factores de vital relevancia, como el caudal, el cauce y las variables hidroclimáticas, las cuales asumen un papel de suma importancia en la optimización de los procesos de alerta, con el propósito de disminuir la vulnerabilidad de la región en cuestión, generando que al momento de crear un S.A.T. se hayan obtenido las herramientas más eficaces para que la gestión de riesgo que se desea implementar sea efectiva.

Por medio del Proceso Analítico Jerárquico (AHP), se determinó, con un peso de 40%, que la amenaza más relevante es la inundación, afirmando que este fenómeno es el de mayor impacto en la cuenca baja del río Acuatá. afectando a más 8000 habitantes del municipio, Este análisis desempeña un papel fundamental en la toma de decisiones estratégicas. Estas metodologías ofrecen un marco estructurado para evaluar y comparar múltiples parámetros, permitiendo una consideración real de variables complejas y su ponderación en entornos amplios, como los impactos regionales. Al integrar estas herramientas, se logra una mayor comprensión y delimitación de la información, lo que favorece la toma de decisiones más delimitadas y precisas, reduciendo la probabilidad de dejar aspectos relevantes sin evaluar.

La gestión del riesgo en Colombia se ve desafiada por la inadecuada difusión de información entre la comunidad, lo que lamentablemente resulta en una falta de conciencia y preparación ante fenómenos naturales y antropogénicos. Esta carencia de conocimiento se traduce en un incremento de las afectaciones ambientales, sociales y económicas sufridas por las comunidades. En consecuencia, se destaca la imperante necesidad de contar con guías de implementación de carácter intuitivo, diseñadas para ser accesibles a personas de todas las edades, con el fin de promover la reducción de la vulnerabilidad y el fortalecimiento de la resiliencia ante eventos adversos.

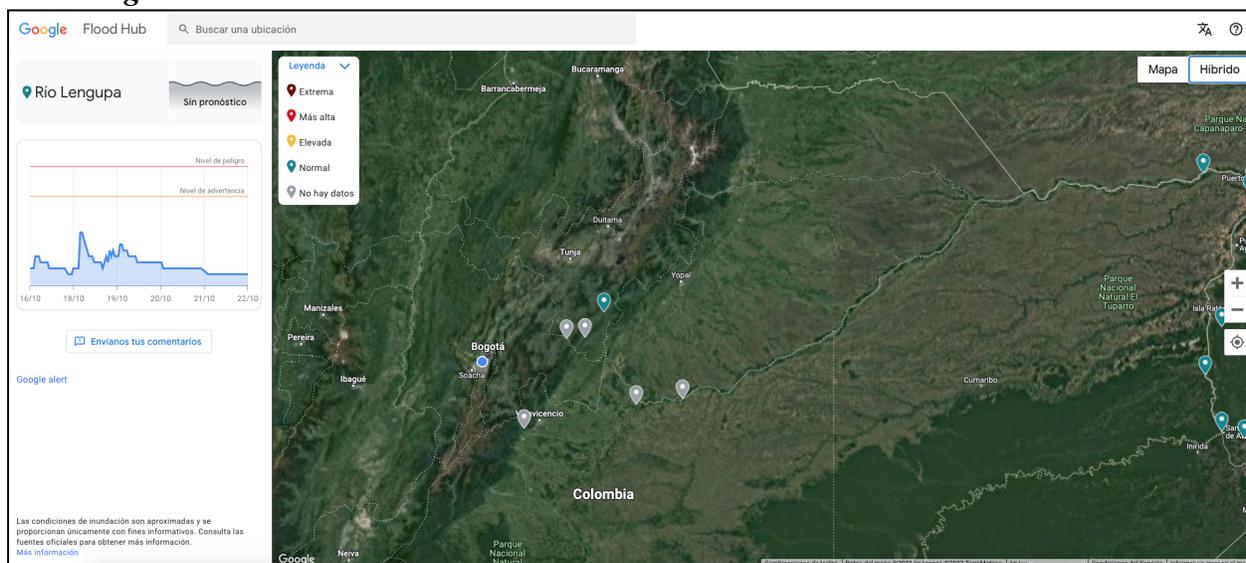
El presente sistema de alerta temprana se ha diseñado específicamente para su implementación en cuencas de menor escala, caracterizadas por la escasez de datos históricos relativos a precipitaciones y niveles de los cuerpos de agua. Los instrumentos para la toma de datos en campo, al ser desarrollados con materiales de fácil acceso, dan una relevancia y pertinencia en la participación de la comunidad contribuyendo a que estos procesos sean monitoreados y crean sentido de pertenencia para la conservación, uso adecuado y manejo pertinente de las aguas de la quebrada, haciendo más efectiva la implementación del S.A.T.

12. Recomendaciones

Tras la instalación de los dispositivos de medición y la recopilación de datos relacionados con inundaciones, se vuelve imperativo realizar una revisión y actualización exhaustiva del análisis hidrológico en la zona. Este proceso propenderá la evaluación de los parámetros fundamentales en dicho análisis. Adicionalmente, se enfoca en inspeccionar las afectaciones de los puntos de monitoreo, con el propósito de identificar cualquier cambio significativo en el caudal del río o los niveles alcanzados por el cuerpo de agua.

En la actualidad el sistema operativo de Google la cual tiene una extensa base de usuarios que utilizan Android ha introducido dos herramientas innovadoras para optimizar la respuesta ante situaciones de emergencia. El Servicio de Ubicación para Emergencias (ELS) y el Sistema de Alertas de Terremotos con los cuales apuntan a mejorar la rapidez y eficacia para la localización precisa de los usuarios en situaciones de emergencia, el cual limita el rango de búsqueda para las entidades de control de 14 a 6 kilómetros, por otro lado el sistema de alerta de terremotos, se podría adaptar para las alertas en la comunidad de Tocaima en donde proporciona notificaciones a los dispositivos en base a la intensidad del caudal, distinguiendo entre "aviso" y "alerta". Estas herramientas abordan de manera efectiva la necesidad de contar con información precisa, promoviendo una respuesta más eficiente. junto con la plataforma FloodHub de Google el cual es un aplicativo que brinda pronósticos de inundaciones fluviales con una anticipación de hasta seis días, destacando como la actualización constante de tecnologías desempeña un papel fundamental en la gestión de emergencias y en la protección de la comunidad. Estas iniciativas representan un paso significativo hacia la mejora de la resiliencia en situaciones críticas y la optimización de mitigación ante desastres.

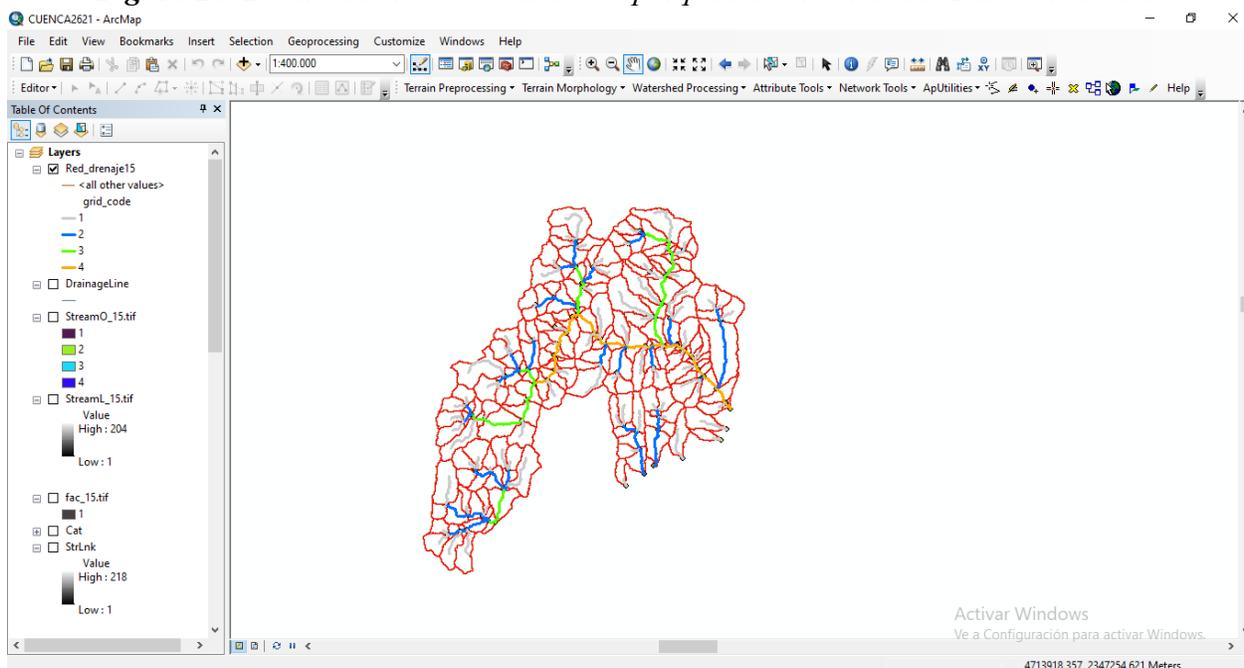
Figura 25. FloodHub.



Nota. Google FloodHub.

Dada la carencia de información detallada acerca de las variables hidroclimáticas y la geomorfología de la zona de estudio, se advierte que la determinación de los drenajes puede ser significativamente mejorada mediante la implementación de programas de alta precisión, como las herramientas ArcHydrotools de ArcGIS. Con estas herramientas, es posible caracterizar la cuenca hidrográfica utilizando un Modelo Digital del Terreno (DEM), lo que facilita la determinación de la dirección del flujo y, en consecuencia, la delineación de la red de drenaje. Este enfoque permite obtener una delimitación de la cuenca más precisa y, a su vez, calcular los órdenes de drenaje mediante las funcionalidades disponibles en ArcToolBox.

Figura 26. Delimitación de la cuenca del parque nacional natural Farallones de Cali.



Nota: Elaboración propia.

La utilización de estas herramientas proporciona datos más rigurosos en relación a los parámetros físicos, geográficos, hidrológicos y ambientales, lo que se traduce en una mejora sustancial en la capacidad de caracterización de la cuenca de estudio y en la obtención de información más precisa. Esta aproximación se erige como un elemento esencial para el desarrollo de investigaciones y proyectos relacionados con la gestión de recursos hídricos y la mitigación de riesgos hidroclimáticos en el área de estudio.

La capacitación efectiva de la población en conceptos fundamentales de gestión del riesgo y metodologías asociadas a los Sistemas de Alerta Temprana (S.A.T.) es un factor clave para optimizar estas herramientas en la gestión del riesgo. Esta capacitación permite una mayor eficiencia en la implementación de tecnologías relevantes para el municipio. Asimismo, posiciona al municipio como un pionero en la aplicación de S.A.T. en la región del Alto Magdalena, otorgándole una ventaja competitiva significativa. Este enfoque fortalece la resiliencia de la comunidad ante riesgos naturales, contribuyendo a la protección y desarrollo sostenible del territorio.

13. Referencias

Barrera, J., Pantoja, A., & Suárez, J. (2019). Sistemas de Alerta Temprana de Inundaciones basados en Sensores IoT y Plataformas de Big Data. *Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 20(3), 457-466.

Botero, C. M., & Rojas, L. F. (2016). Sistemas de alerta temprana para la prevención del riesgo de inundaciones en Colombia.

Cárdenas, K. (2018). Análisis general de la gestión del riesgo por inundación en Colombia. *Revista Científica en Ciencias Ambientales y Sostenibilidad*, 4(1).

Cárdenas-Rodríguez, S., Vides-Herrera, A., & Pardo-García, A. (2022). Sistema de alerta temprana de inundaciones para el río Arauca basado en técnicas de inteligencia artificial. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 12(2), 315-326.

Carranza, A. (1941). San Dionisio de los caballeros de Tocaima (Vol. 64). Acad. Colombiana de Historia.

Coll, M. A. (2013). Sistemas de Alerta Temprana (SAT) para la Reducción del Riesgo de Inundaciones Súbitas y Fenómenos Atmosféricos en el Área Metropolitana de Barranquilla. *Scientia et technica*, 18(2), 303-308.

Coll, M. A., Merelo, F. J. B., Peiró, M. M. (2018). Sistema de alerta temprana para la predicción del nivel de peligrosidad en inundaciones pluviales repentinas (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

Contactenos Tocaima Cundinamarca. (s. f.). Plan de Desarrollo "Futuro en Marcha" 2020-2022. Recuperado de https://issuu.com/contactenostocaimacundinamarca/docs/31583_plan-de-desarrollo--futuro-en-marcha-2020202/s/11458531

Cruz Cueva, G. E. (2016). Elaboración de un plan de contingencia por inundación del río Tena en los barrios: Bellavista, Las Hierbitas, El Tereré y barrio central de la ciudad de Tena (Bachelor's thesis, PUCE).

Cullmann, J. (2019). Problemas mundiales relacionados con el agua y respuestas hidrológicas. *Constitución Política de Colombia*, B. (2020). *Constitución Política de Colombia 1991*. Recuperado el, 10.

Decreto 2811 De 1974 [Presidencia De La República]. Por El Cual Se Dicta El Código Nacional De Recursos Naturales Renovables Y De Protección Al Medio Ambiente. *Diario Oficial* 34243 De Enero 27 De 1975, 18 De Diciembre De 1974. Colección De Legislación Colombiana. Legis Editores. https://xperta.legis.co/visor/legcol/legcol_bf18ce6da2a3f05481e8949b8dc6f0e9c57nf9/

Domínguez Calle, E., Lozano-Báez, S. (2014). Estado del arte de los sistemas de alerta temprana en Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 38(148), 321-332.

ESRI. (2023). Arcgis Experience Builder, crear aplicaciones web inmersivas a su manera <https://www.esri.com/es-es/arcgis/products/arcgis-experience-builder/overview>.

Estudio varsovia. (s.f.): Guía Para La Operación Del Sistema De Alerta Temprana Frente A Inundaciones Protocolo de actuación SAT Municipio de El Seibo - Municipio de Miches.

Gentili, J. O., Fernández, M. E., Zapperi, P. A., Silva, A. M. (2018). Tecnología y extensión universitaria: los Sistemas de Alerta Temprana Colaborativos en la gestión del riesgo de inundación.

Gobernación de Cundinamarca. (2016). Estudio De Amenaza, Vulnerabilidad Y Riesgo Por Movimientos En Masa, Inundación, Avenida Torrencial E Incendios Forestales En Los Municipios De Nemocón, Cogua, Tena, San Antonio Del Tequendama Y Tocaima En El Departamento De Cundinamarca.

https://tocaimacundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/tocaimacundinamarca/content/files/000357/17814_hidrologia_-cuenca-baja.pdf

Guerra López, D., & Trujillo Romero, N. A. (2021). Formulación del plan de manejo ambiental de la microcuenca Catarina del municipio de Tocaima-Departamento de Cundinamarca (Doctoral dissertation).

Guerrero Barrios, V., & Arias Duarte, C. H. (2021). Gestión de la información geográfica ambiental como herramienta para la planeación del patrimonio hídrico municipal de Tocaima Cundinamarca.

Hardy-Casado, V., Cuevas-Muñiz, A., Gallardo-Milanés, O. (2019). Aprendizaje y resiliencia en la gestión local de riesgos de desastres. *Luz*, 18(2), 42-52.

Hernández, S. M. (2020). El Acuerdo de París sobre cambio climático y el proyecto de la ley marco en Chile: Entre el protagonismo y la denegación de los pueblos indígenas. *Anuario de Derechos Humanos*, 141-153.

Hoffmann, B. (2020). Cambio Climático Y Desastres Naturales: Exposición Desigual, Impactos Y Capacidad Para Hacerles Frente. *La Crisis De La Desigualdad*, 247.

Irlanda, I. G. (2001). Manual para el diseño e implementación de un sistema de alerta temprana de inundaciones en cuencas menores. In *Manual para el diseño e implementación de un sistema de alerta temprana de inundaciones en cuencas menores* (pp. 55-55).

Josefina, G. M. (2023, Jun 29). Google lanzó dos funcionalidades celulares para ayudar a personas en situaciones de emergencia: Más del 99% de los celulares con sistema operativo Android de la Argentina ya cuentan con el Sistema de Ubicación para Emergencias y el Sistema de Alertas para Terremotos.

La

Nacion

<http://ezproxy.unbosque.edu.co:2048/login?url=https://www.proquest.com/newspapers/google-lanzó-dos-funcionalidades-celulares-para/docview/2831720568/se-2>

Sotoudeh Anvari, A. (2022). The applications of MCDM methods in COVID-19 pandemic: A state of the art review. *Applied Soft Computing*, 109238.

Kundzewicz, Z. W., Krysanova, V. (2019). *Climate change and water resources management: A federal perspective*. Springer Nature

Ley 1523 de 2012 [Congreso De Colombia]. la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el sistema nacional de gestión del riesgo de desastres y se dictan otras disposiciones”... Diario oficial 48411 DE ABRIL 24 DE 2012, 24 de abril de 2012. Colección De Legislación Colombiana. Legis Editores. https://xperta.legis.co/visor/legcol/legcol_bf168acc2c22a3847f7a0494bcc493881d6nf9/coleccion-de-legislacion-colombiana/ley-1523-de-2012.

Ley 1762 de 2015 [Congreso De Colombia]. Por medio de la cual se adoptan instrumentos para prevenir, controlar y sancionar el contrabando, el lavado de activos y la evasión fiscal. Diario oficial 49565 De Julio 6 De 2015, 06 De Julio De 2015. Colección De Legislación Colombiana. Legis Editores. https://xperta.legis.co/visor/legcol/legcol_bf106895701da2847a7945c9ed244c28660nf9/coleccion-de-legislacion-colombiana/ley-1762-de-julio-6-de-2015.

Ley 2048 de 2020 [Congreso De Colombia]. medio de la cual se adiciona el artículo 20 de la Ley 1176 de 2007 y se dictan otras disposiciones”... Diario oficial 51402 De Agosto 10 De 2020, 10 De Agosto De 2020. Colección De Legislación Colombiana. Legis Editores. https://xperta.legis.co/visor/legcol/legcol_bf10dd416704e0140628ec53cc97b21ac67nf9/coleccion-de-legislacion-colombiana/ley-2048-de-agosto-10-de-2020.

Ley 388 de 1997 [Congreso De Colombia]. Por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989, y la Ley 3ª de 1991 y se dictan otras disposiciones. Diario oficial 43091 DE JULIO 24 DE 1997, 18 de julio de 1997. COLECCIÓN DE LEGISLACIÓN COLOMBIANA. Legis Editores. https://xperta.legis.co/visor/legcol/legcol_bf1296bb3671f3a4df991580f4c58584a90nf9/coleccion-de-legislacion-colombiana/ley-388-de-1997.

Ley 99 de 1993 [Congreso De Colombia]. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones. Diario oficial 41146, 22 de diciembre de 1993. Colección De Legislación Colombiana. Legis Editores. https://xperta.legis.co/visor/legcol/legcol_bf110f18da2774041c922256781165b546nf9/coleccion-de-legislacion-colombiana/ley-99-de-1993.

Linsley, R. K., Kohler, M. A., Paulhus, J. L. (1992). *Hidrología para ingenieros (1a ed.)*. México: McGraw-Hill.

- Liu, C., Guo, L., Ye, L., Zhang, S., Zhao, Y., Song, T. (2018). A review of advances in China's flash flood early-warning system. *Natural hazards*, 92(2), 619-634.
- López-García, J. D., Carvajal-Escobar, Y., Enciso-Arango, A. M. (2017). Sistemas de alerta temprana con enfoque participativo: un desafío para la gestión del riesgo en Colombia. *Luna azul*, (44), 231-246.
- Moreira Franco, L. F. (2021). Análisis jerárquico aplicado a la determinación de la fragilidad ambiental de la subcuenca del Río Carrizal.
- Molina-Giraldo, N., & Barco-Barrera, M. (2020). Análisis de sistemas de alerta temprana en Colombia y su impacto en la gestión del riesgo de inundaciones. *Revista Politécnica*, 16(32), 50-65.
- Morales, G., & Fernández, D. (2018). Análisis de sistemas de alerta temprana para la gestión del riesgo de inundación en Colombia. *Revista de Ingeniería y Tecnología*, 12(2), 53-70.
- Narváez, L., Pérez Ortega, G., Lavell, A. (2009). La gestión del riesgo de desastres. Un enfoque basado en procesos.
- Navarro-Monterroza, E., Arias, P. A., Vieira, S. C. (2019). El Niño-Oscilación del Sur, fase Modoki, y sus efectos en la variabilidad espacio-temporal de la precipitación en Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43(166), 120-132.
- Ocampo, J., Zapata, J. (2013). *Gestión integral del recurso hídrico: principios, conceptos y métodos*. Ecoe Ediciones.
- Ocampo, M., Santa Catarina, C. (2019). Gestión del Riesgo de Desastres. *INCYTU*, 33, 1-6.
- Olivera, F., Oliveira, S., Tenório, A. (2017). Early Warning Systems for Floods. In *Handbook of Early Warning Systems* (pp. 447-472). Springer, Cham.
- Organización de las Naciones Unidas. (2019). *Atlas de desarrollo humano de Colombia*.
- Ortiz, N., Guizzardi, S., Bianchi, J., Sabarots Gerbec, M. (2020). Campaña topográfica de escalas hidrométricas sobre el río Uruguay.
- ONU, E. (2008). El cambio climático y la reducción del riesgo de desastres. *Nota Informativa No. 1*.
- OMM. (2018). *Multi-hazard Early Warning Systems: A Checklist*. World Meteorological Organization.
- Peñaranda, V., Esleydy, Y. (2019). Evaluación de redes hidráulicas en edificaciones mediante el software epanet, utilizando la tercera actualización de la norma técnica colombiana de fontanería—ntc 1500.
- Perea Hinestroza, L. M. (2019). Los objetivos de desarrollo sostenible y su inclusión en Colombia. *Producción Más Limpia*, 14(1).

Red Internacional de Sistemas de Alerta Temprana Multirriesgos (IN-MHEWS) | UN-SPIDER Knowledge Portal. (s. f.). <https://www.un-spider.org/es/network/in-mhews>

Resolución 365 de 2010 [Fiscalía General De La Nación]. Diario Oficial 47635 De Febrero 26 De 2010, 22 De Febrero De 2010. Colección De Legislación Colombiana. Legis Editores. https://xperta.legis.co/visor/legcol/legcol_bf1b4810d2671464e88864d56c3088c003bnf9/coleccion-de-legislacion-colombiana/resolucion-365-de-2010.

Karmakar, S. K. R. Saha, and B. R. Singh. (2016). "Flood Forecasting System (FFS) and Flood Management Information System (FMIS) in India: An Overview," *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 21, no. 1, p. 02515002.

Saavedra, A. G. F., Moreno, S. D. (2018). La integración de la perspectiva de género en la gestión del riesgo de desastres: de los ODM a los ODS. *Revista Internacional de Cooperación y Desarrollo*, 5(1), 31-43.

Salvador, E.; Láinez, I. J. A. M.; Sepúlveda, J., Mesa, L. J., Toro, J. A. (2017): Sistemas de alerta temprana para la gestión del riesgo por inundaciones en Colombia: estado del arte. *Revista Colombiana de Computación*, 18(1), 3-18

Shi, Y., Zhang, S., Wang, J., Liu, J., Wang, H., Chen, Y. (2018). Comprehensive study on the establishment and operation of the Yangtze River flood early warning system. *Environmental Earth Sciences*, 77(5), 198. doi:10.1007/s12665-018-7386-8 TEMPRANA PARA INUNDACIONES EN Villagrán, J. C. Sistemas comunitarios de alerta temprana en América Central. sds

Silva Pereda, J. L., Sparrow Anicama, J. F. (2021). Sistema de alerta temprana para inundaciones, Caso: Quebrada Solivín, San Jacinto–2021.

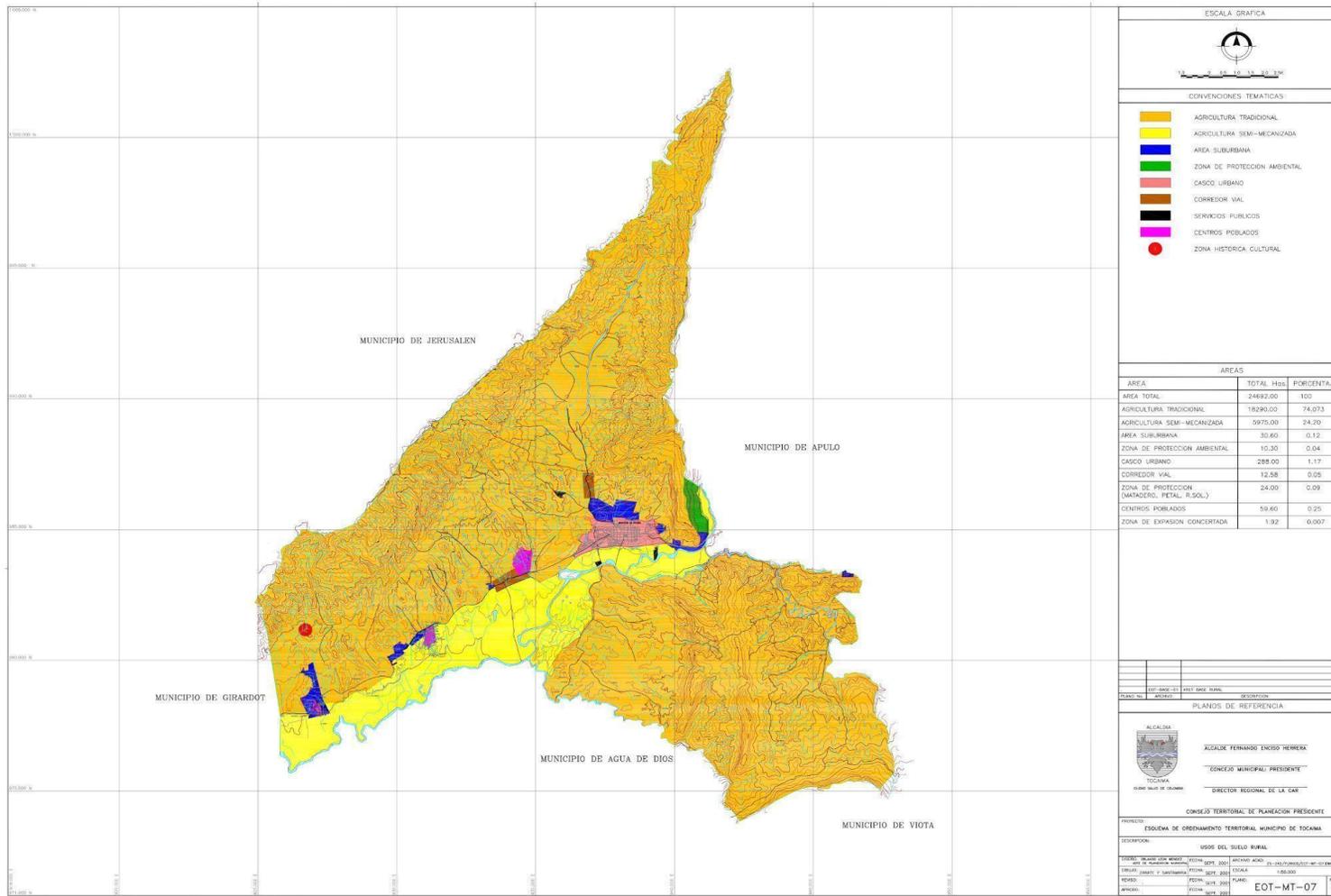
Stephanie Kent. (2001). How to measure precipitation. Illustrations from EcoKids® Online, Reproducido con permiso de Earth Day Canada, www.ecokids.earthday.ca.

Tacuña Colque, O. (2022). Plan De Contingencia Ante Riesgo De Inundación En El Municipio De Viacha, Departamento La Paz.

UNGRD. (2021). La Presencia Del Fenómeno La Niña (2020-2021) Y Su Influencia En El Clima Reciente Del País. <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Conocimiento/LA-PRESENCIA-DEL-FENOMENO-LA-NINA-2020-2021-Y-SU-INFLUENCIA-EN-EL-CLIMA-RECIENTE-DEL-PAIS.pdf>

Anexos

Anexo 1. Mapa de uso del suelo de Tocaima, Cundinamarca.



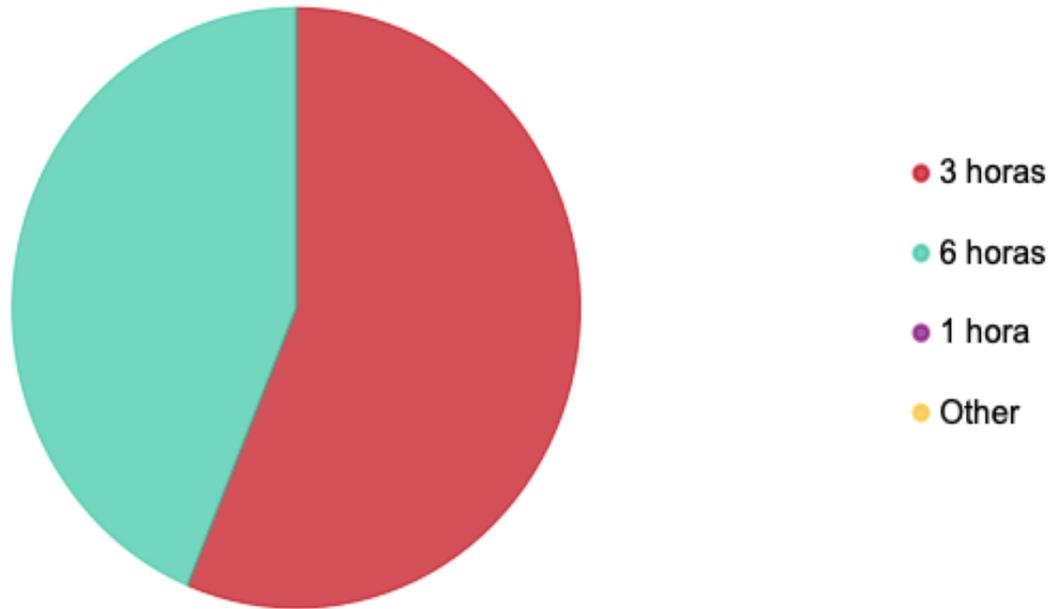
Nota: Alcaldía de Tocaima, 2022.

Anexo 3. Horas disponibles de la comunidad para trabajo en el S.A.T.

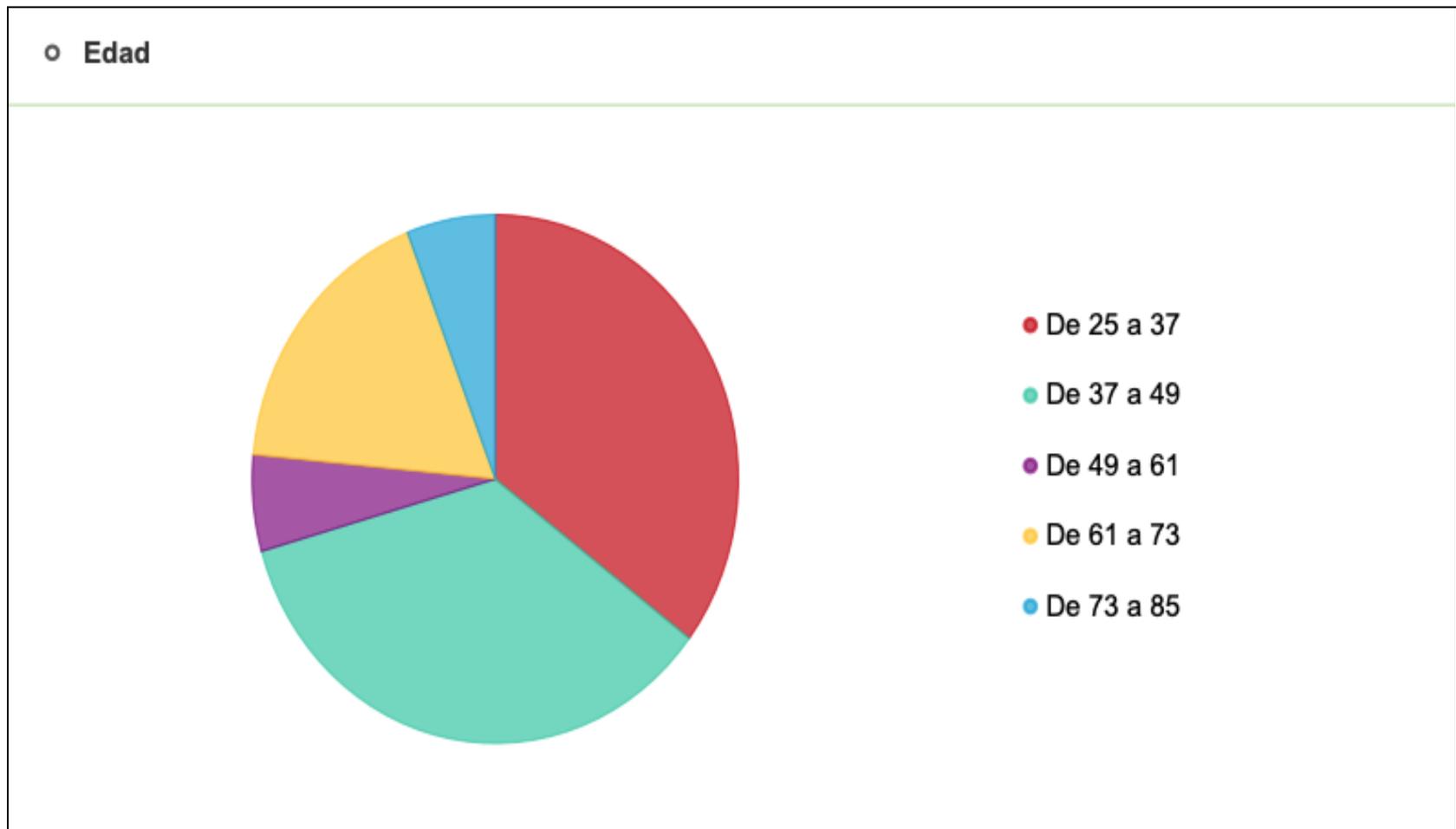


Anexo 4 . Horas de precipitación previas a una inundación.

○ ¿Por cuánto tiempo llovió antes de producirse la inundación?



Anexo 5 . Edades de los encuestados.



Anexo 6 . Encuesta a las comunidades.

Sistema de Alerta Temprana en Tocaima Cundinamarca

Evaluación de la Percepción y Preparación Comunitaria ante Inundaciones que se generan por la Avenida torrencial de la quebrada Acuatá, para la implementación de un Sistema de Alerta Temprana ante inundaciones (S.A.T.)

[Siguiente](#)  Página 1 de 4

Información Personal

Nombre*

Telefono Celular o Whatsapp

Edad

Fecha de la encuesta y Hora

¿Está usted de acuerdo en que la información proporcionada en esta encuesta pueda ser utilizada de manera anónima y confidencial para el desarrollo de un proyecto de grado?

Si

No

Atrás

Siguiente

Página 2 de 4

Conocimiento de un S.A.T.

¿Ha experimentado inundaciones en su hogar debido a lluvias?

Si

No

¿Por cuánto tiempo llovió antes de producirse la inundación?

-Seleccione-



¿De quien ha recibido ayuda en estas situaciones?

Bomberos

Policia

Defensa Civil

He recibido ayuda de la comunidad

¿Tienes conocimiento de que es un S.A.T.?

Si

No

¿Cree que la administración le ha dado importancia a la gestión del riesgo cuando ocurren las inundaciones?

Totalmente en desacuerdo

En desacuerdo

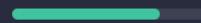
Neutral

De acuerdo

Totalmente de acuerdo

Atrás

Siguiente



Página 3 de 4

Conocimiento de las habilidades de la comunidad

Esta información con el fin de tener conocimiento de las habilidades de la comunidad.

¿Que aplicaciones sabe utilizar desde el celular o computador?

Whatsapp

Excel

Facebook

SIG

Google Maps

Con que tiempo dispone en su día para actividades voluntarias

Por donde se informa usted sobre eventos que ocurren en el municipio

Radio

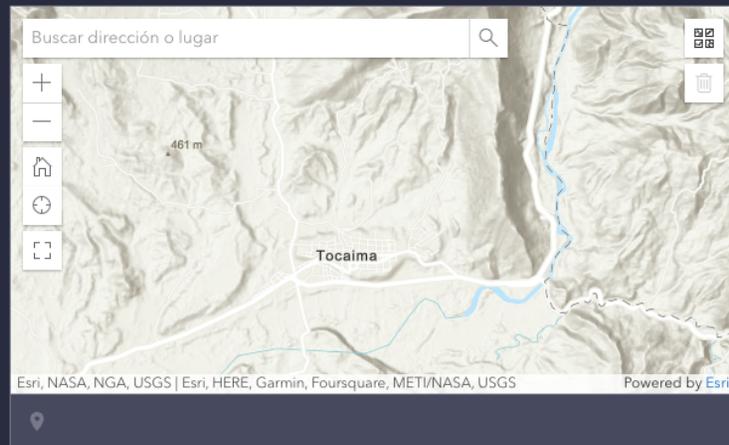
Television

Redes Sociales

Vecinos

Alarmas

En que parte del municipio reside usted?



Atrás

Submit

Página 4 de 4