



Herramientas para la apropiación social y fortalecimiento de las comunidades del Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia (SAMA)

Diana Sofía Bedoya Pérez

Informe de práctica presentado para optar al título de Ingeniera Ambiental

Asesor

Astrid Lorena Macías Ospina, Ingeniera Sanitaria

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Ambiental
Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita	(Bedoya Pérez, 2024)
Referencia	Bedoya Pérez, D.S. (2024). <i>Herramientas para la apropiación social y fortalecimiento de las comunidades del Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia (SAMA)</i>
Estilo APA 7 (2020)	[Trabajo de práctica social]. Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia.



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio Cesar Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Lina María Berrouet Cadavid.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedicado a mi madre en reconocimiento a su apoyo incondicional, por enseñarme a nunca rendirme, a siempre estar en constante aprendizaje y ser ejemplo de mujer trabajadora, resiliente y empoderada.

Agradecimientos

Quiero expresar mi profunda gratitud a los profesores y todas las personas que me apoyaron en este proceso. En especial, agradezco al profesor David Aguiar Gil por la oportunidad brindada dentro de SAMA. A Luisa María Gómez Peláez, por su guía y ejemplo de liderazgo. A Alex Estupiñán Castellanos, por su enseñanza y asesoría en las diferentes etapas. A mi asesora Astrid Lorena Macías Ospina, por su ayuda y acompañamiento constante. Y finalmente, a la Universidad de Antioquia por todos los años de enseñanza integral y su apoyo económico en la realización de este trabajo.

Tabla de contenido

Resumen	9
Abstract	10
Introducción	11
1. Objetivos	13
1.1 Objetivo general	13
1.2 Objetivos específicos.....	13
2. Marco teórico	14
2.1. Sistema de Alerta y Monitoreo Antioquia (SAMA)	14
2.3. Instrumentos de monitoreo en SAMA	15
2.3. Geoportál SAMA y umbrales de alerta	17
2.4. Apropiación social de SAMA y fortalecimiento de las comunidades.....	19
2.5. Educación ambiental en la gestión del riesgo	21
2.6. La cartografía como herramienta social	23
2.7. La hidrología al servicio de las comunidades	24
3. Metodología	27
3.1. Herramientas educativas	28
3.1.1. Recopilación de información	28
3.1.2. Definición de objetivos	28
3.1.3. Identificación de público objetivo	29
3.1.4. Diseño del contenido temático.....	29
3.2. Herramientas cartográficas internas	30
3.2.1. Descarga de datos y preparación.....	30
3.2.2. Diseño y procesamiento de mapas.....	30
3.3. Cartografía de recorridos comunitarios	31

3.3.1. Recopilación de datos y preparación	31
3.3.2. Creación y producción de mapas	32
3.4. Herramientas cartográficas externas	33
3.4.1. Selección de comunidades	33
3.4.2. Mapeo y registro de las comunidades seleccionadas	33
3.5. Herramientas hidrológicas.....	33
3.5.1. Selección de la zona de estudio	33
3.5.2. Obtención de datos topográficos y climáticos	34
3.5.3. Delimitación de la cuenca hidrográfica	34
3.5.4. Interpolación de datos de precipitación	34
3.5.5. Cálculos de ETP, ETR y caudal medio multianual.....	35
4. Resultados	37
4.1. Herramientas educativas	37
4.2. Herramientas cartográficas.....	38
4.2.1. Mapa general de SAMA	38
4.2.2. Mapas de SAMA en cada municipio	39
4.2.3. Cartografía de recorridos comunitarios	44
4.2.4. Mapeo abierto para la gestión del riesgo	46
4.4. Herramientas hidrológicas.....	47
4.4.1. Precipitación media multianual.....	48
4.4.2. Evapotranspiración potencial.....	51
4.4.3. Mapa de temperaturas	52
4.4.4. Evapotranspiración real	53
4.4.5. Caudal medio multianual	55
5. Análisis.....	57

6. Conclusiones	61
Referencias	63

Lista de tablas

Tabla 1 Descripción de los instrumentos instalados por SAMA.....	16
Tabla 2 Simbología para los niveles de alerta en SAMA.....	18
Tabla 3 Estaciones pluviométricas (PM) seleccionadas para el análisis hidrológico.	35
Tabla 4 Contenido temático del curso propuesto para la apropiación social y fortalecimiento de las comunidades de SAMA.....	37
Tabla 5 Resultados del cálculo de precipitación media multianual con método de polígonos de Thiessen en la cuenca de Salgar	49
Tabla 6 Resultados del cálculo de precipitación media multianual con método de polígonos de Thiessen en la microcuenca sensor	50
Tabla 7 Resultados de evapotranspiración real de las cuencas usando los valores de PPmultianual de Thiessen.....	54
Tabla 8 Resultados de caudal medio multianual y rendimiento hídrico para las cuencas de estudio	56

Lista de figuras

Figura 1 Visualización del Geoportal de SAMA	17
Figura 2 Representación sintetizada de la metodología	27
Figura 3 Recorrido comunitario SAMA por Apartado, Antioquia	32
Figura 4 Mapa con ubicación de los instrumentos de monitoreo de SAMA y los municipios prioritizados	39
Figura 5 Mapas por municipio de las ubicaciones de los instrumentos de SAMA.....	39
Figura 6 Mapas de los recorridos territoriales realizados por SAMA	44
Figura 7 Capturas de pantalla del mapa antes y después de agregar la información cartográfica	46
Figura 8 Mapa general de elevación digital (DEM) y red hídrica. (a) Cuenca, (b) Microcuenca	48
Figura 9 Mapa de precipitación multianual por método de polígonos de Thiessen. (a) Cuenca, (b) Microcuenca	49
Figura 10 Mapa de precipitación media multianual por método de IDW con estaciones IDEAM	50
Figura 11 Mapa de precipitación media multianual por método de IDW (a) cuenca Salgar, (b) microcuenca	51
Figura 12 Mapa de evapotranspiración potencial por método de Cenicafé (a) Cuenca, (b) Microcuenca	52
Figura 13 Mapa de temperaturas promedio (a) Cuenca, (b) Microcuenca	53
Figura 14 Mapa de evapotranspiración real de las cuencas por método Budyko usando los valores de Ppmultianual IDW (a) Cuenca, (b) Microcuenca	54
Figura 15 Mapa de evapotranspiración real de las cuencas por método de Turc usando los valores de Ppmultianual IDW	55

Siglas, acrónimos y abreviaturas

CMGRD	Concejo Municipal de Gestión de Riesgo
DAGRAN	Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres de Antioquia
ETP	Evapotranspiración potencial
ETR	Evapotranspiración real
GANT	Gobernación de Antioquia
HOTOSM	Humanitarian OpenStreetMap Team
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
OSM	OpenStreetMap
PP	Precipitación promedio o precipitación media
SAMA	Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia
SIG	Sistema de Información Geográfica
UdeA	Universidad de Antioquia
UNGRD	Unidad de Gestión de Riesgo de Desastres

Resumen

Este trabajo presenta una propuesta con herramientas sociales para el Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia (SAMA), Colombia, como elemento fundamental en la gestión del riesgo de desastres en Antioquia, para contribuir en la apropiación social del sistema, así como fortalecer las comunidades vulnerables. Este trabajo se enfoca en el desarrollo de una propuesta de capacitación, cartografía y análisis hidrológico de la cuenca de la quebrada Liboriana en el municipio de Salgar. El curso teórico busca dotar a las comunidades de conocimientos básicos sobre su territorio y sobre SAMA para mejorar su comprensión de los riesgos y capacidad de respuesta. La cartografía incluye la creación de mapas detallados con la ubicación de estaciones de monitoreo y otros elementos clave, facilitando la visualización de SAMA a las comunidades. Por último, el análisis hidrológico utiliza métodos como los Polígonos de Thiessen y Ponderación de Distancia Inversa (IDW) para calcular la precipitación media multianual, y los métodos de Cenicafé, Budyko y Turc para estimar la evapotranspiración y el caudal medio de largo plazo, proporcionando información crucial para la toma de decisiones en la gestión del riesgo. Los resultados de esta metodología destacan la importancia de la educación, la participación comunitaria y el análisis técnico para mejorar la resiliencia y la capacidad de adaptación de las comunidades frente a eventos extremos. Los niveles de caudal medio resultantes fueron iguales o superiores al promedio del país, que es un valor superior al promedio de Latinoamérica.

Palabras clave: ingeniería ambiental, educación ambiental, cartografía, hidrología

Abstract

This work presents a proposal with social tools for the Antioquia Alert and Monitoring System (SAMA), Colombia, as a fundamental element in disaster risk management in Antioquia, to contribute to the social appropriation of the system, as well as strengthen communities vulnerable. This work focuses on the development of a proposal for training, mapping, and hydrological analysis of the Liboriana stream basin in the municipality of Salgar. The theoretical course seeks to provide communities with basic knowledge about their territory and about SAMA to improve their understanding of risks and response capacity. Cartography includes the creation of detailed maps with the location of monitoring stations and other key elements, making it easier for communities to visualize SAMA. Finally, the hydrological analysis uses methods such as Thiessen Polygons and Inverse Distance Weighted (IDW) to calculate the multi-year average precipitation, and the Cenicafé, Budyko and Turc methods to estimate evapotranspiration and long-term average flow, providing crucial information for decision-making in risk management. The results of this methodology highlight the importance of education, community participation and technical analysis to improve the resilience and adaptive capacity of communities in the face of extreme events. The resulting average flow levels were equal to or higher than the country average, which is a value higher than the Latin American average.

Keywords: environmental engineering, environmental education, mapping, hydrology

Introducción

El cambio climático perturba el ciclo hidrológico, afectando adversamente a los ecosistemas y la sociedad. Según el IPCC (2012), en América, Asia y el norte de Europa se observan tendencias hacia un aumento de la precipitación, lo que incrementa la probabilidad e intensidad de eventos extremos de precipitación aumentando también la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos e inundaciones. Colombia es altamente vulnerable a los efectos del cambio climático y la variabilidad climática, especialmente por la recurrencia de eventos climáticos como El Niño y La Niña, que tienen un impacto socioeconómico significativo en el país. Un ejemplo de pérdidas económicas por eventos climáticos es el fenómeno “La Niña” de 2010-2011, que dejó cerca de 5,2 millones de personas afectadas (López-García, 2016). Sin embargo, las amenazas naturales por sí solas no causan desastres; estos se generan por la combinación de factores como una población expuesta, vulnerable y poco preparada.

A través del Sistema de Alerta y monitoreo de Antioquia (SAMA), la Gobernación de Antioquia (GANT) busca proteger vidas, reduciendo el riesgo de eventos hidrometeorológicos mediante el monitoreo de fuentes hídricas, variables meteorológicas y recolección de datos en campo, transmitidos en tiempo real al portal del Departamento Administrativo de Gestión de Riesgo en Antioquia (DAGRAN). La problemática que aborda el sistema se centra en la vulnerabilidad de la región ante desastres hidrometeorológicos, como inundaciones, crecientes súbitas y avenidas torrenciales, con potenciales consecuencias humanas y materiales significativas.

Por ende, el objetivo principal del sistema es prevenir y minimizar los impactos de estos eventos, empoderando a las comunidades con información para activar los protocolos de actuación correspondientes (Universidad de Antioquia [UdeA], 2023). En este contexto, se busca la apropiación social de SAMA y el fortalecimiento de las capacidades comunitarias para el monitoreo del riesgo, así como la interpretación y análisis de los datos proporcionados por el sistema. A pesar de los avances tecnológicos y la disponibilidad de información proporcionada por SAMA, la efectividad de la gestión del riesgo de desastres hidrometeorológicos depende en gran medida de la comprensión y participación de las comunidades locales. Es esencial que las comunidades estén informadas, capacitadas y empoderadas para interpretar la información proporcionada por SAMA y tomar decisiones informadas en caso de emergencia.

En este sentido, este trabajo se enfoca en la propuesta y desarrollo de algunas herramientas para fortalecer la participación comunitaria en la gestión del riesgo de desastres hidrometeorológicos en Antioquia. Se busca promover la educación ambiental, la capacitación comunitaria, la cartografía participativa y el análisis hidrológico para mejorar la preparación y capacidad de respuesta de las comunidades ante eventos adversos.

Este trabajo pretende hacer un aporte para el Sistema de Alerta Temprana de Antioquia (SAMA) en su trabajo como gestora del riesgo hidrometeorológico en las comunidades vulnerables.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Proponer herramientas que fortalezcan las capacidades comunitarias para la gestión del riesgo mediante el apoyo a las estrategias de apropiación social del Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia (SAMA).

1.2 Objetivos específicos

- Identificar temas clave en material de talleres comunitarios realizados en SAMA y proponer un curso con conocimientos básicos en variables hidrometeorológicas, funcionamiento del sistema y gestión del riesgo.
- Diseñar cartografía relacionada con las ubicaciones de las estaciones de monitoreo y los recorridos de los talleres de apropiación social y reconocimiento del territorio, para comprender mejor su distribución de la red de monitoreo y sus alcances en las comunidades.
- Aportar información cartográfica en comunidades vulnerables a desastres de origen hidrometeorológicos, con el fin de facilitar visualización de la información para la toma de decisiones en la gestión del riesgo.
- Determinar el balance hídrico de una cuenca priorizada por SAMA, mediante datos recopilados del IDEAM, con el fin de proporcionar mapas y herramientas adicionales para la gestión del riesgo de desastres.

2. Marco teórico

2.1. Sistema de Alerta y Monitoreo Antioquia (SAMA)

La Universidad de Antioquia (UdeA) y el Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Antioquia (DAGRAN) colaboran en el desarrollo del Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia (SAMA) para enfrentar la vulnerabilidad de Antioquia ante desastres hidrometeorológicos. Este esfuerzo conjunto busca fortalecer la capacidad de respuesta ante eventos adversos y mejorar la gestión del riesgo en la región (UdeA, 2022).

El propósito de este acuerdo busca integrar esfuerzos técnicos, administrativos y logísticos para fortalecer el conocimiento del riesgo en el territorio antioqueño. Esto se logra mediante la implementación del SAMA y su integración en el Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres, lo que permite una mejor preparación y respuesta ante eventos adversos (UdeA, 2023).

SAMA se erige como una herramienta de vital importancia en la gestión y prevención de desastres en la región. Su diseño y desarrollo tienen como objetivo primordial brindar información oportuna y precisa sobre las condiciones climáticas y los niveles de riesgo hidrometeorológico en áreas priorizadas de Antioquia. Esta iniciativa es el resultado de un esfuerzo continuo de Antioquia para mejorar la preparación y respuesta ante eventos hidrometeorológicos adversos, basándose en la experiencia y éxito de sistemas de alerta y monitoreo implementados en el Valle de Aburrá y otras regiones.

La implementación de SAMA en Antioquia se enmarca en un contexto de creciente conciencia sobre la necesidad de adoptar enfoques proactivos para la gestión del riesgo. El convenio firmado entre la UdeA y DAGRAN en 2021 es el fundamento de esta colaboración, priorizando cuencas y corrientes de agua identificadas por su alto riesgo y fortaleciendo las capacidades comunitarias para el monitoreo del riesgo. Esta alianza estratégica representa un modelo a seguir en la gestión del riesgo a nivel regional y nacional (Gobernación de Antioquia [GANT], 2022).

Este proyecto busca reducir la vulnerabilidad de la población y fortalecer la capacidad de respuesta ante desastres, y fomentar una cultura de gestión del riesgo en la región (GANT, 2020). Para lograr estos objetivos, el sistema utiliza una variedad de herramientas y tecnologías, como

estaciones meteorológicas, radares, satélites, sistemas de monitoreo hidrológico, modelos de pronóstico, plataformas de información geográfica, entre otros.

La priorización de los municipios en Antioquia para la implementación del Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia (SAMA) se basa en estudios de riesgo, planes de ordenamiento territorial y otros instrumentos de planificación propios de los municipios, así como en información hidrometeorológica del IDEAM y conversaciones con las administraciones municipales y comunidades. Se priorizan aquellos municipios que presentan un alto riesgo ante la ocurrencia de eventos naturales extremos, como avenidas torrenciales, inundaciones, crecientes súbitas o desbordamientos, con el objetivo de proteger a la vida de la población y sus bienes (GANT, 2020).

La priorización de los territorios se ha llevado a cabo desde 2020 en colaboración con el DAGRAN y posteriormente, a partir de 2021, con la implementación del convenio SAMA-UdeA. Este convenio ha avanzado significativamente en la identificación y priorización de nuevas comunidades, lo que ha permitido la instalación y operación efectiva de instrumentación en los territorios seleccionados (UdeA, 2022), el desarrollo de una página web para la visualización dinámica de la información del DAGRAN (<https://dagan.antioquia.gov.co>), la emisión de boletines de pronóstico meteorológico por parte de SAMA y el uso del Geoportal de SAMA. Actualmente, se han priorizado 36 municipios para la instalación de estaciones de monitoreo como se muestra en la **Figura 4**.

El Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia (SAMA) integra diversas acciones y componentes, tales como

- Instalación, mantenimiento y operación de equipos en comunidades priorizadas.
- Desarrolla el Sistema de información para la gestión del riesgo de Antioquia por medio de la página web para la visualización de la información (<https://dagan.antioquia.gov.co>).
- Evalúa el desempeño de simulaciones atmosféricas para pronóstico meteorológico de Antioquia y entrega boletines meteorológicos.
- Apropiación social del sistema y fortalecimiento de capacidades de los Consejos Municipales de Gestión del Riesgo de Desastres (CMGRD).

2.3. Instrumentos de monitoreo en SAMA

El proceso de priorización de cuencas implica la instalación de una variedad de instrumentos de monitoreo de variables hidrometeorológicas, que son fundamentales para recopilar

datos en tiempo real sobre condiciones climáticas y niveles de agua mediante telemetría. Estos datos permiten una mejor comprensión de los riesgos asociados con eventos hidrometeorológicos extremos y facilitan la toma de decisiones informadas en la gestión del riesgo de desastres. Los instrumentos instalados por SAMA se muestran en la **Tabla 1**.

Tabla 1
Descripción de los instrumentos instalados por SAMA

Instrumento	Definición	Imagen							
Alarma	Instrumento sonoro que permite alertar a la comunidad sobre un peligro o situación de riesgo relacionada con crecientes súbitas, desbordamientos o avenidas torrenciales generadas por ríos y/o quebradas.								
Pluviómetro	Mide la cantidad de agua que cae durante un evento de lluvia en un punto específico o zona de interés. Con esto es posible monitorear la intensidad de las precipitaciones en diferentes escalas de tiempo								
Estación meteorológica	Instrumento integral que además de permitir monitorear precipitación (lluvia), también puede monitorear temperatura, humedad relativa, radiación solar y viento (velocidad y dirección).	<table border="0"> <tr> <td data-bbox="691 1020 998 1125">Piranómetro: mide la radiación solar</td> <td data-bbox="998 1020 1161 1125"></td> <td data-bbox="1161 1020 1422 1367" rowspan="3"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="691 1125 998 1230">Anemómetro: mide la velocidad del viento</td> <td data-bbox="998 1125 1161 1230"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="691 1230 998 1367">Sensor de temperatura: mide la temperatura</td> <td data-bbox="998 1230 1161 1367"></td> </tr> </table>	Piranómetro: mide la radiación solar			Anemómetro: mide la velocidad del viento		Sensor de temperatura: mide la temperatura	
Piranómetro: mide la radiación solar									
Anemómetro: mide la velocidad del viento									
Sensor de temperatura: mide la temperatura									
Sensor de nivel	Mide la altura de la superficie o lámina del agua que fluye en un punto determinado del cauce. Conociendo la capacidad hidráulica y las condiciones hidrológicas de la cuenca, es posible identificar situaciones de riesgo para las comunidades.								
Cámara	Permite monitorear de cerca los cambios en ríos y quebradas complementando las mediciones del sensor de nivel. Con esto es posible identificar situaciones como desbordamientos y represamientos que pueden generar riesgos para la comunidad.								

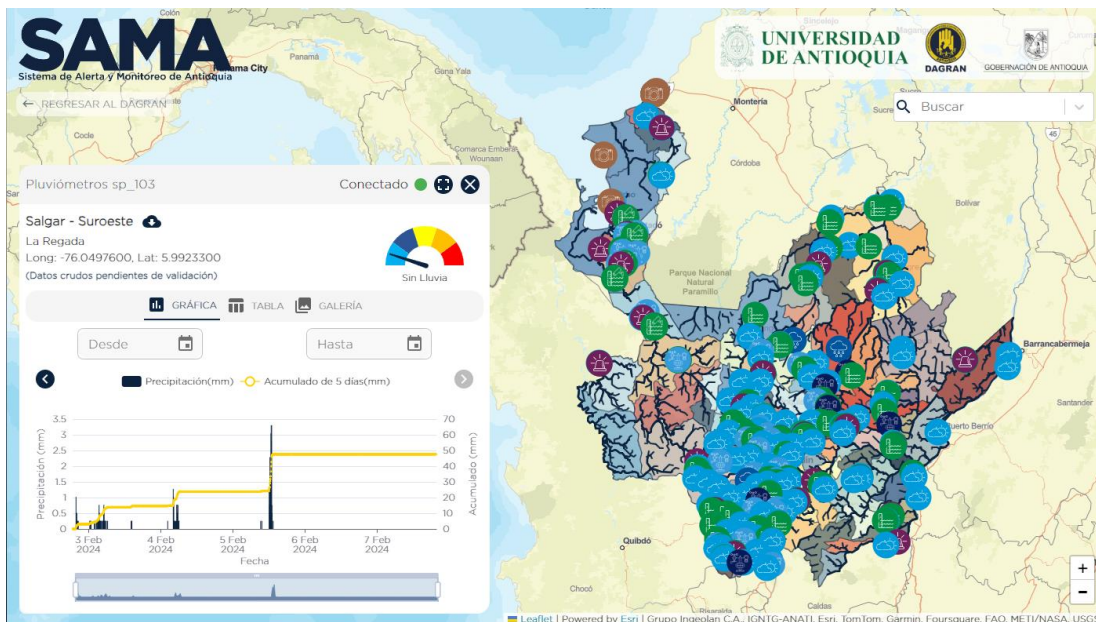
Nota. Adaptado de SAMA (2023)

La telemetría es un sistema de transmisión remota de información mediante la utilización de tecnologías de telecomunicaciones (Space4water, s.f) en este caso se realiza por medio de tarjetas SIM con acceso a internet (SAMA, 2023). En el contexto del monitoreo hidrometeorológico, la telemetría se refiere a la transmisión de datos de variables desde estaciones de monitoreo ubicadas en cuencas hidrográficas hasta centros de control o sistemas de alerta.

2.3. Geoportal SAMA y umbrales de alerta

El Geoportal de SAMA ofrece una visualización en tiempo real del monitoreo por telemetría de cuencas hídricas, lo que contribuye al conocimiento y la reducción del riesgo de desastres, así como al fortalecimiento de las capacidades en el Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (CMGRD). Además, el Geoportal realiza la evaluación del desempeño de simulaciones atmosféricas para mejorar el pronóstico en Antioquia y proporciona boletines meteorológicos (SAMA, 2023). Para lograr esto, se ha desarrollado un software especializado que recibe información cada minuto de las estaciones de monitoreo y se cuenta con personal experto en ingeniería, geociencias y capacitado en hidrometeorología para la gestión de la información y la emisión de alertas (GANT, 2020). En la **Figura 1** se muestra la apariencia del Geoportal SAMA.








Figura 1
Visualización del Geoportal de SAMA



Nota. Fuente <https://DAGRAN.antioquia.gov.co/sama> (DAGRAN, 2024).

El Geoportal no solo muestra los datos cuantitativamente, sino que también los interpreta cualitativamente para facilitar su comprensión, por ejemplo, mediante la utilización de colores para indicar el nivel de alerta. La simbología para los niveles de alerta se presentan en la **Tabla 2**.

Tabla 2
Simbología para los niveles de alerta en SAMA

Niveles de alerta en pluviómetros y estaciones meteorológicas			Niveles de alerta en sensores de nivel		
Azul claro		Sin lluvia	Verde		Nivel de agua seguro
Azul oscuro		Lluvia baja			
Amarillo		Alerta amarilla (lluvia moderada)	Amarillo		Nivel de prevención (Umbral amarillo)
Naranja		Alerta naranja (lluvia alta)	Naranja		Nivel de precaución (Umbral naranja)
Rojo		Alerta roja (lluvia extrema)	Rojo		Nivel de alerta (Umbral rojo)

Nota. Adaptado de <https://DAGRAN.antioquia.gov.co/sama> (DAGRAN, 2024).

Para determinar los niveles de alerta del SAMA, se sigue una metodología hidrológica e hidráulica. Entre las acciones llevadas a cabo para determinar los niveles de precipitación, se incluye la recopilación de información satelital, datos anuales de precipitación del IDEAM, datos de eventos extremos del DAGRAN y Unidad Nacional Gestión de Riesgo de desastres (UNGRD), y la caracterización de cada cuenca. Se procede a identificar lluvias críticas, lo cual se logra identificando las lluvias más fuertes y aquellas que están relacionadas con eventos de inundación, creciente súbita o avenida torrencial. Se calcula la lluvia acumulada de estas últimas. Luego, se determina el nivel mínimo de lluvia que generó inundación y se define el punto crítico en un gráfico que relaciona los milímetros de lluvia con el tiempo de duración, lo que corresponde a la alerta roja. Por ejemplo, 60 mm de lluvia acumulada en menos de 12 horas. A partir de este punto, se generan alertas naranjas y amarillas a medida que se acerca al punto crítico. El valor no es único para cada municipio, sino que varía dependiendo de las características de la cuenca hidrográfica.

Para determinar los umbrales de los sensores, se realiza un levantamiento topobatimétrico que consiste en medir la profundidad y la sección transversal. Posteriormente, se determina el valor del offset, que es la distancia desde el sensor del nivel hasta el lecho de la quebrada. Se miden los niveles críticos en la sección donde está ubicado el sensor, que es la medida hasta la banca llena, es decir, el punto en el que está a punto de desbordarse. Con estos valores, se ajustan los eventos registrados por el sensor de nivel o los que se presentan en las comunidades. De esta manera, el nivel de alerta roja se genera cuando se alcanza este punto crítico calculado, mientras que el naranja y el amarillo se generan poco antes de que se cumpla dicho punto crítico. (SAMA, 2023).

Cuando se detecta una alarma roja, se activan ciertos protocolos, que incluyen, comunicar la situación al Concejo Municipal de Gestión de Riesgo de Desastres (CMGRD) y al DAGRAN para informar de la situación, y de forma conjunta se decide informar al líder de la comunidad encargado de activar la alarma sonora. El CMGRD activa su protocolo junto con los bomberos para salvaguardar vidas. El líder puede proceder a hacer un monitoreo continuo de la creciente en la medida de lo posible, utilizando evidencia audiovisual, y se mantiene el canal de comunicación activo con SAMA hasta que se retorne a condiciones seguras (SAMA, 2023).

2.4. Apropiación social de SAMA y fortalecimiento de las comunidades

El Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia (SAMA) enfatiza la importancia de capacitar a las comunidades y fomentar su participación en la gestión del riesgo. Se realizan talleres y actividades de sensibilización para que comprendan el funcionamiento de los sistemas de alerta y sepan cómo actuar en caso de emergencia. Además, se ha puesto énfasis en aspectos sociales, como el conocimiento detallado de las comunidades, la creación de cartografía social para identificar vulnerabilidades y la promoción de la apropiación social de SAMA para fortalecer su uso en las comunidades. Estos logros se han alcanzado a través de talleres que abordan conceptos básicos sobre los ríos y territorios, la promoción del sentido de pertenencia, y la entrega de la Ruta Metodológica para la Construcción del Plan Comunitario de Gestión del Riesgo (SAMA, 2023).

Se destaca la importancia de la apropiación social del sistema, que implica la interpretación y análisis comunitario de las variables hidrometeorológicas, para mantener las estrategias a lo largo del tiempo. Se elaboran estrategias de apropiación social, incluyendo talleres y bitácoras, para la democratización del conocimiento y empoderamiento de las comunidades con el sistema. El objetivo es fortalecer las capacidades comunitarias, enfatizando su participación en la gestión y

monitoreo del riesgo de desastres, abordando fenómenos como inundaciones, crecientes súbitas y avenidas torrenciales.

El proyecto se concibe como una iniciativa de largo plazo con el propósito de arraigarse en las comunidades de manera casi autónoma. En este sentido, la población se encarga de verificar el estado de las estaciones y activar sus propias alarmas, lo que les permite continuar mejorando su plan de gestión del riesgo. Este compromiso prolongado refleja la dedicación constante hacia la gestión del riesgo y la seguridad en la región (SAMA, 2023).

Todo esto se desarrolla en el marco de la ley 1523 de 2012 de Colombia, que enfoca en la prevención y atención de desastres, creando la Política Nacional (PNGRD) y el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD), para articular acciones a nivel nacional, departamental y municipal. La ley destaca la importancia de la identificación y evaluación de riesgos, la elaboración de planes de gestión del riesgo, la participación de la comunidad, y la coordinación interinstitucional. Busca implementar acciones específicas destinadas a mitigar la vulnerabilidad y asegurar una respuesta eficaz en situaciones de emergencia, fomentando la salvaguardia de la vida, la integridad y el patrimonio de la población.

Además, la norma reconoce que la Gestión del Riesgo es un proceso social, subrayando su naturaleza como construcción colectiva en la cual la comunidad desempeña un papel esencial como creadora y promotora. En este contexto, la participación de las personas implica la disponibilidad de información oportuna, acceso a formación y cualificación en asuntos relacionados con la gestión del riesgo, la existencia de espacios colectivos para expresar necesidades, orientación para hacer valer derechos y cumplir con obligaciones, y la realización de una planificación participativa para el desarrollo local (Ley 1523, 2012).

Colombia enfrenta grandes desafíos en la gestión del riesgo por inundaciones, principalmente debido a la ubicación de asentamientos humanos en zonas altamente vulnerables, condiciones climáticas cambiantes y actividades que alteran la dinámica de los ríos. La ocurrencia de inundaciones puede provocar la pérdida de vidas humanas, daños en la infraestructura y retrasos en el desarrollo del país (Cárdenas, 2018). En la actualidad, se está produciendo un cambio significativo en la forma en que se entienden las causas de las pérdidas relacionadas con desastres. Cada vez más, se reconoce que la vulnerabilidad es el factor principal que contribuye a estas pérdidas. Este cambio de perspectiva ha llevado a buscar acciones específicas para reducir esta vulnerabilidad (Cruz & Karime, 2012). En los últimos años, se ha reconocido la importancia de

articular la gestión del riesgo con la gestión pública, enfocándose en procesos que incluyan la apropiación de políticas sólidas y la colaboración entre diferentes actores sociales. Además, la falta de educación ambiental en temas de riesgos para las comunidades dificulta la planificación y prevención de desastres, aumentando la vulnerabilidad y el riesgo en general (Cárdenas, 2018).

2.5. Educación ambiental en la gestión del riesgo

La gestión del riesgo de desastres es un proceso social complejo que tiene como objetivo principal la reducción, previsión y control permanente de los riesgos asociados a eventos catastróficos. Este proceso no se limita únicamente a la respuesta ante emergencias, sino que también abarca actividades de prevención, mitigación y preparación. La gestión del riesgo de desastres es un proceso social complejo que tiene como objetivo principal la reducción, previsión y control permanente de los riesgos asociados a eventos catastróficos. Este proceso no se limita únicamente a la respuesta ante emergencias, sino que también abarca actividades de prevención, mitigación y preparación (Cruz, 2012).

La educación ambiental en la gestión del riesgo desempeña un papel fundamental al proporcionar conocimiento a individuos y comunidades vulnerables sobre el nivel de riesgo y las amenazas naturales. Este conocimiento les permite adoptar medidas preventivas y de mitigación adecuadas antes, durante y después de la ocurrencia de un fenómeno natural, así como reducir los riesgos al participar activamente en la toma de decisiones y en la gestión de riesgos de desastres de su municipio. Además, fomenta una mayor conciencia y comprensión de la relación entre la sociedad y el entorno natural, promoviendo prácticas más sostenibles y resilientes ante eventos adversos. Es crucial para preparar adecuadamente a las comunidades para hacer frente a eventos como inundaciones, crecientes súbitas o avenidas torrenciales (Ordóñez-Díaz et al, 2018).

La prevención de desastres implica actuar sobre la amenaza y los elementos que determinan la vulnerabilidad. La mayoría de los desastres pueden prevenirse mediante actividades de prevención y mitigación. Un desastre es la destrucción parcial o total, transitoria o permanente, actual o futura, de un ecosistema y, por ende, de vidas humanas, del entorno y de las condiciones de subsistencia. Ocurren cuando una fuerza o energía potencialmente destructiva (amenaza) impacta un medio caracterizado por su debilidad ante esta o su incapacidad para recuperarse (vulnerabilidad), determinando la intensidad del desastre, es decir, el grado de destrucción de la vida. Existe una relación entre la amenaza, la probabilidad de que ocurra un evento de cierta

magnitud y tipo en un período determinado, y la vulnerabilidad, que se refiere a los elementos contruidos en el ecosistema que agravan el fenómeno o exponen a la población. En este contexto, el riesgo se entiende como una función compleja de la amenaza y la vulnerabilidad, siendo la vulnerabilidad relativa a una amenaza preexistente y aumentada por el uso inadecuado, la explotación excesiva o la gestión inapropiada del patrimonio natural (Chaparro & Reinard, 2005).

También es importante hacer una distinción entre fenómeno natural y fenómeno socionatural. Los desastres naturales, como tormentas, tsunamis, avalanchas, huracanes, erupciones volcánicas, sequías, sismos e inundaciones, son manifestaciones de la Tierra en respuesta al movimiento geológico, topográfico, atmosférico o hidrológico del planeta. Por otro lado, el fenómeno socionatural ocurre cuando las amenazas originadas en fenómenos naturales se activan o aumentan debido a nuestras acciones, como la tala de bosques, la construcción o la contaminación. Un ejemplo de esto es cuando llueve y los ríos o quebradas, taponados por basuras o construcciones, causan inundaciones. Así, cuando un fenómeno natural o socionatural afecta a una zona habitada vulnerable, se considera una amenaza y hablamos de riesgo de desastre, que es la posibilidad de que una comunidad o vivienda sufra daños o pérdidas debido a estas amenazas (UPN & MinInterior, 2021).

Entre los desastres de origen hidrometeorológico, las inundaciones se presentan en diversas formas y con distintos niveles de intensidad. Las inundaciones lentas se producen por rebosamientos del caudal del río en zonas planas con valles aluviales extensos, con incrementos diarios de nivel del orden de centímetros. Aunque afectan grandes extensiones, suelen provocar pocas pérdidas de vidas humanas. En contraste, las crecientes súbitas, que responden rápidamente a fuertes precipitaciones en las partes altas de las cuencas, afectan áreas más pequeñas, pero tienen un poder destructivo potencialmente mayor. Los incrementos de nivel en las crecientes súbitas pueden alcanzar varios metros en pocas horas, y su impacto se mantiene en las zonas afectadas durante horas o pocos días, siendo comunes en cuencas de alta pendiente. Por último, las avenidas torrenciales, se originan principalmente por represamientos de agua en partes altas. En ocasiones, su aparición se anticipa debido a un descenso o estancamiento del caudal del río, a pesar de las intensas lluvias, y su impacto afecta tanto por agua como por tierra (DAGRAN, 2023).

Las inundaciones, crecientes súbitas y avenidas torrenciales pueden ser incrementadas por la variabilidad climática, incluidos los fenómenos de La Niña y El Niño, cuyos impactos se han visto incrementados por el calentamiento global. La Niña se caracteriza por un enfriamiento

anómalo de las aguas del Pacífico, lo que resulta en un aumento en la frecuencia e intensidad de las lluvias en diversas regiones. Por otro lado, durante El Niño, se observa un calentamiento inusual de las aguas del Pacífico, lo que puede provocar sequías y suelos con menor permeabilidad, lo que resultaría en mayores escorrentías que elevan los niveles de los ríos y suelos más erosionados que, al llover, podrían ocasionar avenidas torrenciales. (Otalvaro, 2000).

2.6. La cartografía como herramienta social

Como el escritor de literatura Paul Theroux dice, "la cartografía es la más científica de las artes y la más artística de las ciencias". Los mapas son registros históricos y sociológicos que pueden representar el estado del paisaje o la ubicación de elementos importantes para la humanidad. La creación de mapas depende de las herramientas disponibles para el cartógrafo, del propósito del mapa y de los conocimientos que se desean comunicar. Para analizarlos, se pueden clasificar en dos grandes grupos: los topográficos y los temáticos. Los primeros muestran la distribución espacial de rasgos naturales y artificiales del paisaje, como la topografía, la red hidrográfica, como límites políticos y los asentamientos humanos. Los mapas temáticos, por otro lado, se centran en representar variaciones espaciales y características específicas, como los patrones de precipitación en una región, la estructura socioeconómica de una región o los impactos del cambio climático en un ecosistema. En resumen, los mapas son herramientas versátiles que pueden capturar una amplia gama de información científica y social (Abad, 2011).

Presentar a las comunidades y población en general mapas de las ubicaciones de las estaciones de monitoreo del Sistema de Alerta y Monitoreo (SAMA) es crucial para aumentar la conciencia sobre la existencia y el propósito del sistema, al proporcionar información clara y visual sobre dónde se encuentran ubicadas las estaciones. Esta mayor conciencia puede llevar a una mejor comprensión de los riesgos hidrometeorológicos y a una mayor disposición para tomar medidas preventivas o de respuesta. Además, mostrar las ubicaciones de las estaciones promueve la transparencia en el funcionamiento del sistema, lo que puede aumentar la confianza de la comunidad en la información proporcionada por el SAMA.

Los recorridos comunitarios de apropiación social del sistema son mapas temáticos que indican el recorrido a realizar, las ubicaciones de las estaciones en la comunidad y el entorno en el que se encuentran. Estos mapas ayudan a los participantes a comprender la distribución del monitoreo y cómo está integrado en su contexto local. Esto puede fomentar una mayor

participación y colaboración de la comunidad en el sistema, ya que les permite visualizar claramente cómo pueden contribuir con información local que complementa la de las estaciones.

OpenStreetMap (OSM) es un proyecto colaborativo y de código abierto que tiene como objetivo crear un mapa del mundo editable y gratuito. A diferencia de otros mapas en línea, OSM permite a cualquier persona ver, editar y utilizar los mapas de manera gratuita, lo que lo convierte en una herramienta poderosa para la comunidad cartográfica y humanitaria. OSM se convierte en una fuente de información actualizada y detallada en situaciones de emergencia donde los mapas convencionales pueden no estar disponibles o ser insuficientes (Humanitarian OpenStreetMap Team [HOTOSM], s.f).

Aportar información cartográfica prioritaria en OpenStreetMap (OSM) para la gestión del riesgo de desastres de origen hidrometeorológicos en comunidades vulnerables y priorizadas por el Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia (SAMA) es crucial para la mejora de la precisión y actualización de mapas, facilita la planificación y respuesta ante desastres, promueve la participación ciudadana y garantiza el acceso abierto y gratuito a la información, lo que beneficia tanto a las autoridades como a la comunidad en general.

2.7. La hidrología al servicio de las comunidades

La hidrología es la ciencia que se encarga del estudio de las aguas en la Tierra, incluyendo su distribución, circulación, propiedades físicas y químicas, y su relación con el medio ambiente (Aparicio, 2018). Esta disciplina abarca diversos aspectos del ciclo del agua, desde la precipitación y la escorrentía hasta la evaporación y la transpiración. Es un componente fundamental de la Tierra, representando el 75% del planeta y un elemento vital para la vida.

Desde tiempos antiguos, la humanidad ha buscado establecerse en las orillas de los ríos debido a los innumerables servicios que estos cuerpos de agua proveen. Los ríos ofrecen agua dulce para el consumo humano y agrícola, facilitando la irrigación de cultivos y el desarrollo de asentamientos agrícolas. Además, sirven como vías de transporte, facilitando el comercio y la comunicación entre comunidades distantes. Históricamente, civilizaciones como la egipcia se establecieron a lo largo del río Nilo, aprovechando su fertilidad para la agricultura y su capacidad para sustentar una población densa (UNESCO, 1983). Estos ejemplos ilustran cómo los ríos han sido y continúan siendo fundamentales para la vida humana y el desarrollo de las sociedades.

Un río es una corriente de agua continua y generalmente de cierta envergadura que fluye a través de la superficie terrestre. Se forma por la acumulación y el flujo constante de agua procedente de diversas fuentes, como deshielos, precipitación, manantiales y afluentes, desempeñando un papel crucial en la hidrología y siendo componentes esenciales de los ecosistemas terrestres. Los tipos de ríos varían: los rectos tienen un curso directo y lineal con poca sinuosidad, pendiente pronunciada y corriente rápida, siendo comunes en áreas montañosas; los meándricos presentan un curso serpenteante con curvas en forma de S o de herradura, una pendiente más suave y son característicos de llanuras de inundación; y los trezados consisten en múltiples canales entrelazados que dividen el flujo de agua, siendo típicos de zonas con diversas pendientes y relieve irregular, con canales que pueden cambiar de curso frecuentemente debido a la erosión y sedimentación (de la Lanza, 1999).

Una cuenca hidrográfica, también conocida como cuenca hídrica o fluvial, es un área geográfica delimitada por una red de canales de agua, como ríos y arroyos, llamada red de drenaje, junto con las tierras que drenan hacia ellos, recolectando y vertiendo agua hacia un sistema fluvial común. Está compuesta por varios elementos, como la divisoria de aguas que marca el límite entre cuencas. El río principal que es la corriente de agua que llega hasta el punto de salida, y los afluentes, que son corrientes que desembocan en el río principal. El punto de salida es el lugar específico donde confluye el agua de la cuenca y sale hacia otra cuenca, río, lago o mar (MetED, 2010; USGS, 2010).

El caudal medio multianual o a largo plazo se refiere al promedio de caudal de agua que fluye en un río, arroyo o cualquier cuerpo de agua durante un año completo, calculado sobre un período de varios años o décadas (BAFG, s.f). Este valor se utiliza para describir el régimen hidrológico de un área en particular y es útil para fines de planificación, gestión de recursos hídricos y evaluación de riesgos hidrológicos, ya que proporciona una visión más general de la tendencia a lo largo del tiempo de la cantidad de agua que puede estar disponible en un cuerpo de agua.

Se puede calcular el caudal medio multianual a partir de la ecuación de balance hídrico. La ecuación de balance hídrico en una cuenca hidrográfica establece que la cantidad de agua que entra en la cuenca a través de la precipitación y otras fuentes debe ser igual a la suma de la evaporación, la escorrentía y cualquier cambio en el almacenamiento de agua en la cuenca, representado matemáticamente como $P - E - Q - \Delta S = 0$, donde P es la precipitación, E es la evapotranspiración, Q es el caudal de salida y ΔS es la variación en el almacenamiento de agua. Se puede simplificar

la ecuación a una expresión que equilibre únicamente la entrada de agua (precipitación) con la salida de agua (evapotranspiración), quedando la ecuación como $P - E = 0$. En esta forma simplificada, la cantidad de agua que entra en la cuenca a través de la precipitación debe ser igual a la cantidad de agua que sale de la cuenca por evapotranspiración real, sin considerar otros flujos o cambios en el sistema (Pizarro et al, 2003).

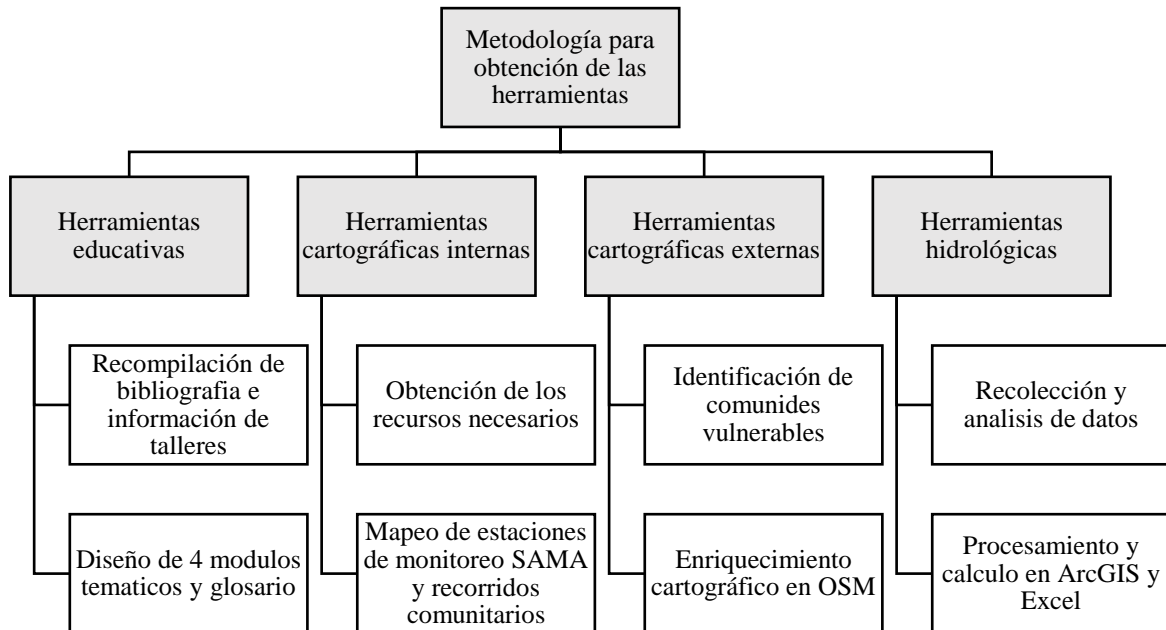
Colombia se encuentra entre los países con mayor abundancia de agua en su estado natural, con un rendimiento hídrico estimado de 56 L/s-Km². Esta cifra supera significativamente el promedio mundial, que es de 10,56 L/s-Km², y también es más alto que el promedio de América Latina, que se sitúa en 21,56 L/s-Km² (IDEAM, 2014). El rendimiento hídrico, también conocido como producción o disponibilidad hídrica, se expresa típicamente como la cantidad de agua que fluye por unidad de área en un período de tiempo dado, generalmente en unidades de litros por segundo por kilómetro cuadrado (MinAmbiente, 2013). Esta medida es fundamental para entender la cantidad de agua disponible en una cuenca hidrográfica y es crucial para la gestión sostenible de los recursos hídricos.

Entender cuánta agua fluye a través de una cuenca hidrográfica en un período de tiempo específico es fundamental para evaluar y gestionar los riesgos de inundaciones, sequías y otros eventos hidrometeorológicos extremos. Por ejemplo, en áreas propensas a inundaciones, conocer el rendimiento hídrico puede ayudar a determinar la capacidad de los ríos y arroyos para manejar el exceso de agua, lo que a su vez puede influir en decisiones sobre medidas de preparación, control y prevención.

3. Metodología

Figura 2

Representación sintetizada de la metodología



En la **Figura 2** se visualiza el diagrama metodológico seguido, compuesto por cuatro fases que incorporan herramientas educativas, cartográficas e hidrológicas. En relación con las herramientas educativas, que comprenden un curso de cuatro módulos y un glosario, se recopiló información de talleres comunitarios de SAMA y bibliografía científica existente. Respecto a las herramientas cartográficas, se dividieron en dos fases. La primera consistió en la cartografía de SAMA para personas interesadas y sus comunidades, incluyendo la ubicación de los instrumentos de monitoreo, los municipios prioritarios y los recorridos territoriales realizados durante los talleres presenciales comunitarios. La segunda fase de cartografía se centró en el mapeo en el proyecto abierto y participativo de OpenStreetMap (OSM), utilizado como herramienta de conocimiento geoespacial de viviendas y territorio, útil para la gestión del riesgo de las comunidades vulnerables o afectadas. La última fase hidrológica se basó en realizar un análisis hídrico de la cuenca de la quebrada La Liboriana en el municipio de Salgar, Antioquia. En este análisis se calcularon la precipitación media multianual, la evapotranspiración y el caudal medio a largo plazo, teniendo en cuenta también el sensor de nivel SAMA ubicado en la zona priorizada.

3.1. Herramientas educativas

3.1.1. Recopilación de información

Se ha realizado una exhaustiva recopilación de materiales para los talleres SAMA, incluyendo documentación detallada sobre los procesos de gestión de riesgos, aportes valiosos y experiencias compartidas por profesionales que trabajan estrechamente con las comunidades, así como una amplia selección de bibliografía externa de relevancia. Todo este conjunto de recursos se ha reunido con el objetivo de elaborar un compendio completo y accesible que explique de manera detallada y comprensible para las comunidades y el público en general, tanto el funcionamiento del sistema SAMA como su interacción con el medio ecosistémico en el que opera, proporcionando así un marco de referencia claro y educativo para todos los involucrados.

3.1.2. Definición de objetivos

Se estableció de manera clara los objetivos del curso, los cuales incluyen proporcionar a los participantes una comprensión fundamental de los principios de hidrología, meteorología y gestión de riesgos, con un enfoque específico en la amenaza de inundaciones. Además, se buscó fomentar la conciencia y la capacidad de respuesta de las comunidades frente a los riesgos hidrometeorológicos, capacitándolas para comprender y evaluar su propio territorio de manera integral. Proporcionar una comprensión clara de los principios de hidrología, meteorología y gestión de riesgos, con énfasis en las inundaciones como amenaza. Así se definieron los siguientes objetivos iniciales:

- Capacitar a las comunidades para identificar, evaluar y responder a los riesgos hidrometeorológicos en su territorio.
- Fomentar la conciencia y la capacidad de respuesta de las comunidades frente a los riesgos naturales.
- Dotar a los participantes de conocimientos prácticos y herramientas para interpretar la información del SAMA y otros sistemas de monitoreo.
- Capacitar a las comunidades para tomar decisiones informadas que protejan vidas, bienes y el entorno natural.
- Promover la participación de las comunidades en la gestión del riesgo de desastres, fortaleciendo su papel como agentes de cambio y promotores de la prevención y la resiliencia.

3.1.3. Identificación de público objetivo

Se determinó con precisión el perfil del público al que se dirigió el curso, considerando que estaba orientado a todas las poblaciones de diferentes niveles académicos. Se planificó un curso que presentó los conceptos de manera accesible, utilizando un lenguaje común y evitando tecnicismos innecesarios. Este enfoque garantizó que la información fuera fácilmente comprendida por todos los participantes, independientemente de su formación académica o conocimientos previos en la materia.

El curso estuvo dirigido a miembros de comunidades vulnerables a inundaciones, autoridades locales responsables de la gestión del riesgo, así como a técnicos y personal involucrado en la prevención y respuesta ante desastres naturales. También se consideró la participación de líderes comunitarios y personas interesadas en adquirir conocimientos básicos para contribuir a la seguridad y bienestar de sus comunidades.

La diversidad del público objetivo requirió un enfoque inclusivo y participativo, donde se fomentó el diálogo, la colaboración y el intercambio de experiencias. Esto permitió una mejor comprensión de los temas tratados y promovió la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos en la vida cotidiana y en situaciones de emergencia.

3.1.4. Diseño del contenido temático

El objetivo principal del diseño del contenido temático fue elaborar un plan integral que abordara los temas necesarios para cumplir con los objetivos del curso. Se buscó proporcionar a los participantes una base sólida en conceptos clave de hidrología, meteorología y gestión de riesgos, con un enfoque específico en la amenaza de inundaciones, que les permitiera comprender la dinámica de los eventos hidrometeorológicos y su impacto en el territorio.

El plan de contenidos incluyó una introducción a los principios básicos de hidrología, abordando temas como la precipitación, la evapotranspiración, la infiltración y el escurrimiento superficial, así como los factores que influyen en el ciclo hidrológico. También se cubrieron conceptos fundamentales de meteorología, como los diferentes tipos de clima, la formación de fenómenos meteorológicos extremos y su relación con las inundaciones.

Además, se dedicó un espacio importante al Sistema de Monitoreo de Antioquia (SAMA), presentando su estructura, funcionamiento y la importancia de su información para la toma de

decisiones en la gestión del riesgo de desastres. Se explicaron los diferentes tipos de estaciones de monitoreo, los parámetros que se registran y cómo interpretar los datos proporcionados por el geoportal.

Al final, se implementó un exhaustivo glosario denominado "SAMA de la A a la Z", que abarca no solo los términos técnicos asociados con SAMA, sino también aquellos pertinentes a la hidrología y la gestión de riesgo. Este recurso ofrece una guía completa y accesible que facilita la comprensión de conceptos clave, promoviendo así una mayor conciencia y preparación de la comunidad frente a los desafíos hidrometeorológicos.

3.2. Herramientas cartográficas internas

3.2.1. Descarga de datos y preparación

Se accedió a la plataforma del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) para obtener los datos necesarios para la creación de los mapas. Se descargó la geodatabase proporcionada por la Gobernación de Antioquia, la cual incluía información detallada geográfica del departamento en diferentes resoluciones, y se seleccionaron los shapefiles¹ necesarios, como la red de drenaje, la división política y las vías de Antioquia. Tras la descarga, se verificó la integridad de los datos descargados y se seleccionaron los shapefiles de cada componente en la resolución y tamaño más adecuados para el tipo de mapas que se iban a crear, garantizando así que la información geoespacial utilizada fuera óptima para el análisis y la representación cartográfica.

3.2.2. Diseño y procesamiento de mapas

Utilizando el software para procesamiento de geoinformación ArcGIS de la empresa ESRI, se diseñaron los mapas necesarios para el equipo del Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia (SAMA). En primer lugar, se creó un mapa general detallado que mostraba las ubicaciones exactas de las estaciones de monitoreo, así como los municipios priorizados y los tipos de instrumentos de

¹ Un shapefile es un formato de archivo de almacenamiento de datos geoespaciales utilizado en sistemas de información geográfica (SIG). Consiste en un conjunto de archivos que almacenan información geográfica y atributos asociados a elementos geográficos, como puntos, líneas o polígonos (ESRI, s.f.).

monitoreo utilizados en toda la región. Este mapa proporcionó una visión panorámica de la infraestructura de monitoreo.

Además, se elaboraron mapas individuales para cada municipio, en los que se destacaba la distribución específica de los instrumentos de monitoreo en función de las características geográficas, topográficas e hídricas de cada zona. Durante este proceso, se realizaron ajustes estilísticos y de presentación para garantizar que los mapas fueran visualmente atractivos y fácilmente comprensibles para el público objetivo, incluidas las comunidades locales y las autoridades de gestión del riesgo. Finalmente, se exportaron los mapas en formato PDF para su almacenamiento digital y en formato PNG para su posible impresión en talleres comunitarios presenciales, asegurando así que la información cartográfica estuviera disponible y accesible para todos los actores involucrados en la gestión del riesgo de desastres hidrometeorológicos en la región.

3.3. Cartografía de recorridos comunitarios

3.3.1. Recopilación de datos y preparación

Para comenzar, se accedió al portal de SAMA para obtener las ubicaciones actualizadas de las estaciones de monitoreo. Simultáneamente, se recopilaron los puntos de referencia de visitas de campo anteriores realizadas por el componente social de SAMA. Se agendaron reuniones para definir el recorrido y recopilar información relevante, como áreas vulnerables y necesidades de las comunidades, identificadas por el Consejo Municipal de Gestión de Riesgo, líderes comunitarios, SAMA en talleres anteriores u otros gestores de riesgo. Se seleccionó la información más pertinente para el tipo de mapa requerido. Personalmente, se acompañó el recorrido en Apartadó, Antioquia, como se observa en la **Figura 3**, para evidenciar cómo se lleva a cabo, qué actividades se desarrollan y cuáles son los elementos esenciales para ilustrar en los mapas a las comunidades.

Figura 3

Recorrido comunitario SAMA por Apartado, Antioquia



Nota. Fotografía tomada por el equipo SAMA.

3.3.2. Creación y producción de mapas

Utilizando las ubicaciones de las estaciones de monitoreo y los puntos de referencia recopilados, se procedió a crear un mapa en Google Earth. En este proceso, se marcó con precisión las ubicaciones de las estaciones de monitoreo y se trazaron los recorridos realizados con las comunidades. Posteriormente, se exportó una imagen del mapa de Google Earth en un formato compatible con Illustrator, un software de creación de imágenes vectoriales² de la empresa Adobe. Una vez importado a Illustrator, se realizó el diseño vectorial del mapa, añadiendo los elementos esenciales y faltantes, además de detalles como nombres de las estaciones, etiquetas de los recorridos, leyendas, etc. También se trabajó en mejorar la apariencia visual del mapa para que fuera más comprensible y atractivo. Finalmente, el mapa fue validado para asegurar la corrección de todas las ubicaciones y detalles, y se guardó en un formato PNG de mayor resolución para su distribución y uso como herramienta de gestión de riesgo en actividades educativas y de sensibilización.

² Una imagen vectorial es un tipo de representación gráfica que utiliza geometría, las cuales mantienen su calidad y definición sin importar el tamaño al que se amplíen o reduzcan. A diferencia de las imágenes rasterizadas (como los formatos JPG, PNG o GIF), que están compuestas por píxeles y pueden perder calidad (Adobe, s.f.).

3.4. Herramientas cartográficas externas

3.4.1. Selección de comunidades

Se realizó una búsqueda de comunidades ubicadas en las proximidades de los instrumentos de alarma de SAMA. Se aplicó un criterio de selección que priorizó aquellas comunidades que carecían de información cartográfica en el editor colaborativo y visualizador de libre licencia del mapa mundial Open Street Map (OSM). Tras este proceso, se identificaron tres comunidades que cumplían con los criterios establecidos: Aldea Las Margaritas en Salgar, Vereda La Merced en Montebello y Vereda Tamar en Yondó.

3.4.2. Mapeo y registro de las comunidades seleccionadas

Una vez seleccionadas las comunidades, se procedió al mapeo remoto de las mismas utilizando el editor colaborativo de OSM. Se tomaron capturas de pantalla del mapa antes del inicio del mapeo y otra después de completar el registro de la comunidad en la plataforma. Este proceso tenía como objetivo principal contribuir al enriquecimiento cartográfico de estas comunidades, proporcionándoles información detallada sobre las viviendas que rodean la quebrada y que podrían verse afectadas en caso de desastres naturales o siconaturales en el futuro. Además, se buscaba establecer una base de datos cartográfica que pudiera servir como recurso crucial en la gestión y respuesta ante posibles emergencias.

3.5. Herramientas hidrológicas

3.5.1. Selección de la zona de estudio

Se seleccionó una zona para llevar a cabo un análisis hidrológico en colaboración con el líder de Hidrología de SAMA, basándose en antecedentes de desastres de origen hidrometeorológico. Un caso significativo que motivó esta selección fue el desastre ocurrido en el municipio de Salgar, Antioquia, el 18 de mayo de 2015. En esa fecha, una avenida torrencial en la Quebrada La Liboriana, ubicada en el corregimiento La Margarita, provocó una tragedia con un saldo devastador: 93 personas perdieron la vida, 11 personas estaban desaparecidas y más de 500 personas resultaron damnificadas (GANT, 2022). Además, esta avenida torrencial arrasó con puentes, calles y numerosas viviendas, dejando una estela de destrucción y desolación en la comunidad. La magnitud de esta tragedia resalta la importancia crítica de llevar a cabo un análisis detallado de la hidrología de la zona. El objetivo es comprender mejor los riesgos asociados con

eventos hidrometeorológicos extremos y poder implementar medidas de prevención y mitigación efectivas en el futuro. Por esta razón, SAMA instaló en la zona un sensor de nivel y alarma para ayudar a la población. Basándose en esto, se decidió realizar el análisis en la cuenca de Salgar y en la microcuenca conformada desde el punto donde se ubica el sensor de nivel de SAMA en el municipio de Salgar. Conocer el cálculo del caudal medio a largo plazo también sería de gran ayuda para entender mejor el comportamiento hidrológico de la zona y tomar decisiones informadas en materia de gestión del riesgo.

3.5.2. Obtención de datos topográficos y climáticos

En esta etapa, se inició con la descarga de un mapa de elevación digital (DEM) de la cuenca en Salgar, que proporcionó una representación detallada de la topografía de la zona. Posteriormente, se obtuvo un archivo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) con datos de precipitaciones mensuales y anuales desde 1981 hasta 2010, debido que cuentan con más datos. Se seleccionaron cuidadosamente estaciones del IDEAM cercanas al municipio de Salgar, Antioquia, considerando tanto su proximidad geográfica como su relevancia para la cuenca de estudio. Esta selección garantizó la obtención de datos climáticos precisos y representativos para el análisis hidrológico.

3.5.3. Delimitación de la cuenca hidrográfica

Utilizando el DEM descargado previamente, se procedió a delimitar las cuencas hidrográficas de interés para el estudio, la cuenca de Salgar y la microcuenca del sensor de nivel. Este proceso se llevó a cabo mediante el programa ArcGIS, utilizando herramientas especializadas que permitieron una delimitación precisa de las cuencas. La delimitación de las cuencas proporcionó un marco geográfico claro para el análisis hidrológico posterior.

3.5.4. Interpolación de datos de precipitación

Con la delimitación de la cuenca completada, se utilizó la información de precipitación anual de las estaciones seleccionadas para crear mapas de precipitación media multianual en la cuenca. Se aplicaron dos métodos de interpolación espacial: Polígonos de Thiessen y Ponderación por Distancia Inversa (IDW), utilizando el programa ArcGIS. Para el método de polígonos de Thiessen los cálculos finales de precipitación media multianual se hicieron en Excel. Para esto se

usaron 5 estaciones pluviométricas seleccionadas del IDEAM que dieron los mejores resultados. La información usada de las estaciones se indica en la **Tabla 3**.

Tabla 3

Estaciones pluviométricas (PM) seleccionadas para el análisis hidrológico.

Código	Tipo	Nombre	Municipio	Departamento	Long	Lat	PPanual
11070130	PM	El Brochón	Urrao	Antioquia	76°2'0.0"W	6°8'0.0"N	2880,3
11020010	PM	Carmen de Atrato	El Carmen de Atrato	Chocó	76°8'31.5"W	5°54'30.7"N	2528,8
26215010	PM	Concordia	Concordia	Antioquia	75°55'11.0"W	6°2'23.0"N	2451,7
11025010	PM	La Mansa	Ciudad Bolívar	Antioquia	76°5'3.6"W	5°52'42.0"N	2474,8
26210110	PM	Peñalisa	Salgar	Antioquia	75°51'40.1"W	5°56'5.4"N	3192,9

Nota. Adaptado de Normales Climatológicas 1981-2010 (IDEAM, s.f)

3.5.5. Cálculos de ETP, ETR y caudal medio multianual

Para los cálculos se realizaron los siguientes procedimientos. Primeramente, se calculó la evapotranspiración potencial (ETP) utilizando la ecuación de Cenicafé mostrada en la ecuación 1 (Cenicafé, 2005).

$$EVP = 4,658 * e^{(-0,0002*h)} \quad (1)$$

donde

EVP: evaporación potencial (mm/día)

h: altura sobre el nivel del mar (m)

Luego, se estimó la evapotranspiración real mediante la ecuación propuesta por Budyko en 1974 (Rojo-Hernández, 2012) mostrada en la ecuación 2 y Turc (Pizarro, 2003) en la ecuación 3.

$$ETR = \left(ETP * P * \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right) * \left(1 - \cosh\left(\frac{ETP}{P}\right) + \sinh\left(\frac{ETP}{P}\right)\right) \right)^{0,5} \quad (2)$$

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}} \quad (3)$$

donde

P: precipitación media anual (mm/año)

ETR: evapotranspiración real anual (mm/año)

ETP: evapotranspiración potencial anual (mm/año)

L: $300 + 25t + 0,05t^3$

t: temperatura media anual (°C)

Para valores de “t” se usó el archivo de mapa de temperaturas calculado a partir de la ecuación propuesta por Chávez y Jaramillo en 1998 (Cenicafé, 2005) para la zona Andina de Colombia, La relación con la temperatura muestra su disminución conforme aumenta la altitud sobre el nivel del mar.

$$t = 29,42 - 0,0061h \quad (4)$$

Finalmente, para calcular el caudal medio se estimó mediante la ecuación de balance hídrico (5).

$$Q = (P - ETR) * A \quad (5)$$

Q: caudal medio (m³/s)

A: área de la cuenca (m)

Las unidades usadas para el caudal medio fueron de m³/s, las de precipitación en milímetros (mm = L/m²) y la de evapotranspiración es mm/año, por lo cual, se usa un factor de conversión de 1000000/(1000mm*365d*24h*60m*60s).

Los cálculos finales se registraron en Excel y se verificaron los resultados calculando el rendimiento hídrico (6) de los resultados por cada método.

$$RH = Q/A \quad (6)$$

RH: rendimiento hídrico L/s-Km²

Q: caudal medio (L/s)

A: área de la cuenca (Km²)

4. Resultados

4.1. Herramientas educativas

Se desarrolló un curso dividido en 4 módulos que abarca conocimientos básicos que requiere la comunidad para el entendimiento de su territorio entorno a su río, la gestión de riesgos de desastres frente a inundaciones, avenidas torrenciales o crecientes súbitas e información en especial sobre el Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia (SAMA) así como de las herramientas entregadas en las visitas sociales para fortalecimiento comunitario en la gestión de riesgos.

A continuación, en la **Tabla 4** se presentan los temas tratados y en anexos la propuesta del curso completo en boceto para SAMA.

Tabla 4

Contenido temático del curso propuesto para la apropiación social y fortalecimiento de las comunidades de SAMA

Tema 1	Conceptos generales de hidrología y meteorología
Subtemas	<ul style="list-style-type: none"> • Definición de hidrología y la importancia del agua. • Ciclo del agua. • Río y tipos de río. • La cuenca y sus partes. • Relación de la hidrología con el riesgo de desastres. • Definición de meteorología y variables meteorológicas.
Tema 2	Normatividad de gestión del riesgo de desastres
Subtemas	<ul style="list-style-type: none"> • Marco normativo • Ley 1523 de 2012 y términos en la gestión del riesgo. • Instancias de orientación y coordinación en la gestión de riesgo de desastres. • Sistemas de información de gestión de riesgo de desastres. • Planes de gestión de riesgo de desastres.

Tema 3	Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia
Subtemas	<ul style="list-style-type: none"> • Generalidades del Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia • Lo que hace desde Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia • Instrumentos de monitoreo en el Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia • Lo que se puede encontrar en el Geoportal del Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia
Tema 4	Fortalecimiento comunitario en la gestión de riesgos
Subtemas	<ul style="list-style-type: none"> • Enfoques de la apropiación social del Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia. • Mapa de cadena de llamadas. • Mapa de respuesta comunitaria a la emergencia. • Ruta Metodológica para realizar un plan comunitario.

El curso cuyo contenido se visualiza en la **Tabla 4** concluye con un glosario de 58 términos relacionados con SAMA, hidrología y gestión del riesgo. Este recurso está diseñado para ser accesible y se planea que esté disponible en la página web del DAGRAN. Se espera que este curso y glosario sirva como una herramienta adicional para que las comunidades se informen, promoviendo así la democratización del conocimiento y el empoderamiento de las comunidades.

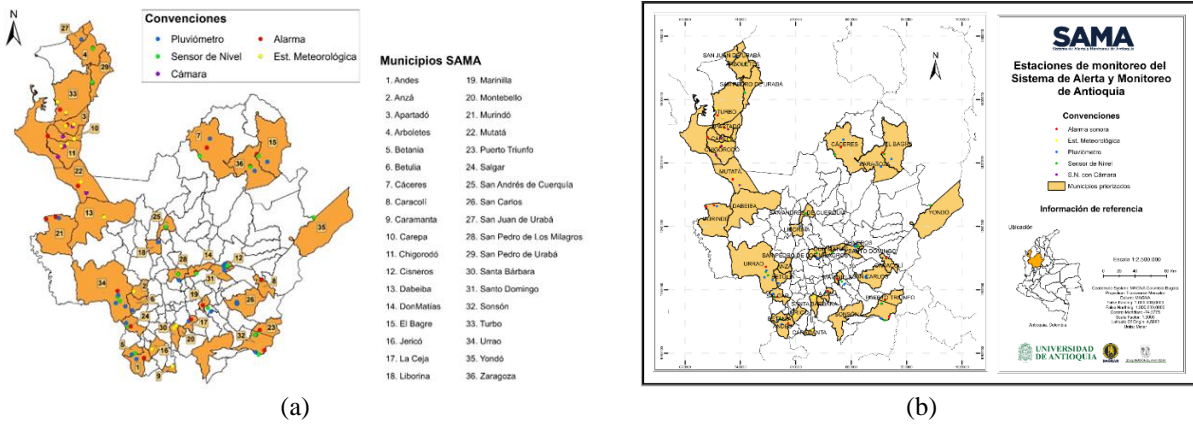
4.2. Herramientas cartográficas

4.2.1. Mapa general de SAMA

En la **Figura 4** se presenta el mapa general de SAMA con las ubicaciones de sus estaciones de monitoreo en los 36 municipios de Antioquia priorizados.

Figura 4

Mapa con ubicación de los instrumentos de monitoreo de SAMA y los municipios priorizados



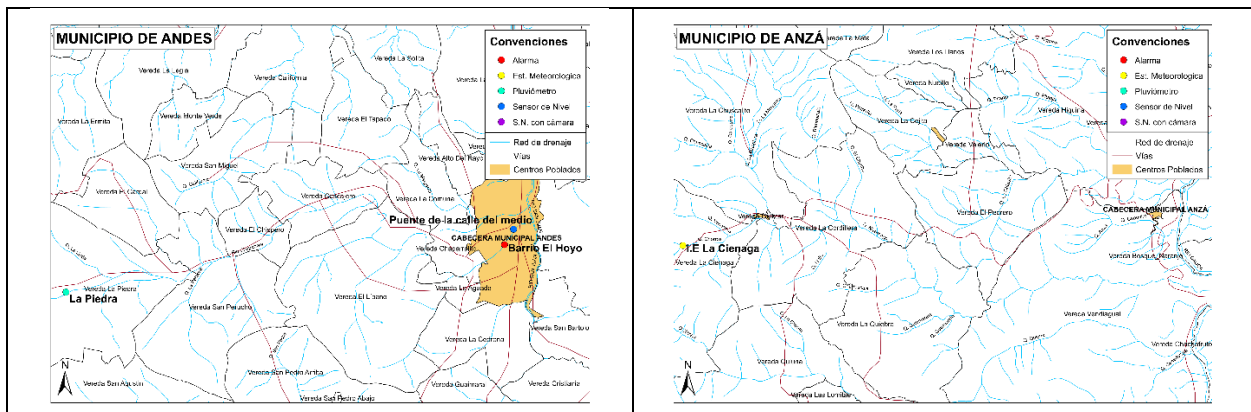
En la **Figura 4** se visualiza en (a) el mapa simplificado para medios de divulgación a las comunidades y público en general, con los instrumentos SAMA diferenciados por tipo de instrumento (pluviómetro, sensor de nivel, sensor de nivel con cámara, alarma y estación meteorológica). En (b) se visualiza el mapa formal con la información geoespacial (coordenadas geográficas, ubicación espacial y escala de representación).

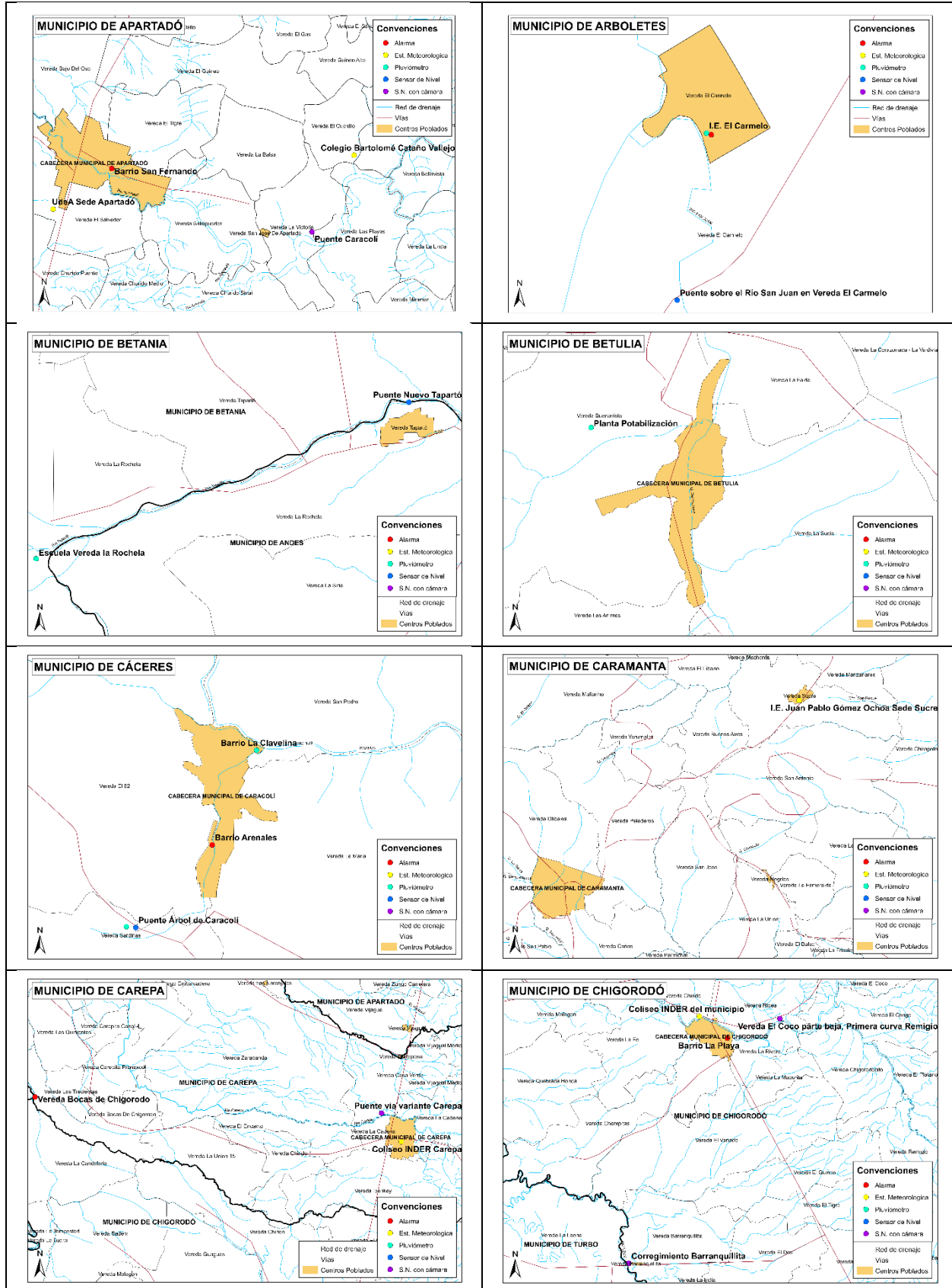
4.2.2. Mapas de SAMA en cada municipio

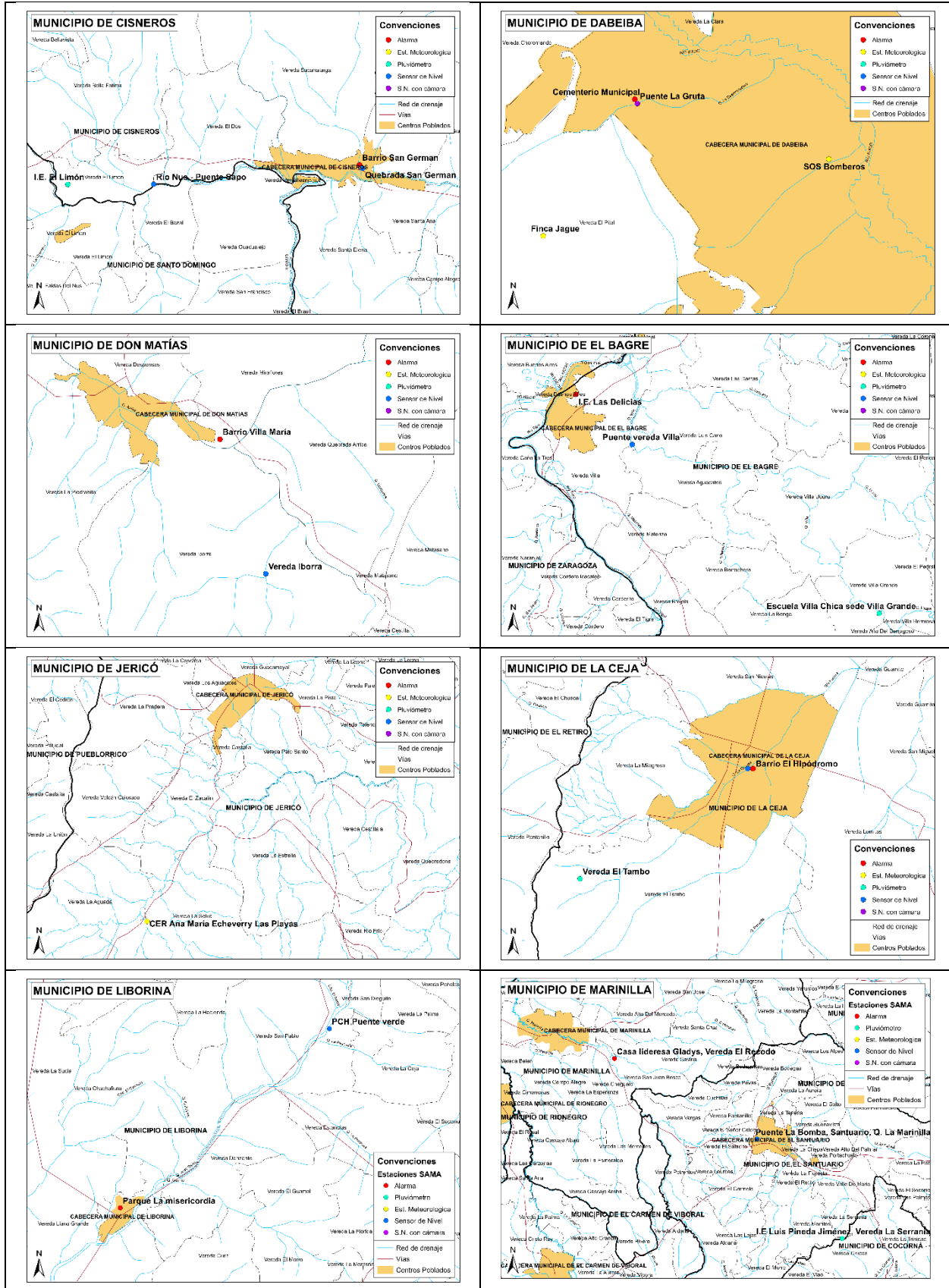
A continuación, en la **Figura 5** se muestran los mapas de los instrumentos instalados por SAMA en cada uno de los 36 municipios priorizados.

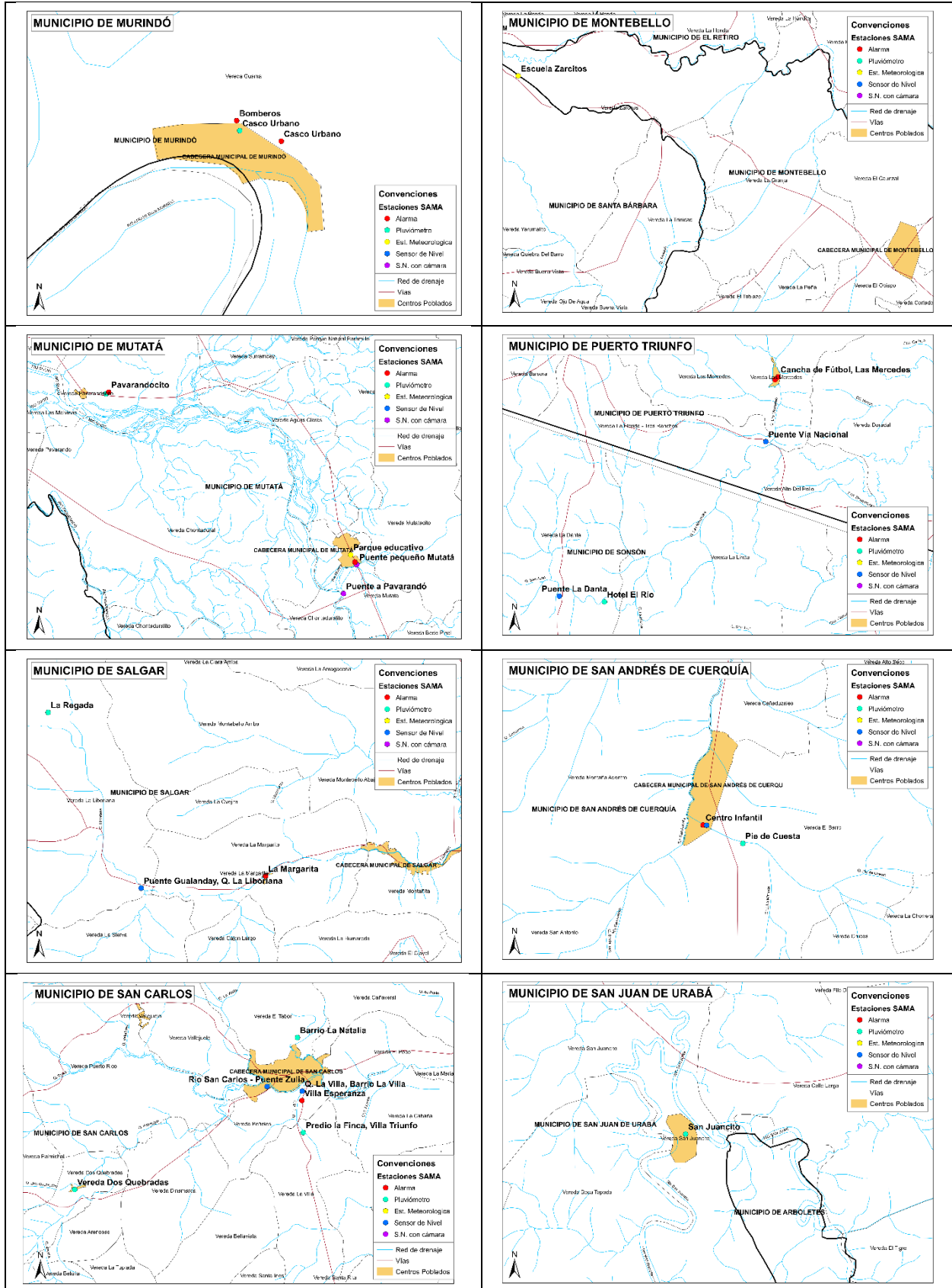
Figura 5

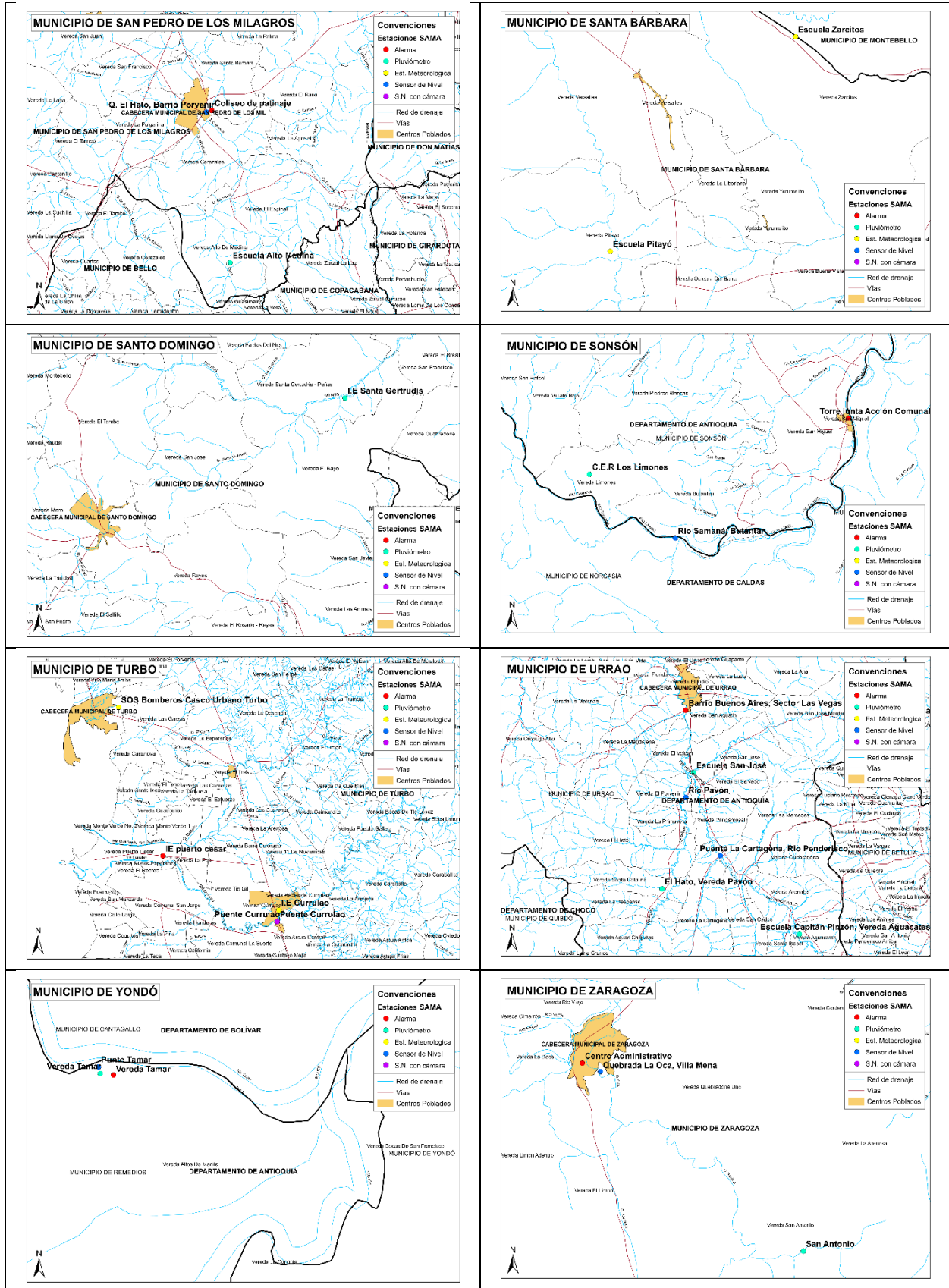
Mapas por municipio de las ubicaciones de los instrumentos de SAMA











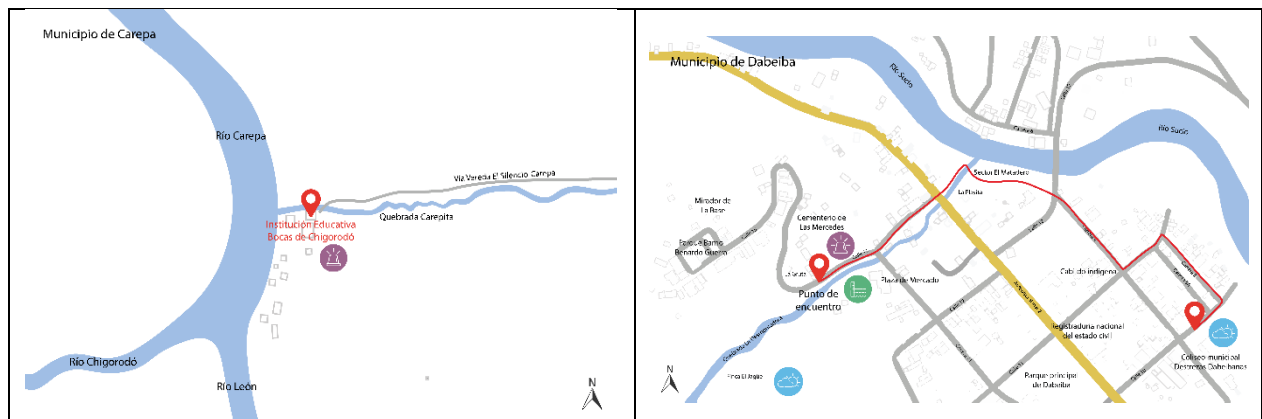
Los mapas de la **Figura 5** se han incorporado en las diapositivas utilizadas para los talleres pedagógicos y de seguimiento virtuales que realiza el equipo SAMA con las comunidades. En estos talleres, las personas involucradas en la gestión del riesgo de desastres de origen hidrometeorológico en su región, así como otros interesados, pueden visualizar de manera amplia la ubicación de los instrumentos de monitoreo utilizados en toda la región para una gestión efectiva en su territorio. Por ejemplo, las estaciones pluviométricas se sitúan en la parte más alejada, aguas arriba de la cuenca, ya que la lluvia registrada en ese punto influye en la crecida del río aguas abajo. Además, pueden observar que los sensores de nivel están más cercanos a su territorio, pero a una distancia suficiente para permitir una evacuación a tiempo cuando se active la alarma en SAMA. Del mismo modo, las alarmas sonoras están ubicadas más cerca de las zonas de inundación.

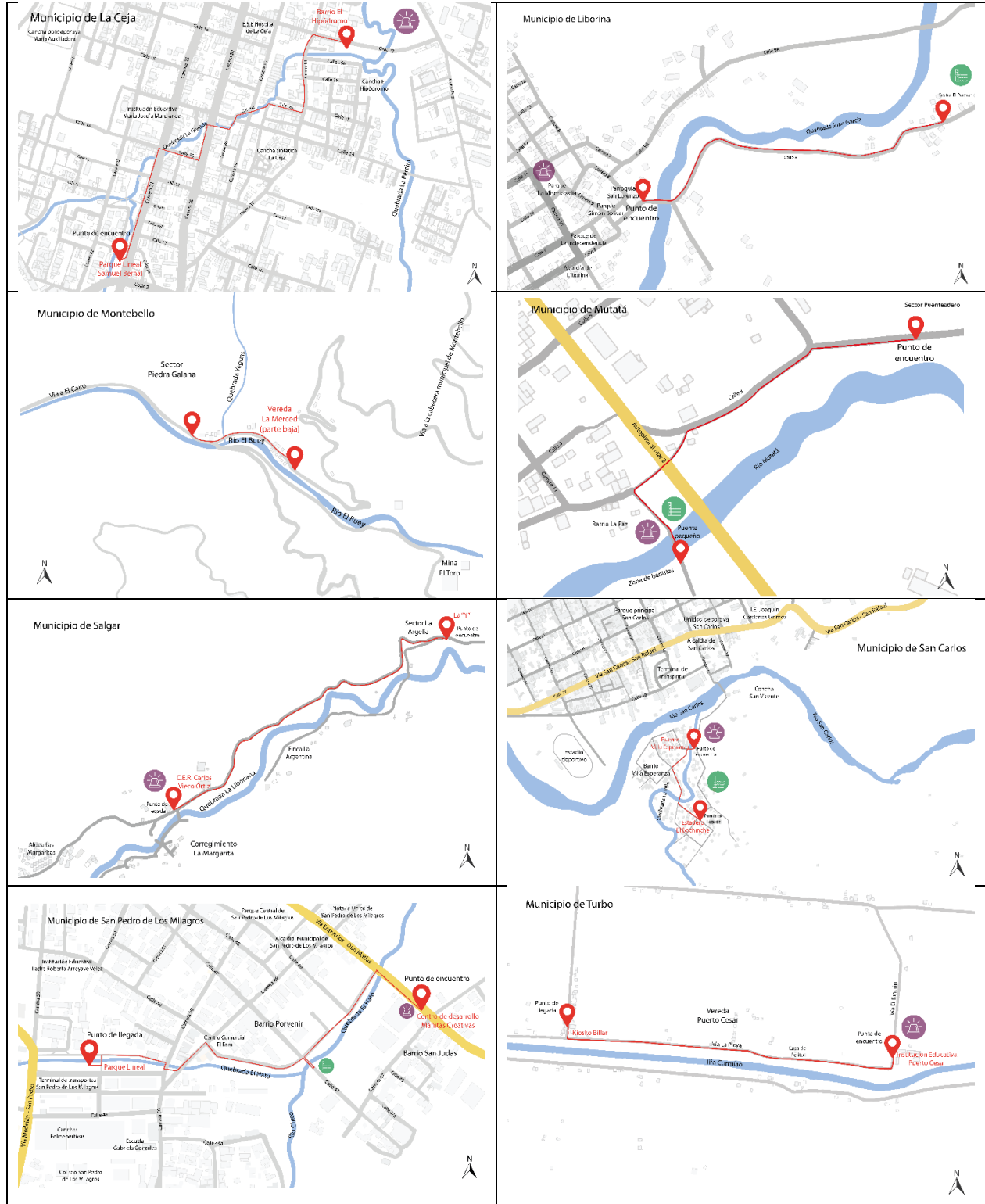
4.2.3. Cartografía de recorridos comunitarios

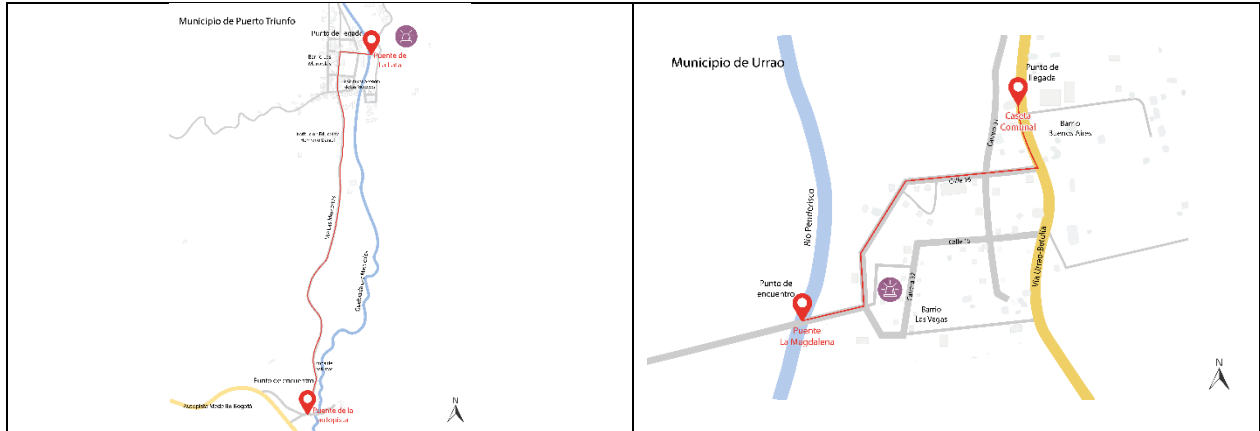
A continuación, en la **Figura 6** se presentan los mapas ilustrativos de la zona de los 12 recorridos municipales realizados para reconocimiento del territorio y SAMA con las comunidades.

Figura 6

Mapas de los recorridos territoriales realizados por SAMA







Los recorridos mostrados en la **Figura 6** se llevaron a cabo desde y hacia puntos estratégicos cercanos a las zonas de inundación de ríos o quebradas, las cuales representan un riesgo para las comunidades. Durante estos recorridos, se incluyó al menos un instrumento de SAMA con el fin de enseñar su uso y promover su socialización entre los participantes. Este enfoque práctico y contextualizado permitió a las comunidades comprender mejor los riesgos asociados con los fenómenos hidrometeorológicos y cómo pueden utilizar las herramientas disponibles para mitigarlos.

4.2.4. Mapeo abierto para la gestión del riesgo

En la **Figura 7** se presentan los resultados del mapeo de las comunidades vulnerables a inundaciones.

Figura 7

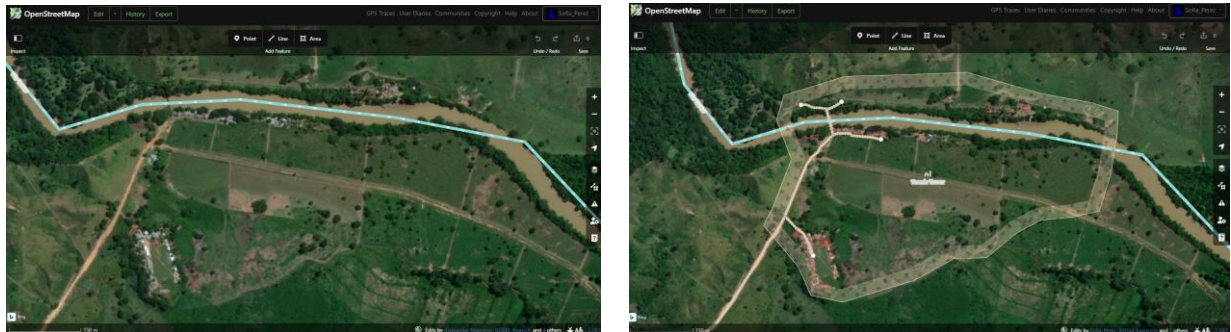
Capturas de pantalla del mapa antes y después de agregar la información cartográfica



Aldea Las Margaritas, Salgar, Antioquia



Vereda La Merced, Montebello, Antioquia



Vereda Tamar, Yondó, Antioquia

Los mapeos realizados en la **Figura 7** a través de la plataforma abierta y participativa de OpenStreetMap contribuyen significativamente a la gestión del riesgo y al fortalecimiento de las comunidades. Estas actividades no solo permiten identificar y visualizar de manera clara las áreas vulnerables a diversos riesgos, sino que también fomentan la participación comunitaria en la generación de datos geospaciales precisos y actualizados. Esta colaboración ayuda a mejorar la planificación y respuesta ante desastres, así como a fortalecer el conocimiento local sobre las condiciones del entorno. Se espera seguir incentivando este tipo de herramientas en comunidades apartadas que carecen de información cartográfica pública sobre sus estructuras.

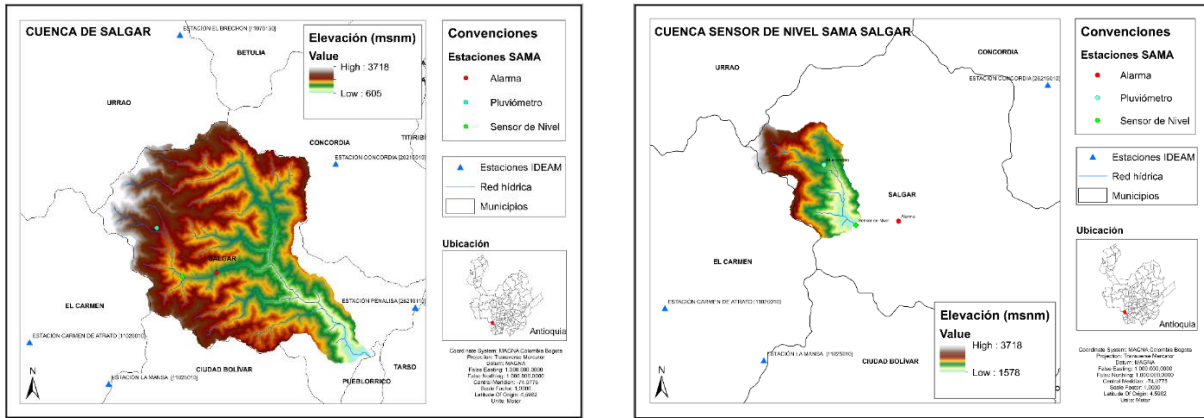
4.4. Herramientas hidrológicas

A continuación, se muestran los resultados del análisis hidrológico realizado a la cuenca de Salgar y la microcuenca del sensor de nivel SAMA.

En la **Figura 8** se presenta el mapa general de las cuencas.

Figura 8

Mapa general de elevación digital (DEM) y red hídrica. (a) Cuenca, (b) Microcuenca



(a)

(b)

En la **Figura 8** se visualiza el mapa topográfico de las cuenca con su red hídrica, se identifica que la cuenca Salgar (a) tiene como río principal a Río Barroso que desemboca en el Río San Juan y la cuenca del sensor de nivel (b) tiene como río principal la quebrada La Liboriana que desemboca después en Río Barroso.

4.4.1. Precipitación media multianual

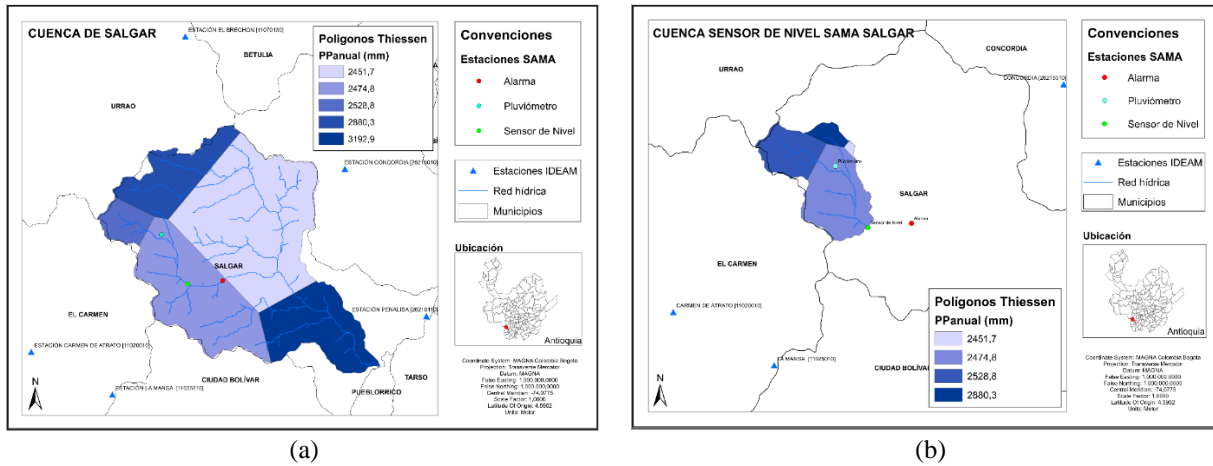
La precipitación media multianual se calculó mediante los métodos de polígonos de Thiessen y Ponderación por Distancia Inversa (IDW), los resultados se presentan a continuación.

- **Polígonos de Thiessen**

En la **Figura 9** se presenta los mapas de precipitación medial multianual de las cuencas por el método de polígonos Thiessen.

Figura 9

Mapa de precipitación multianual por método de polígonos de Thiessen. (a) Cuenca, (b) Microcuenca



Se observa en la **Figura 9** que la precipitación de la cuenca Salgar (a) calculado por el método de Polígonos de Thiessen oscila entre 2.451 mm y 3.192 mm al año, es decir, que en promedio la lluvia es de 6,71 mm y 8,74 mm al día. En el suroriente, en la cuenca baja cerca al punto de salida del agua, se tiene el valor máximo de precipitación al año y en el nororiente se tiene el valor mínimo de precipitación al año para esa cuenca. Y la precipitación de la microcuenca del sensor de nivel (b) oscila entre 2.451 mm y 2.880 mm al año, es decir, que en promedio la lluvia es de 6,71 mm y 7,89 mm al día. En el sur, se tiene los valores más bajos de precipitación al año en la cuenca y en el norte se presenta el valor máximo de precipitación al año.

En la **Tabla 5** y **Tabla 6** se calculó el valor promedio de precipitación de la cuenca Salgar por método de Thiessen.

Tabla 5

Resultados del cálculo de precipitación media multianual con método de polígonos de Thiessen en la cuenca de Salgar

Estación	Precipitación (mm)	Área (km ²)	PP*A
El Brechón	2880,3	29,4	84629,40
Carmen de Atrato	2528,8	10,3	26122,14
Concordia	2451,7	99,2	243207,14
La Mansa	2474,8	60,3	149228,23
Peñalisa	3192,9	38,8	123982,56

Sumatoria	238,0	627169,47
<i>Precipitación media multianual</i>		2634,71 mm

Tabla 6

Resultados del cálculo de precipitación media multianual con método de polígonos de Thiessen en la microcuenca sensor

Estación	Precipitación (mm)	Área (km ²)	PP*A
El Brechón	2880,3	2,46	7073,72
Carmen de Atrato	2528,8	9,97	25219,09
Concordia	2451,7	0,39	949,47
La Mansa	2474,8	18,71	46293,92
Sumatoria		31,52	79536,20
<i>Precipitación media multianual</i>			2523,19 mm

Como se observa en la **Tabla 5** y **Tabla 6** el resultado del cálculo de precipitación media por método de Thiessen para la cuenca Salgar fue de 2.634 mm al año y para la microcuenca sensor fue de 2.523 mm al año. El área de la cuenca de Salgar fue de 238 Km² y la cuenca del sensor de nivel de 31Km².

- **Método IDW**

En la **Figura 10** se presenta los resultados generales del método IDW para precipitación media multianual a partir de las 5 estaciones pluviométricas seleccionadas en la **Tabla 3**.

Figura 10

Mapa de precipitación media multianual por método de IDW con estaciones IDEAM

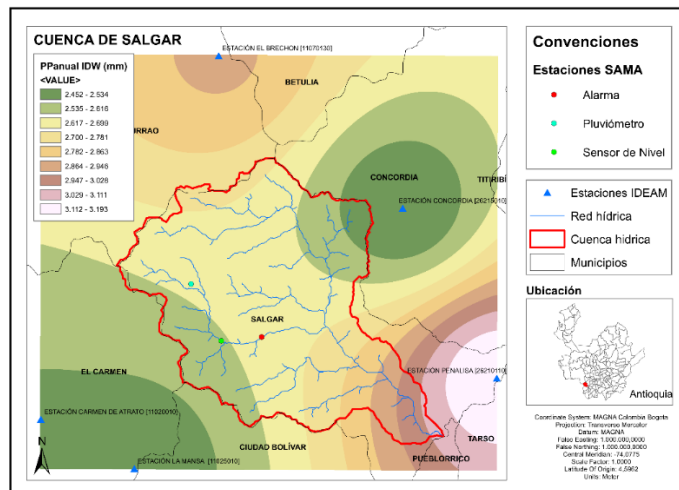
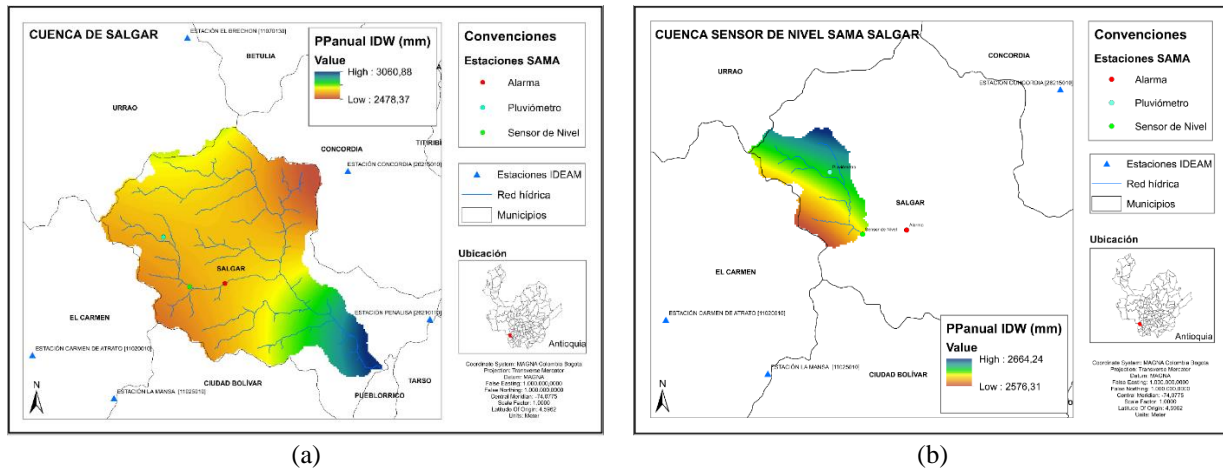


Figura 11

Mapa de precipitación media multianual por método de IDW (a) cuenca Salgar, (b) microcuenca



Se observa en la **Figura 11** que la precipitación de la cuenca de Salgar (a) oscila entre 2.478 mm y 3.060 mm al año, es decir, que en promedio la lluvia es de 6,79 mm y 8,38 mm al día, con una media multianual de 2.674 mm. En el nororiente, en la cuenca baja cerca al punto de salida del agua, se tiene el valor máximo de precipitación al año y en el suroriente se tiene el valor mínimo de precipitación al año para esa cuenca.

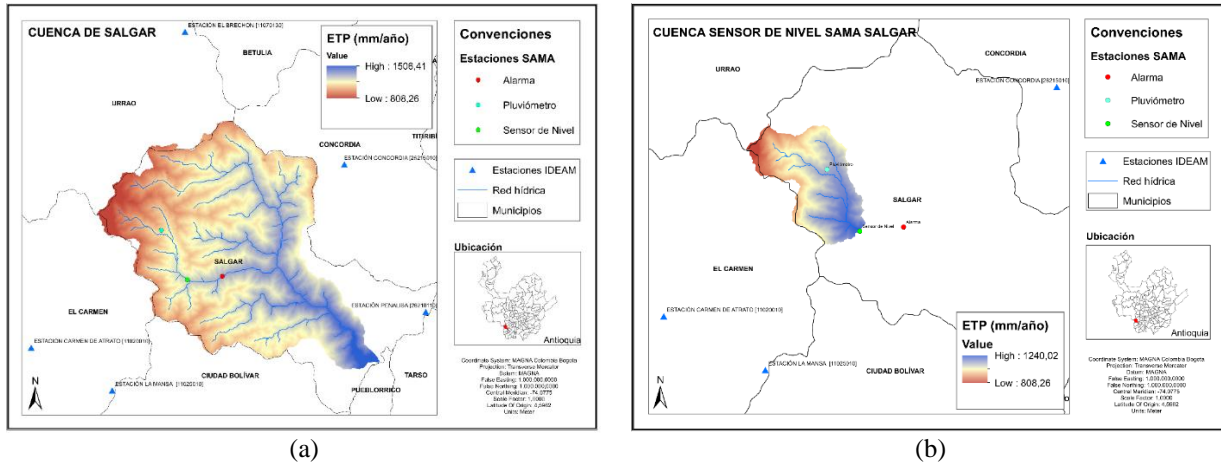
En la microcuenca sensor de nivel (b) la precipitación oscila entre 2.576 mm y 2.664 mm al año, es decir, que en promedio la lluvia es de 7,06 mm y 7,30 mm al día, con una media multianual de 2.619 mm. En el suroccidente, en la cuenca baja cerca al punto de salida del agua, se tiene valores superiores de precipitación al año y en el nororiente se tiene los valores mínimos de precipitación al año para esa cuenca.

4.4.2. Evapotranspiración potencial

A continuación, en la **Figura 12** se muestran los resultados de la evapotranspiración potencial que se calculó con la ecuación de Cenicafé, dada en la ecuación (1).

Figura 12

Mapa de evapotranspiración potencial por método de Cenicafé (a) Cuenca, (b) Microcuenca



Se observa en la **Figura 12** que la evapotranspiración potencial de la cuenca de Salgar (a) oscila entre 808 mm/año y 1506 mm/año, con una media multianual de 1177,23 mm/año.

La evapotranspiración potencial de la microcuenca del sensor de nivel (b) oscila entre 806 mm/año y 1240 mm/año, con una media multianual de 1074,40 mm/año.

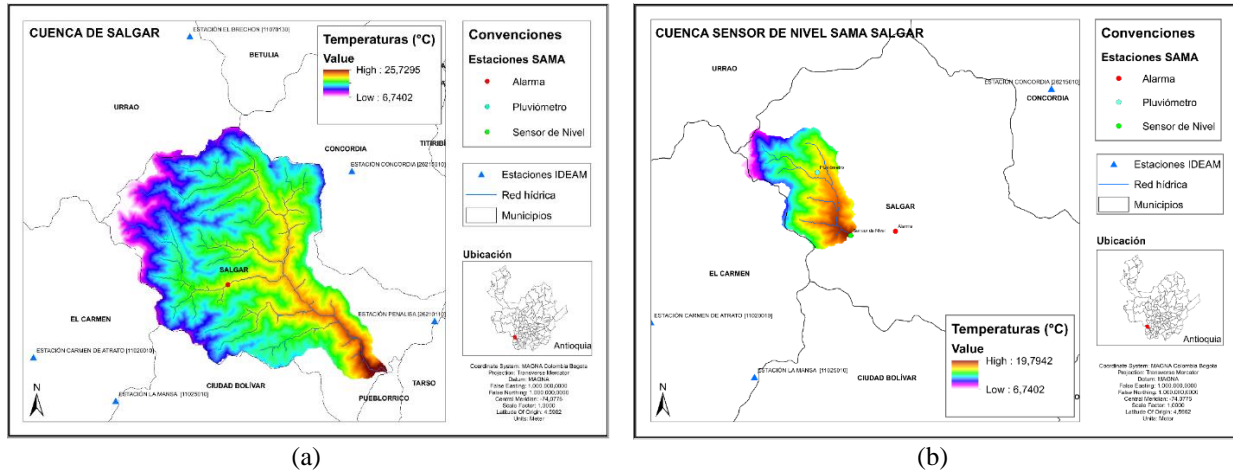
Teniendo los valores más altos en la salida del agua, donde se encuentra mayor cantidad de caudal de los efluentes.

4.4.3. Mapa de temperaturas

A continuación, en la **Figura 13** se presentan los resultados de temperatura promedio de las cuencas con la ecuación de Chaves y Jaramillo (4) para la región Andina.

Figura 13

Mapa de temperaturas promedio (a) Cuenca, (b) Microcuenca



En la **Figura 13** se observa que la temperatura de la cuenca Salgar (a) oscila entre los 7°C y 26°C, teniendo las menores temperaturas en las zonas más bajas de la cuenta donde nacen los afluentes y las temperaturas más altas en la zona baja de la cuenta donde confluye el agua. La temperatura media de la cuenca es de 18,11°C.

La temperatura de la microcuenca del sensor de nivel (b) oscila entre los 7°C y 20°C, teniendo las menores temperaturas en las zonas más bajas de la cuenta donde nacen los afluentes y las temperaturas más altas en la zona baja de la cuenta donde confluye el agua. La precipitación media de la cuenca es de 15,32°C.

4.4.4. Evapotranspiración real

La evapotranspiración real se calculó mediante las ecuaciones de Budyko (2) y Turc (3), dado los valores de precipitación multianual de las cuencas por método de polígonos Thiessen mostrados en la **Tabla 5** y en la **Tabla 6**.

En la **Tabla 7** se muestra los resultados de evapotranspiración real de las cuencas mediante los diferentes métodos usando los valores de precipitación media del método Thiessen.

Tabla 7

Resultados de evapotranspiración real de las cuencas usando los valores de PPmultianual de Thiessen

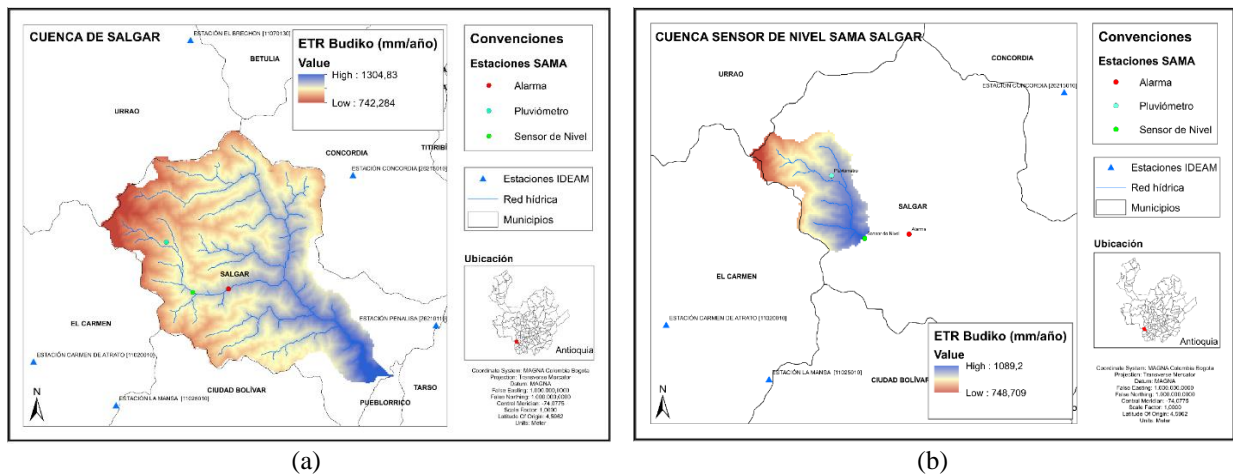
ETR	Thiessen-Budyko	Thiessen-Turc
Cuenca Salgar	1045,23 mm/año	981,65 mm/año
Microcuenca sensor	960,75 mm/año	820,60 mm/año

Como se observa en la **Tabla 7** los resultados de evapotranspiración real oscilan entre 820 mm/año y 1045 mm/año. Realizando el cálculo mediante Budyko da valores superiores a los realizados por Turc en cada cuenca.

En la **Figura 14** se presentan los resultados de evapotranspiración real mediante el método de Budyko (2) usando los valores de precipitación media multianual resultante del método IDW mostrados en la **Figura 11**.

Figura 14

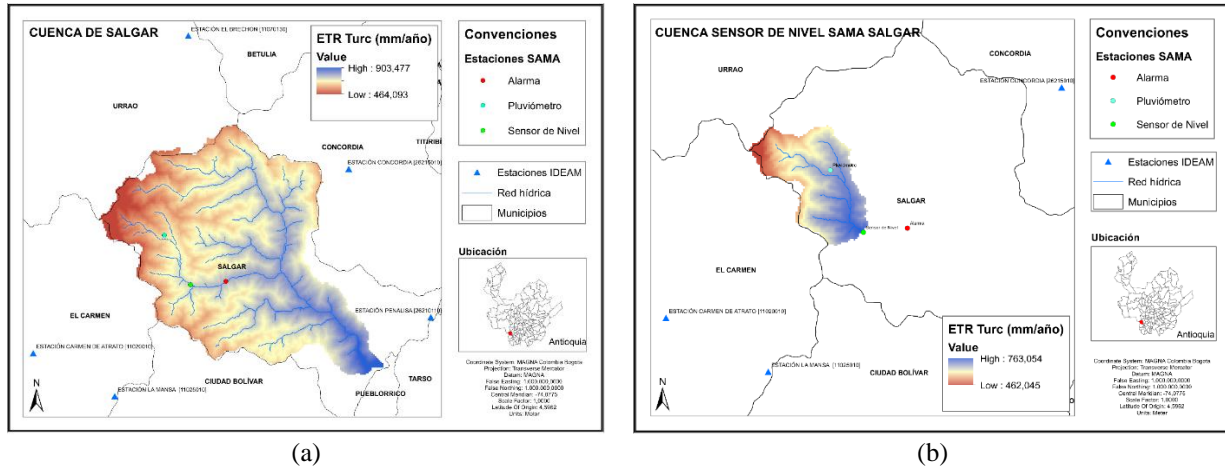
Mapa de evapotranspiración real de las cuencas por método Budyko usando los valores de PPmultianual IDW (a) Cuenca, (b) Microcuenca



En la **Figura 14** se observa que la evapotranspiración real de la cuenca Salgar (a) oscila entre 742 mm/año y 1304 mm/año con una media multianual de 1036 mm/año y en la microcuenca, en un rango, entre 748 mm/año y 1089 mm/año, con una media multianual de 965 mm/año.

En la **Figura 15** se presentan los resultados de evapotranspiración real mediante el método de Turc (3) usando los valores de precipitación media multianual resultante del método IDW mostrados en la **Figura 11**.

Figura 15
Mapa de evapotranspiración real de las cuencas por método de Turc usando los valores de Ppmultianual IDW



En la **Figura 15** se observa qué la evapotranspiración real de la cuenca Salgar (a) oscila entre 464 mm/año y 903 mm/año, con una media multianual de 726 mm/año, y en la microcuenca, en un rango un poco más corto, entre 462 mm/año y 763 mm/año, con una media multianual de 663 mm/año.

4.4.5. Caudal medio multianual

A continuación, en la **Tabla 8** se presenta el resultado del cálculo de caudal medio a largo plazo usando la ecuación (5) del balance hídrico y el resultado del cálculo del rendimiento hídrico por la ecuación (6) para ambas cuencas teniendo en cuenta los resultados de precipitación media multianual y ETR por los diferentes métodos anteriormente realizados.

Tabla 8*Resultados de caudal medio multianual y rendimiento hídrico para las cuencas de estudio*

	Método de PP y ETR	Thiessen- Budyko	Thiessen- Turc	IDW- Budyko	IDW- Turc
Cuenca Salgar	Caudal medio (m³/s)	12,0	12,5	12,4	14,7
	Rendimiento (L/s-Km²)	50,4	52,4	52,0	61,8
Microcuenca sensor	Caudal medio (m³/s)	1,6	1,7	1,7	2,0
	Rendimiento (L/s-Km²)	49,5	54,0	52,4	62,0

En la **Tabla 8** se observa que el caudal medio multianual de la cuenca Salgar oscila entre 12,0 m³/s y 14,7 m³/s, y el rendimiento hídrico oscila entre 50,4 L/s-Km² y 61,8 L/s-Km². Y en la microcuenca del sensor de nivel el caudal medio multianual oscila entre 1,6 m³/s y 2,0 m³/s, siendo un caudal inferior al de la cuenca más grande, pero mantiene el rendimiento hídrico entre 49,5 L/s-Km² y 62,0 L/s-Km².

5. Análisis

El desarrollo de una propuesta de un curso de capacitación teórico, presentado en el numeral 4.1. sobre diferentes temas básicos que competen al Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia (SAMA), como la hidrología, climatología, instrumentos de medida y gestión de riesgo, es una herramienta fundamental para que las comunidades adquieran conocimientos sobre su entorno y los riesgos a los que se pueden enfrentar. Esto les permitirá fortalecer su resiliencia y autonomía para manejar las herramientas que les ofrece SAMA. Una vez complementado por otros profesionales y aprobado, este curso será almacenado en la página del DAGRAN y se expondrá a todas las comunidades su existencia y utilidad. Esto contribuirá a que las comunidades estén más preparadas para los recorridos territoriales y talleres de capacitación de SAMA, promoviendo así una mejor gestión del riesgo de desastres y una mayor seguridad para sus habitantes.

Los mapas realizados para SAMA sobre las ubicaciones de las estaciones de monitoreo en Antioquia en el numeral 4.2. se han diseñado en un formato simple que permite su replicación en diferentes medios de divulgación y talleres con las comunidades. De manera similar, los mapas de las ubicaciones de los instrumentos SAMA en cada municipio han sido elaborados con este mismo propósito. Estos mapas también se incluyen en las diapositivas preparadas por el equipo SAMA para cada municipio, donde se detalla el proceso en el que se encuentra cada uno. Esta forma de presentar la información es fundamental, ya que facilita la comprensión de las comunidades sobre la ubicación y función de las estaciones e instrumentos de monitoreo. Además, contribuye a la apropiación social de SAMA, ya que permite que las comunidades se familiaricen con el sistema y comprendan mejor su importancia para la gestión del riesgo de desastres.

Los mapas realizados para los recorridos territoriales para 12 de municipios mostrados en la **Figura 6** dentro de SAMA fueron utilizados de manera exitosa durante dichas actividades. Estos mapas se imprimieron dentro de las bitácoras de campo que se entregaban a cada persona participante, lo que les permitió conocer de antemano y de manera gráfica el recorrido que se realizaría a lo largo de su río prevalente. Durante los recorridos, las personas participantes pudieron interactuar con los mapas, corrigiendo referencias desactualizadas y cursos del río incorrectos. Esto les permitió visualizar de manera más clara la forma de su río y recordar las ubicaciones de los instrumentos SAMA en su territorio. Esta estrategia resultó muy efectiva, ya que facilitó la comprensión de los participantes sobre la importancia de los recorridos territoriales y les permitió

identificar de manera precisa los puntos clave en la gestión del riesgo de desastres en sus comunidades. Además, contribuyó a fortalecer la relación entre las comunidades y el equipo de SAMA, fomentando la participación en la gestión del riesgo.

Los mapeos abiertos y participativos en OpenStreetMap como los realizados en el numeral 4.2.4. *Mapeo abierto para la gestión del riesgo* son fundamentales para fortalecer la cartografía pública en la gestión del riesgo, ya que ofrecen información detallada sobre viviendas o estructuras afectadas y zonas vulnerables ante desastres. Esta información precisa permite una planificación más efectiva y una respuesta más rápida y precisa ante eventos adversos, ya que se pueden identificar con precisión las áreas de riesgo y las comunidades más apropiadas de su territorio pueden tomar medidas preventivas adecuadas. Al utilizar OpenStreetMap, las comunidades pueden no solo acceder a mapas actualizados y detallados, sino también contribuir activamente a mejorar la información existente, lo que fomenta la participación ciudadana y fortalece la resiliencia comunitaria. Además, estos mapeos ayudan a sensibilizar a la población sobre la importancia de la prevención y preparación ante desastres naturales, promoviendo una cultura de gestión del riesgo.

En el análisis hidrológico realizado para la cuenca de Salgar y la microcuenca del sensor de nivel de SAMA en el numeral 4.4. , se pudo determinar que las cuencas tienen una precipitación media multianual de alrededor de 2.000 mm, valores comunes para la zona andina de Colombia según Cenicafé (2005). Además, la temperatura media de las cuencas se encuentra entre 15°C y 18°C, debido a su topografía en la zona Andina. El área de la cuenca de Salgar fue de 238 Km² y la cuenca del sensor de nivel de 31Km². Tanto la precipitación media multianual calculada por el método IDW para la cuenca Salgar (2.674 mm) como para la microcuenca del sensor (2.619 mm) resultaron ser más altas que las calculadas con Polígonos de Thiessen (2.634 mm en la cuenca Salgar y 2.523 mm en la microcuenca). Dada la escasa variabilidad de las estaciones pluviométricas en la cuenca de Salgar, es posible que el método de los Polígonos de Thiessen subestime la precipitación en áreas cercanas a la cuenca, ya que asigna igual peso a todas las estaciones de monitoreo, sin considerar la distancia. Por otro lado, el método IDW podría ser más adecuado en este caso, ya que asigna mayor peso a las estaciones más cercanas, lo que podría reflejar de manera más precisa la variabilidad espacial de la precipitación en la cuenca.

Los valores de evapotranspiración potencial fueron mayores a los de evapotranspiración real, esto es lo ideal ya que esto indica una eficiencia hídrica adecuada en la utilización del agua disponible, es decir, que la vegetación y los cultivos están utilizando eficientemente el agua

disponible, evitando la pérdida excesiva por evaporación y transpiración. La evapotranspiración potencial fue de 1.177 mm/año para la cuenca Salgar y 1.074 mm/año para la microcuenca. Los resultados de evapotranspiración real por el método de Budyko fueron superiores a los calculados por el método de Turc. Para la cuenca Salgar, los valores de ETR por el método de Budyko fueron de 1.045 mm/año usando valores de precipitación multianual de Thiessen y 1.036 mm/año usando precipitación multianual de IDW. Por otro lado, por el método de Turc, la ETR fue de 981 mm/año usando precipitación multianual de Thiessen y 726 mm/año usando precipitación multianual de IDW. La evapotranspiración real también puede ser afectada por la escasa variabilidad de las estaciones pluviométricas en la cuenca de Salgar, es posible que los datos utilizados para calcular la evapotranspiración real no reflejen con precisión las condiciones específicas de la cuenca. Esto podría llevar a una estimación incorrecta de la evapotranspiración real, lo que a su vez afectaría la modelización de caudales.

Como se observa en **Tabla 8**, los valores de caudal medio multianual fueron superiores utilizando los datos obtenidos de los cálculos por métodos de IDW para la precipitación multianual y Turc para la evapotranspiración real. Para la cuenca Salgar, el caudal medio multianual fue de 14,7 m³/s y para la cuenca del sensor fue de 1,95 m³/s. Lo comparamos con los niveles de caudal medio anual de sus ríos principales, el río Barroso tiene un caudal medio anual de 8,72 m³/s y la quebrada La Liboriana de 3,28 m³/s aguas arriba de la cabecera urbana y de 4,07 m³/s, aguas debajo de la misma (PDM, 2012). Salgar cuenta con una abundante red de quebradas en su territorio, lo que indica un alto nivel de caudal en la cuenca y destaca su riqueza hídrica. Sin embargo, esta presencia también conlleva desafíos en la gestión del riesgo de inundaciones y deslizamientos de tierra, especialmente en áreas urbanas y densamente pobladas.

Del mismo modo, el rendimiento hídrico para la cuenca Salgar fue de 61,8 L/s-Km² y para la cuenca del sensor fue de 62,02 L/s-Km², siendo este último valor ligeramente superior al promedio nacional de 56 L/s-Km² según el IDEAM (2014). Este hallazgo señala que la cuenca goza de una mayor disponibilidad de agua en comparación con otras regiones del país, lo cual, si bien puede representar una ventaja en términos de recursos hídricos, también conlleva un riesgo potencial de inundaciones, especialmente en zonas urbanas y densamente pobladas. Por lo tanto, se vuelve imperativo implementar una gestión hídrica cuidadosa y eficiente en la cuenca para prevenir y mitigar los riesgos asociados con eventos hidrometeorológicos extremos. Estos son importantes para comprender la dinámica hidrológica de la cuenca y proporcionan una herramienta

valiosa para los gestores de riesgo. Permiten tener un mejor entendimiento de la disponibilidad de agua en la región y ayudan a tomar decisiones informadas en cuanto a la gestión del recurso hídrico y la prevención de riesgos asociados a eventos hidrometeorológicos.

6. Conclusiones

El curso de capacitación teórico es una herramienta invaluable para fortalecer la relación entre las comunidades y SAMA, así como para mejorar la capacidad de respuesta y la preparación de las comunidades ante eventos adversos. Su implementación exitosa puede marcar la diferencia en la reducción de riesgos y la protección de la población en situaciones de emergencia.

Los mapas y herramientas cartográficas desarrolladas para SAMA han sido fundamentales para la divulgación y comprensión de la información por parte de las comunidades. Estas herramientas han facilitado la participación de las comunidades en la gestión del riesgo de desastres, permitiéndoles identificar puntos clave en la gestión del riesgo y fortaleciendo su resiliencia ante eventos adversos.

Los mapeos realizados a través del proyecto abierto y participativo de OpenStreetMap tienen un impacto significativo en la gestión del riesgo y en el fortalecimiento de las comunidades. Estas actividades permiten identificar y visualizar de manera clara las áreas vulnerables a diversos riesgos, al tiempo que fomentan la participación comunitaria en la generación de datos geoespaciales precisos y actualizados.

El análisis hidrológico realizado proporciona información valiosa para la gestión del recurso hídrico y la prevención de riesgos asociados a eventos hidrometeorológicos extremos. Los resultados obtenidos son fundamentales para tomar decisiones informadas en cuanto a la gestión del agua y la planificación territorial en las regiones analizadas.

En la cuenca, se encontró una precipitación media anual de alrededor de 2.000 mm. La temperatura media se situó entre 15°C y 18°C. El área de la cuenca de Salgar fue de 238 Km² y la microcuenca del sensor de nivel de 31Km². La evapotranspiración potencial fue de 1.177 mm/año para Salgar y 1.074 mm/año para la microcuenca. Los valores de caudal medio multianual fueron de 14,7 m³/s para Salgar y 1,95 m³/s para la microcuenca. El rendimiento hídrico para Salgar fue de 61,8 L/s-Km² y para la microcuenca del sensor fue de 62,02 L/s-Km², siendo este último ligeramente superior al promedio nacional de 56 L/s-Km².

Salgar, ubicado en una región con una red de quebradas abundante, se enfrenta a desafíos significativos en la gestión del riesgo de inundaciones y deslizamientos. La topografía y la hidrología de la zona hacen que sea especialmente vulnerable a eventos hidrometeorológicos extremos.

7. Recomendaciones

Publicar el curso de manera visible y promocionarlo como información previa a los talleres o visitas territoriales de SAMA es una estrategia para maximizar su impacto y alcance. Al hacerlo, se puede generar interés y expectativa entre las comunidades y participantes, lo que puede motivar su participación en el proceso de aprendizaje. Una forma efectiva de promocionar el curso es a través de los canales de comunicación de SAMA, como su página web, redes sociales y boletines informativos. También se puede considerar la colaboración con instituciones educativas, organizaciones comunitarias y autoridades locales para difundir la información de manera más amplia. Además, es importante asegurarse que el curso esté disponible en un formato accesible fácil de entender para el público objetivo. Esto puede incluir la creación de materiales complementarios, como guías de estudio, videos explicativos y herramientas interactivas, que faciliten el proceso de aprendizaje y fomenten la participación de los participantes.

Crear más mapas de recorridos para los municipios restantes que están dentro de la priorización de SAMA es una tarea primordial para garantizar una cobertura completa y efectiva de apropiación social SAMA, Estos mapas deben ser diseñados de manera simple y didáctica, tomando en cuenta las características específicas de cada municipio y las necesidades particulares de sus comunidades. Además, es importante involucrar activamente a las comunidades en el proceso de creación de los mapas, ya que su conocimiento local puede ser invaluable para identificar áreas de riesgo y puntos de interés. Esto no solo garantizará la precisión de los mapas, sino que también fomentará un sentido de apropiación y responsabilidad por parte de las comunidades en la gestión del riesgo de desastres.

Los proyectos de monitoreo de cuencas son esenciales para garantizar la disponibilidad y calidad del agua, así como para prevenir desastres naturales. Por lo tanto, es importante darles la relevancia y el apoyo necesario para su implementación y desarrollo continuo. La instalación de más instrumentos de monitoreo, especialmente en áreas donde se han perdido datos recientes, es una medida crucial para obtener información actualizada y precisa. Esto permitirá mejorar los valores de precipitación y caudal medio, lo que a su vez contribuirá a una mejor comprensión de la dinámica hidrológica de las cuencas y a una gestión más efectiva del riesgo de desastres.

Referencias

- Abad, C. J. P. (2011). *El uso de la cartografía en la investigación geográfica regional*. Universidad Nacional de Educación a Distancia. España. <https://bit.ly/49QXS1S>
- Adobe. (s.f.). *Archivos vectoriales*. <https://adobe.ly/4b5C0U2>
- Alcaldía de Municipal Salgar, Antioquia. (2012). *Plan de desarrollo municipal Salgar, Antioquia 2016-2019*. Colombia. <https://bit.ly/3JbAhRf>
- Aparicio, F. (2018). Fundamentos de hidrología de superficie. [Libro]. *Grupo Noriega Editores*.
- Chaparro Ávila, E. & Renard, R. (2005). *Elementos conceptuales para la prevención y reducción de daños originados por amenazas socionaturales*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) & Organización de las Naciones Unidas (ONU). <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/27839>
- Congreso de Colombia. (2012, abril 24). *Ley 1523 de 2012, por 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*.
- Cruz, S., & Karime, R. (2012). *Gestión Integrada del Riesgo de Inundaciones en Colombia*. [Trabajo de grado de maestría]. Repositorio Institucional Universidad de Valencia. <https://riunet.upv.es/handle/10251/27223>
- De la Lanza-Espino, G. (1999). *Diccionario de hidrología y ciencias afines*. Plaza y Valdes.
- Departamento administrativo para la gestión de riesgos de desastres [DAGRAN]. (s.f.). *DAGRAN, ¿Quiénes somos?..* <https://DAGRAN.antioquia.gov.co>
- Departamento administrativo para la gestión de riesgos de desastres [DAGRAN]. (2023). *Escenarios de riesgo en Antioquia*. <https://bit.ly/3TirK3B>
- Environmental Systems Research Institute [ESRI]. (s.f.). *¿Qué es un shapefile?.* <https://bit.ly/3JdDZtM>
- Gobernación de Antioquia [GANT]. (2020, diciembre 4). *Quince municipios de Antioquia contarán con un sistema de alertas y monitoreo de cuencas gracias a SAMA, el proyecto del DAGRAN para reducir el riesgo de desastres*. <https://bit.ly/49eJweR>
- Gobernación de Antioquia [GANT]. (2021, septiembre 11). *Sistemas de Alerta y Monitoreo de Antioquia, SAMA, llegará a seis cuencas más gracias a la firma del convenio entre el DAGRAN y Corpourabá*. <https://bit.ly/3UQPyOA>

- Gobernación de Antioquia. [GANT]. (2022, febrero 5). *Durante el 2022 el DAGRAN continuará implementando el Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia, SAMA, en las cuencas del departamento.* <https://bit.ly/3uKHggr>
- Gobernación de Antioquia. [GANT]. (2022, mayo 19). *En Salgar se conmemoraron 7 años de la avenida torrencial en la que fallecieron 93 personas y 11 quedaron desaparecidas.* <https://bit.ly/3PtF7gb>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC].(2012). *Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático.* <https://bit.ly/3TNZciJ>
- Humanitarian OpenStreetMap Team [HOTOSM]. (s.f). *What we do?*. <https://www.hotosm.org>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2014). *Oferta del agua.*<https://bit.ly/3xjkmOd>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (s.f.). *Normales Climatológicas 1981-2010.* <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2013). *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua.* Colombia. <https://bit.ly/3WcOoNO>
- Instituto Federal de Hidrología de Alemania [BAFG]. (s.f). *Mean Annual Discharge and Discharge Variability.* <https://bit.ly/3VmfQIK>
- Jaramillo, A. (2005). *Clima andino y café en Colombia.* CENICAFÉ. (pp. 65-84) <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/859>
- 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. <https://doi.org/10.17151/luaz.2017.44.14>
- MetED -Meteorology Education and Training-. (2010, diciembre 13). *Comprensión del ciclo hidrológico: versión internacional.* The COMET program. The University Corporation for Atmospheric Research. <https://bit.ly/3TIOaLC>
- Ministerio del Interior [MinInterior] & Universidad Pedagógica Nacional [UPN]. (2021). *Gestión del riesgo de desastres con enfoque de Desarrollo local sostenible para la resiliencia comunitaria.* Programa de formación de formadores para la organización comunal, Guía 7. <https://bit.ly/3TwOpt6>

- Ordóñez-Díaz, M. M., Montes-Arias, L. M., & Garzón-Cortés, G. D. P. (2018). Importancia de la educación ambiental en la gestión del riesgo socio-natural en cinco países de América Latina y el Caribe. *Revista Electrónica Educare*, 22(1), 345-363. <http://dx.doi.org/10.15359/ree.22-1.17>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (1983). Los Ríos, esas venas del planeta. *El Correo de la UNESCO*, XXXVI(9), 4-7.
- Otálvaro, M. V. V. (2000). *Hidrología para ingenieros*. Universidad Nacional de Colombia. (pp. 32-37) <https://bit.ly/3xtjmah>
- Pizarro R., Sánchez F., Martínez E., Farías C., & Jordán C. (2003). *Estimación de caudales medios multianuales en cuencas templado-húmedas de Chile*. [Artículo presentado al XII Congreso Forestal Mundial de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)] <https://www.fao.org/3/XII/0396-B3.htm>
- Rojo-Hernández, J. D (2012, noviembre 2). *Algunas metodologías para cuantificar la evapotranspiración media multianual en Colombia*. <https://bit.ly/4aHGBM0>
- Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia [SAMA]. (2023). *Ciclo de talleres SAMA y Microprograma*. <https://bit.ly/3IB6cuc>
- Space4water Portal. (s.f.). *Hydrometeorological Telemetry System*. UNOOSA. <https://www.space4water.org/water/hydrometeorological-telemetry-system>
- Universidad de Antioquia [UdeA]. (2022, marzo 15). *UdeA y DAGRAN implementan el Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia*. <https://bit.ly/49kI4b1>
- Universidad de Antioquia [UdeA]. (2023, junio 22). *Boletín Encuentros Regionales*. <https://bit.ly/3T6jrJ9>
- Universidad de Antioquia [UdeA]. (2023, noviembre 14). *La UdeA diseña y opera el Sistema de Alerta y Monitoreo de Antioquia*. <https://bit.ly/3I6f7Uf>
- Universidad Nacional San Martín [UNSAM]. (2022, octubre). *Mapeo comunitario de gestión de riesgos*. Manual 4 para la formación en gestión integral de riesgos de desastres. Argentina. <https://bit.ly/3T7vhmq>
- USGS [United States Geological Survey]. (2019, septiembre 25). *La ciencia del agua para escuelas*. Water Science School. <https://water.usgs.gov/gotita/>