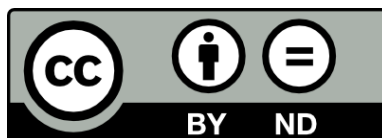


DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA POR INUNDACIONES EN LA
INSTITUCIÓN AGRÍCOLA DE GUACAVÍA EN CUMARAL-META



OLGA ALEJANDRA LLANO MARÍN
JUAN CARLOS MARTÍNEZ HERNÁNDEZ



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2019

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA POR INUNDACIONES EN LA
INSTITUCIÓN AGRÍCOLA DE GUACAVÍA EN CUMARAL-META

OLGA ALEJANDRA LLANO MARÍN
JUAN CARLOS MARTÍNEZ HERNÁNDEZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Ambiental

Director
LEYDY JOHANNA ARBOLEDA MONTES
Geóloga

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2019

Autoridades Académicas

P. JOSE GABRIEL MESA ANGULO, O.P

Rector General

P. EDUARDO GONZALEZ GIL, O.P.

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ANTONIO BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. FERNANDO CAJICÁ GAMBOA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decano Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota De Aceptación

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decano de Facultad

LEYDY JOHANNA ARBOLEDA MONTES

Director Trabajo de Grado

ALFONSINA BOCANEGRA GÓMEZ

Jurado

JORGE ELIECER PARDO MAYORGA

Jurado

Villavicencio, octubre, 2019

Contenido

	Pág.
Resumen.....	11
Introducción	13
1. Planteamiento del problema	14
1.1 Descripción del Problema:	14
1.2 Formulación en torno al problema	15
2. Objetivos.....	16
2.1 Objetivo general	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3. Justificación	17
4. Alcance del proyecto.....	19
5. Antecedentes	20
6. Marco de referencia	24
6.1 Marco teórico	24
6.2 Marco conceptual	26
6.3 Marco legal.....	34
7. Metodología	35
7.1 Diseño metodológico.....	35
7.1.1 Fase 1. Obtención de la información	35
7.1.2 Fase 2. Fijación de dispositivos que alimentan al SAT	43
7.1.3 Fase 3. Estrategia de implementación	43
8. Resultados y discusión.....	45
8.1 Fase 1: Calificación de riesgo de inundación.....	45
8.2 Fase 2. Planicies de inundación y dispositivos del SAT	54
8.3 Fase 3. Diseño y estrategias de implementación del SAT	64
9. Conclusiones	69
10. Recomendaciones	70
11. Referencias bibliográficas.....	71
12. Apéndices.....	75

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de las amenazas.....	27
Tabla 2. Calificación de la frecuencia.....	28
Tabla 3. Calificación del territorio afectado	29
Tabla 11. Clasificación del territorio afectado.....	46
Tabla 12. Calificación de la intensidad.....	47
Tabla 13. Calificación total de la amenaza	47
Tabla 14. Vulnerabilidad física.....	48
Tabla 15. Vulnerabilidad económica	49
Tabla 16. Vulnerabilidad social	50
Tabla 17. Vulnerabilidad ambiental.....	51
Tabla 18. Calificación del riesgo	52
Tabla 19. Caudales de diseño.....	56
Tabla 20. Número de curva de la cuenca de interés	60
Tabla 21. Tiempo de concentración y retardo	61

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Delimitación de la zona de estudio por Olga Llano y Juan Martínez. 2018	19
Figura 2. Clasificación de las amenazas tomado de Guía metodológica para la elaboración de planes departamentales de gestión del riesgo. Adaptado de (UNGRD, 2012) por Olga Llano y Juan Martínez.....	26
Figura 3. Tipos de inundaciones. Adaptado de (IDEAM, 2017) por Olga Llano y Juan Martínez.	29
Figura 4. Factores de vulnerabilidad. Adaptado de (UNGRD, 2012) por Olga Llano y Juan Martínez.	30
Figura 5. Estaciones seleccionadas para estudio por Olga Llano y Juan Martínez	36
Figura 6. Polígonos de Thiessen por Olga Llano y Juan Martínez	36
Figura 7. Cuenca del río Guacavía. Adaptado del SIGOT por Olga Llano y Juan Martínez.	37
Figura 8. Delimitación de la zona de interés. Adaptado de ArcGIS por Olga Llano y Juan Martínez.	38
Figura 9. Modelo digital del terreno de la zona de interés.....	38
Figura 10. Secciones transversales Hec-GeoRAS.	39
Figura 11. Delimitación Subcuenca de interés en HecGeoHMS. Adaptado de ArcGIS por Olga Llano y Juan Martínez.	40
Figura 12. Modelo hidrológico. Adaptado de HEC-HMS por Olga Llano y Juan Martínez.....	41
Figura 13. Secciones transversales. Adaptado de HEC-RAS por Olga Llano y Juan Martínez...	42
Figura 14. Secciones transversales con TR de 2 años. Adaptado de HEC-RAS por Olga Llano y Juan Martínez.....	42
Figura 15. Coeficiente de rugosidad. Adaptado de (Chow, Maidment, & Mays, 1994) por Olga Llano y Juan Martínez.	55
Figura 16. Perfiles para Tr 2, Tr 25, Tr100 por Olga Llano y Juan Martínez.	56
Figura 17. Tipo de flujo por Olga Llano y Juan Martínez.	56
Figura 18. Mancha de inundación para TR2años por Olga Llano y Juan Martínez.	57
Figura 19. Mancha de inundación para TR25años por Olga Llano y Juan Martínez.	57
Figura 20. Mancha de inundación para TR100años por Olga Llano y Juan Martínez.	58

Figura 21. Curvas IDF, estación el retiro por Olga Llano y Juan Martínez.	58
Figura 22. Hietogramas de diseño para TR de 2, 25 y 100 por Olga Llano y Juan Martínez.	59
Figura 23. Clasificación del grupo hidrológico del suelo. Adaptado de (Chow, Maidment, & Mays, 1994) por Olga Llano y Juan Martínez.	59
Figura 24. Tipo de suelo de la zona de estudio por Olga Llano y Juan Martínez.....	60
Figura 25. Caudal de diseño para TR100 años por Olga Llano y Juan Martínez.	61
Figura 26. Hidrograma de crecida TR100 años por Olga Llano y Juan Martínez.....	62
<i>Figura 27. Regla limnimétrica semáforo adaptado de (Provincia de Buenos Aires, 2017) por Olga Llano y Juan Martínez.....</i>	<i>63</i>
Figura 28. Pluviómetro por Olga Llano y Juan Martínez	63
Figura 29. Mapa de alarmas de la Institución Agrícola de Guacavía por Olga Llano y Juan Martínez.	64
Figura 30. Discusión de la estrategia de implantación por Olga Llano y Juan Martínez.	65

Lista de gráficos

	Pág.
Gráfico 1. Calificación de la vulnerabilidad física	48
Gráfico 2. Calificación de vulnerabilidad económica.....	49
Gráfico 3. Clasificación de vulnerabilidad social	50
Gráfico 4. Calificación de vulnerabilidad ambiental	51
Gráfico 5. Calificación de la vulnerabilidad total	52
Gráfico 6. Riesgo total para un periodo de retorno de 2 años.....	53
Gráfico 7. Riesgo total para un periodo de retorno de 25 años.....	53
Gráfico 8 .Riesgo total para un periodo de retorno de 100 años.....	54

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice 1. Tabla de vulnerabilidad Física	75
Apéndice 2. Tabla de vulnerabilidad económica	76
Apéndice 3. Tabla de vulnerabilidad ambiental.....	77
Apéndice 4. Tabla de Vulnerabilidad social	78
Apéndice 5. Clasificación de la vulnerabilidad.....	79
Apéndice 6. Marco normativo.....	80
Apéndice 7. Estaciones seleccionadas	80
Apéndice 8. Encuesta aplicada a la comunidad	81
Apéndice 9. Datos de precipitación del IDEAM.....	84
Apéndice 10. Clasificación de la vulnerabilidad física	87
Apéndice 11 Calificación de la vulnerabilidad económica.....	89
Apéndice 12. Clasificación de la vulnerabilidad social	90
Apéndice 13. Clasificación de la vulnerabilidad ambiental.....	91
Apéndice 14. Clasificación de la vulnerabilidad total.....	92
Apéndice 15. Cálculo de riesgo total para un periodo de retorno de 2 años	93
Apéndice 16 Cálculo de riesgo total para un periodo de retorno de 25 años	94
Apéndice 17. Cálculo de riesgo total para un periodo de retorno de 100 años.....	95
Apéndice 18. Registro fotográfico de recolección de información primaria	97
Apéndice 19 Ruta de evacuación	101
Apéndice 20. Cuadro de actividades socializadas.....	102
Apéndice 21. Organigrama del comité de seguridad escolar	103
Apéndice 22. Cronograma del proyecto.....	104
Apéndice 23. Costos de instalación de dispositivos.....	105
Apéndice 24. Acta de entrega a la institución agrícola de guacavia	106

Resumen

Los fenómenos naturales con mayor incidencia y afectación en la zona de estudio son los de origen hidrometeorológico, ante eso es importante destacar que la Institución Agrícola de Guacavía no cuenta con un sistema de alertas tempranas de inundaciones, siendo un factor agobiante en la presencia de escenarios del riesgo. Teniendo en cuenta que la Inspección de Guacavía hace parte de la cuenca del río Guacavía que está aproximadamente a 200 mts del colegio, el objetivo del proyecto fue diseñar el Sistema de Alerta Temprana (SAT) por inundaciones para la Institución Agrícola de Guacavía, transformándose en un instrumento valioso que obtenga documentación para el colegio sobre los eventos hidrológicos que se puedan presentar una mejora en la calidad de vida de la comunidad educativa. Para esto se realizó una identificación de las planicies de inundación del río teniendo en cuenta las precipitaciones máximas y los caudales máximos del río, que conlleva a determinar la ubicación de los puntos para situar los equipos y dispositivos que contribuyan con la estrategia, por último, se realizó el montaje estratégico institucional que involucre toda la comunidad del colegio, ya que para que la herramienta funcione en óptimas condiciones debe contar con total apoyo de los individuos que se encuentran en amenaza de inundación, de tal manera que les permita tomar decisiones y dar aviso a las autoridades pertinentes.

Palabras clave: Guacavía, inundaciones, sistemas de alerta temprana, prevención de desastres.

Abstract

The natural phenomena with the highest incidence and affectation in the study area are those of hydrometeorological origin, given that it is important to highlight that the Agricultural Institution of Guacavía does not have a system of early flood alerts, being an overwhelming factor in the presence of episodes of risk. Taking into account that the Guacavía Inspection is part of the Guacavía river basin that is approximately 200 meters from the school, the objective of the project is to design the Early Warning System (SAT) for flooding for the Guacavía Agricultural Institution, becoming a valuable instrument that we can obtain documentation for the school about hydrological events that can present an improvement in the quality of life of the educational community. For this, an identification of the flooding plans of the river is carried out taking into account the maximum rainfall and the maximum flow rates of the river, which entails determining the location of the points to locate the equipment and devices that contribute to the strategy, finally, carried out the institutional strategic assembly that involves the entire community of the school, since for the tool to work in optimal conditions it must have the full support of the individuals that are in danger of flooding, in such a way that it allows them to make decisions and give notice to the corresponding authorities.

Keywords: Guacavía, floods, early warning systems, disaster prevention.

Introducción

Uno de los fenómenos naturales que mayor daño causa a nivel mundial, son las inundaciones provocadas por el aumento en cuerpos de agua y las precipitaciones; colocando en riesgo a las personas que se encuentran en el área próximas a afluentes y ocasionando pérdidas económicas (Parry, Canziani, Palutikof, Van der Linden, & Hanson, 2007). En Colombia 190.935 Km^2 son áreas propensas a inundaciones, no obstante, el área hidrográfica que se encuentra más predispuesta a este fenómeno es la Orinoquia, puesto que en éste territorio se encuentran las sabanas y estas son inundables; características propias de la zona nororiente de Sur América (IDEAM, 2016) (Buritaca Mejía, 2016).

La región se enfrenta a enigmas en cuanto a amenazas y riesgos de desastres por inundaciones, lo cual origina que la escasez de proyectos, planes y programas dificulte las acciones que se deben llevar a cabo para solucionar o mitigar los posibles desastres que perjudican directamente a la población aledaña.

Dada su importancia, es esencial delimitar las áreas con mayor riesgo a inundaciones que se encuentran cercanas a las zonas pobladas, mediante la elaboración de planos para enriquecer los procedimientos en cuanto a la producción futura de Planes de Ordenamiento Territorial (POT) y Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) en el área de estudio; orientados a los posibles riesgos y amenazas por inundación de la mano con la gestión de riesgos y desastres.

Es así como éste estudio se centra en la Institución Educativa Agrícola de Guacavía, ubicada en el departamento del Meta. En donde se han presentado inundaciones en los años anteriores, además de encontrarse en riesgo durante los periodos de invierno debido al aumento en precipitaciones y por su proximidad al río Guacavía. Con lo anterior, se realiza una definición del terreno, al generar mapas que sean de ayuda a la población para ser alertada al momento de ocurrir el desbordamiento del cauce, teniendo en cuenta datos históricos de caudales, precipitación y la modelación realizada; junto con un acompañamiento a la población estudiantil de la institución.

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción del Problema:

La gestión del riesgo es la base fundamental para el correcto ordenamiento territorial, ya que con ella se ponen al descubierto las fortalezas y debilidades del territorio y sus habitantes (Universidad Católica del Oriente, 2014). En los países de América Latina y el Caribe muchos de los pobladores debido a su infraestructura económica y social son vulnerables a las amenazas naturales; esto se debe a la falta de conocimientos sobre el riesgo. La consideración de estos aspectos requiere de la formulación y realización de actividades destinadas a evaluar el riesgo y generar medidas de prevención y mitigación (EIRD, 2015) para reducir los impactos disconformes en los países pobres y en desarrollo.

En Colombia, a través del tiempo la población ha tenido desastres en diferentes partes de su territorio por su morfología y abundancia de afluentes hídricos, lo que hace más propenso a los fenómenos hidrológicos destructivos como las inundaciones, que se producen principalmente por lluvias persistentes que generan un aumento del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce, superando la altura de las orillas, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre zonas aledañas (IDEAM, 2016) y las inundaciones causadas por crecientes súbitas que se presentan no necesariamente en el tiempo de lluvia sino horas después, estas, son las que cobran mayor número de vidas.

En el municipio de Cumaral - Meta se han presentado inundaciones producto de actividades antrópicas y las intensas lluvias presentadas por condiciones meteorológicas las cuales son influenciadas por el fenómeno de la niña y de los asentamientos urbanos aledaños a la cuenca del río Guacavía; el cual tiene amenaza por inundación margen izquierda río Caney aguas abajo y la inspección de Guacavía la margen derecha del río Guacavía (Alcaldía Municipal de Cumaral - Meta, 2000-2010). Estos asentamientos no tienen en cuenta la distancia mínima requerida (Ministerio de Agricultura, 1977) de la ronda hídrica del río y construyeron dentro de ella. Por consiguiente, esto incrementa la posibilidad inundaciones cuando el río se desborde.

Actualmente en el lindero del río, se encuentra la Institución Educativa Agrícola Guacavía la cual se halla en inminente estado de amenaza ante alguna situación de inundación por el resultados de la época de lluvias que azota al corregimiento generando inundaciones en los linderos del río y en el interior de la institución, por causa natural del efecto de la esorrentía de la parte alta de la

cuenca del río Guacavía, causando, remociones en masa y de recursos ambientales ya que en la institución se llevan a cabo actividades agrícolas de siembra y vaquería.

En la institución, no existe ningún tipo de alerta de emergencia en tal caso ante el desbordamiento del río, lo cual dejaría expuesta a toda la comunidad educativa que se encuentre en el plantel durante el suceso, por lo tanto, la condición existente de la institución en materia de la gestión desde la óptica de vulnerabilidad social y la toma de decisiones tempranas ante una situación de riesgo, no se ha empleado a profundidad para generar un diagnóstico sobre el problema. Por tal motivo la comunidad educativa desconoce las estrategias que aportaría para la disminución de riesgo por inundaciones.

Con el diseño del sistema de alertas tempranas se da la posibilidad de prevenir y mitigar los riesgos socio-económicos y ambientales, con la ventaja de incentivar a la población educativa en la toma de decisiones frente a un posible riesgo. Una sociedad consciente de su responsabilidad frente al riesgo, y que toma las acciones apropiadas, reducirá con mayor eficacia su vulnerabilidad.

Finalmente es importante crear y acogerse al Sistema Alertas Tempranas por inundación (SAT), por el hecho que aumenta la calidad de vida y ayuda a que decrezcan los riesgos a los seres humanos y al medio ambiente; colaborando con el desarrollo sostenible, puesto que este tipo de sistemas busca proteger el desarrollo económico y social el país. Siendo necesario integrar medidas que procuren reducir el riesgo frente a la amenaza y vulnerabilidad que se tiene en ciertas zonas y a los residentes.

1.2 Formulación en torno al problema

¿Cuáles son los factores más relevantes para el diseño de un Sistema de Alertas Tempranas sobre los posibles sucesos de inundación que permita responder eficientemente ante una situación de emergencia, con el fin de mejorar la capacidad de respuesta en la Institución Agrícola de Guacavía?

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de alerta temprana mixto por inundaciones en la institución agrícola el Guacavía.

2.2 Objetivos específicos

- Evaluar e identificar el grado riesgo ante la vulnerabilidad y la amenaza de inundación del río Guacavía en el área de estudio.
- Establecer los sitios de monitoreo que alimente el sistema de alertas temprana en la institución educativa.
- Proponer la estrategia de implementación del SAT en la institución educativa.

3. Justificación

En Colombia la normatividad sobre gestión del riesgo enmarca la ley 1523 de 2012 donde se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. En el caso de las instituciones educativas la normatividad es bastante clara según la Resolución 7550 de 1994 reglamenta la obligatoriedad de la adopción del plan escolar para la gestión del riesgo, así como la inclusión del riesgo tanto el proyecto educativo institucional, como en el currículo (Hernández Vargas, 2012) (Ministerio de Educación Nacional, 1994).

La ocurrencia y las consecuencias de los acontecimientos peligrosos de aspecto hidrológico, se han intensificado por la degradación ambiental. Por consiguiente, en Colombia los escenarios de riesgo por inundación, y fundamentalmente el fenómeno de la Niña (Euscátegui & Hurtado, 2014), ha tenido efectos negativos en cuanto a daños y pérdidas, esto demuestra la insuficiencia en gestión del riesgo de desastres del país.

En la actualidad el incremento de vulnerabilidad de un territorio, ante algún fenómeno de inundación cada vez son más frecuentes e intensos, lleva casi a la obligación de formular estrategias para acceder a medidas apropiadas de prevención y mitigación que satisfagan las prioridades de cualquier comunidad, como evaluación del riesgo. Debido a incrementos en ocurrencia y magnitud de inundaciones, será esencial para que los gobiernos locales y municipales cuenten con instrumentos necesarios para planear a raíz de prevención y permita tener una reacción oportuna e inmediata ante casos de inundación (Mora Estrada & Rosas Sánchez, 2016).

En el pie de monte llanero encontramos el departamento del Meta, el cual posee una abundante riqueza hídrica; contando con su río principal, el río Meta, éste nace en el páramo de Sumapaz. Debido a su ubicación geográfica, presenta una inestable dinámica fluvial, destacando la divagación lateral de los ríos y la colmatación; lo cual hace que varios de sus municipios se encuentren en estado de riesgo y amenaza por inundación en las épocas de alta pluviosidad, alcanzando un promedio de 4383 mm al año (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2015) (Secretaría de Educación del Meta, 2016) (IDEAM, 2012)

Uno de los municipios afectados por inundaciones es el municipio de Cumaral-Meta. Éste se encuentra aledaño al río Guacavía; ha padecido las consecuencias de sucesos provenientes de amenazas naturales (Se han tenido alertas por parte de IDEAM sobre crecientes súbitas por

precipitación en el río Meta y por ende para el río Guacavía (UNGRD, 2018) y antrópicas, las cuales aún están presentes; afectando el desarrollo de la comunidad. Entre ellas se pueden resaltar la temporada de lluvias que suelen influir a la comunidad al causar el desbordamiento del río Guacavía; dejando damnificados por tal situación que conlleva a otras consecuencias como el realizar procesos de urgencia en la reubicación en zonas de asentamientos subnormales. Como ocurrió el pasado 13 de agosto el 2013, el desbordamiento del río dejó 700 viviendas y 2.800 damnificados, el contratiempo comenzó en la parte alta del río, en el lugar no se encontraban terminadas las obras de mitigación y por tal motivo el contratiempo fue de gran magnitud. Perjudicando a el Instituto Agrícola del Guacavía que sufrió este contratiempo, agravando a los 54 alumnos internados provenientes de diferentes municipios como Casanare, San Juanito, Villavicencio, Cumaral, de las fincas y veredas de Guacavía (Llano 7 días, 2013).

Dado que el instituto se encuentra en el Corregimiento del Guacavía, se hace necesario un sistema de alertas tempranas para la institución educativa agrícola del Guacavía, como mecanismo de disminución en cuanto al riesgo de inundaciones. De tal forma que las cifras en cuanto a personas afectadas se reduzcan y disminuya la vulnerabilidad a la que se encuentran expuestos; no obstante, este sistema servirá para la comunidad que se encuentre aledaña a la institución. Contando con el respaldo el cuerpo de docentes para instruir a los alumnos, en especial a los 70 estudiantes que se encuentran en modalidad de internado dentro de la institución.

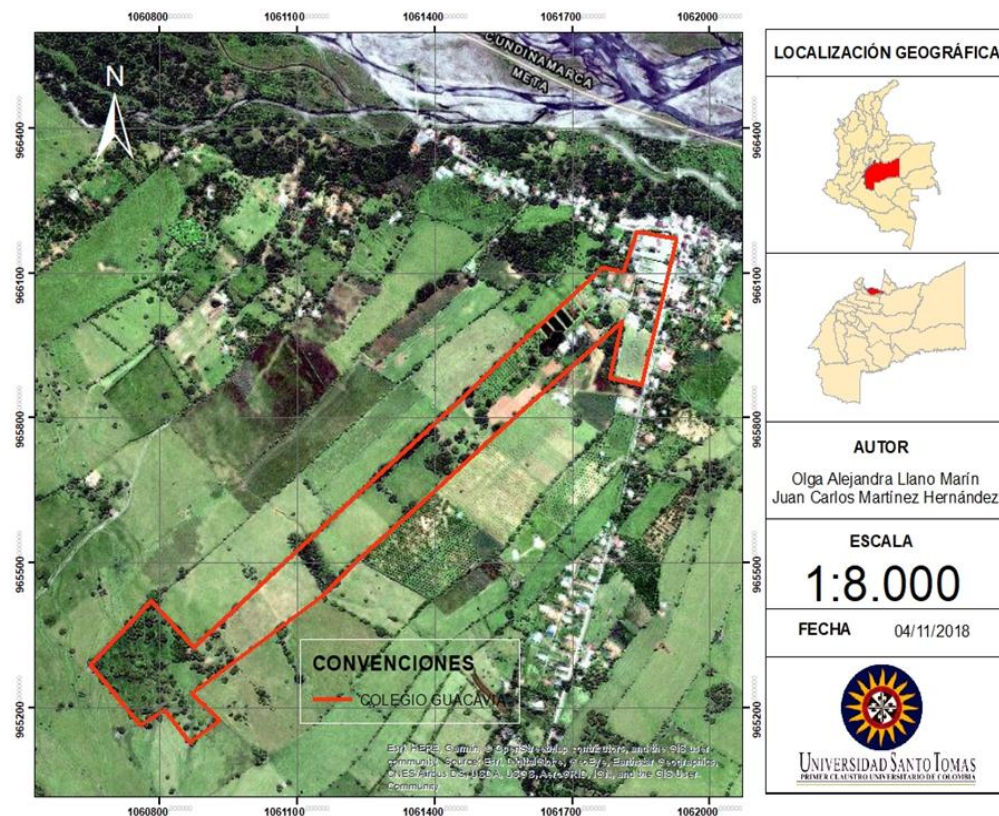
Al diseñar un sistema de alertas tempranas por inundaciones para la comunidad educativa será trascendente, puesto a que contendrá los instrumentos adecuados para la toma de decisiones preventivas en pro del bienestar dando pasos en busca de soluciones, poniéndose en frente de la situación que implica el riesgo y de esta manera aportar un grano de arena en cuanto al problema de inundaciones.

Llegando a este punto, se entiende que el presente proyecto busca colocar a disposición de la institución el planteamiento de las herramientas que respondan a situaciones de emergencia o desastre en cuanto a inundaciones por parte del río Guacavía.

4. Alcance del proyecto

El presente proyecto se llevó a cabo en la Institución Agrícola del Guacavía del corregimiento de Guacavía jurisdicción del municipio de Cumaral en el departamento del Meta, donde trabajan y conviven durante las 24 horas del día 600 personas que hacen parte del cuerpo educativo y de seguridad de la institución, que cuenta con la modalidad de internado, su cercanía al río Guacavía hace imprescindible el diseño de un sistema de alerta temprana por inundación para la institución (Figura 1).

El proyecto tuvo una duración de 6 meses contados a partir de marzo de 2019 hasta el mes de agosto de 2019, donde se realizaron análisis de los valores máximos de precipitación en 24 horas de 1994 hasta 2017, visitas a la institución 4 veces al mes, para levantar información, educando a la comunidad educativa para la prevención y reacción ante un desastre y recopilar datos para alimentar el SAT.



5. Antecedentes

La gestión del riesgo nace como una medida para garantizar la gobernanza de los países ante una situación extrema de emergencia (EIRD, 2015), de los cuales se destaca:

Experiencias de SAT en Europa y Asia: El sistema de alertas global por inundación (GFAS) está operando desde el año 2006, un intento de hacer el mejor uso de las estimaciones de precipitación de satélites globales en el pronóstico y alerta de inundaciones, apoyado y promovido por el Ministerio de Tierra, Infraestructura y Transporte de Japón, la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón, en virtud de la cual el Instituto de Desarrollo de Infraestructura, este sistema de información convierte las estimaciones de precipitación satelital que la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) (GFAS, 2006).

El Sistema Europeo de Concientización sobre Inundaciones (EFAS) Desde 2012, se está ejecutando en pleno. El sistema suministra información complementaria a las autoridades nacionales y regionales pertinentes. Además, el EFAS mantiene informado al Centro de Coordinación de Respuesta a Emergencias (ERCC) sobre los eventos de inundaciones en curso y posiblemente futuros en toda Europa (EFAS, 2012).

Experiencias de SAT en América Latina: En Centroamérica se trabaja conjuntamente sobre el monitoreo en caso de inundaciones, los SAT operados por entidades gubernamentales y en la mayoría de los casos SAT comunitarios, debido a que la posición geográfica de Centroamérica es propensa a fenómenos hidrológicos de gran magnitud como lo son los huracanes y tsunamis; la alerta temprana es un proceso que involucra la generación de información para mitigar impactos sociales y ambientales cuyos resultados pueden ser de desastre.

En 2008 SAT Contra Eventos Meteorológicos Extremos México, SAT en la cuenca del río Beni, Bolivia; en 2009 la implementación del SAT por Inundaciones, El Salvador, SAT ante inundaciones de la cuenca del río Coyolate, Guatemala, SAT en la cuenca alta del río Grande de Matagalpa, Nicaragua, SAT ante inundaciones en la cuenca del río Piura, Perú; en 2010 SAT en Río de Janeiro, Brasil, SAT para fenómenos hidrometeorológicos en Manabí, Ecuador; en 2012 el SAT para Centroamérica; en 2013 SAT hidrológica, riesgo de inundación, a nivel de dos

cuenas en Venezuela; en 2016 SAT nacional enfocado a desbordamiento de ríos en cuencas priorizadas y tsunamis, Ecuador.

Gran parte del territorio de Centroamérica hace parte del cinturón de fuego del pacifico, se encarga de recopilar la información hidrometeorológica de las instituciones globales y regionales encargadas de monitorizar los fenómenos atmosféricos, con el fin de fortalecer la capacidad de anticipar los desastres e inundaciones (SATCA, 2007) (Zurich Insurance Group, 2017) (Jimenez Hernández, 2008).

Experiencias de SAT en Colombia: En Colombia los sistemas de alerta temprana (SAT) se han venido desarrollando de manera paralela. La primera experiencia fue en 1976, con el Servicio Colombiano de Hidrología y Meteorología, el cual se basaba en el modelo Sacramento y operaba con tarjeta perforada para procesar la información proveniente de radios y teléfonos. Este sistema suministraba datos cuantitativos y daba apoyo a los organismos de socorro en la temporada invernal (Domínguez Calle, Angarita, & Rivera, 2010). El país ha tenido que lidiar con eventos extremos de gran impacto sobre la población, en las cuales se encuentra la avalancha de Armero en 1985 la cual fue originada por la expulsión de gases y material caliente del volcán nevado del Ruiz el cual, derritió los casquetes de hielo y formó una avalancha de agua que arrastro rocas que descendía a una gran velocidad (Hermelin, 2005). A raíz de esta tragedia se descubrió la necesidad de contar con un sistema que se hiciera cargo de coordinar las acciones orientadas a la prevención y atención de desastres en Colombia.

Las catástrofes presentadas en el país se han tomado medidas como la implementación de planes de ordenamiento de cuencas hidrográficas y sistemas de alertas tempranas por inundaciones en caso de municipios, cascos urbanos o establecimientos educativos. En varias regiones de Colombia se han venido desarrollando sistemas de alerta temprana local, por ejemplo:

- SAT del Distrito Capital de Bogotá.
- SAT para la cuenca del río Combeima, Departamento de Tolima, 2009.
- En 2010 SAT del área Metropolitana del Valle de Aburrá, Colombia.
- En 2011 SAT contra inundaciones en zonas urbanas y periurbanas de Timaná, Colombia y el SAT por inundación y deslizamiento en el flanco nororiental de la sierra nevada de Santa Marta, La Guajira.

- En 2012 Sistema acústico de alerta temprana en Bucaramanga, la Universidad del Norte viene desarrollando un SAT, el mencionado anteriormente fue para el área metropolitana de Barranquilla y el SAT Centrado en la Población para la Cuenca Media del Río Otún.
- La implementación del SAT de Norte de Santander comenzó en el 2013.
- En 2014 el SAT del Municipio de Santa María, Colombia y el SAT cuenca del río Molinos, Popayán-Cauca.
- En 2018 se implementó el SAT en Mocoa debido a la catástrofe ocurrida en 2017 cuando fuertes lluvias provocaron deslizamientos, deslaves y flujos de lodo en las cuencas altas de los ríos Mocoa, Mulato y Sancoyaco,

Se cuenta con la participación de agentes comunitarios para la captura de información climática local de forma artesanal y que contribuye con la información para los reportes y boletines para los pobladores de las cuencas afectadas (Zurich Insurance Group, 2017) (Dominguez & Lozano, 2014) (Fernández Lopera & Sabas Ramírez, 2012) (Acosta Coll, 2013) (Duque, 2018) (Romo, 2015).

En Villavicencio la alcaldía municipal tiene un documento el cual constata el plan de procedimiento para adelantar acciones de conocimiento del riesgo que tiene como objetivo caracterizar comunidades y familias en riesgo de condiciones sociales, económicas, demográficas, culturales de permanencia y convivencia en que se encuentran las personas que habitan o se localizan en sectores o zonas de asentamientos suburbanos en un alto grado de exposición y peligro que amenaza la vida de personas (Alcaldía Municipal de Villavicencio, 2017).

Según el esquema de ordenamiento territorial (EOT) de Cumaral-Meta, La inspección Guacavía es una zona de alto riesgo de inundación por la cercanía al río Guacavía (Alcaldía Municipal de Cumaral - Meta, 2000-2010), además cerca de la inspección de Guacavía se realiza actividades de sísmica, lo cual han venido afectando lo que se lleva de siglo XXI, en 2013 se presentó una explosión, lo que provocó la ruptura del jarillón provocando un desbordamiento del río sobre el casco urbano del corregimiento, el municipio tomó como medida ampliar el sistema de alcantarillado de la inspección (Llano 7 días, 2013).

Experiencias en instituciones educativas: En Venezuela, México, Costa Rica, El Salvador y Guatemala principalmente se han diseñado e implementado SAT con enfoque escolar en caso de inundaciones, debido a la ubicación geográfica de las escuelas por cercanías a los afluentes hídricos, los resultados han sido positivos tanto que el anhelo de las comunidades por participar

en las sesiones de capacitación ha sido destacable. Asistiendo muchas mujeres cabezas de hogar, hombres y niños, circulando entre los maestros de las escuelas locales, material para promover la toma de consciencia sobre los desastres. Se inició un proceso de formación en las comunidades que sigue funcionando (Apolo, 2015) (Chirino Betancourt & Clemente Méndez, 2014) (Ministerio de Educación Pública de Costa Rica, 2013).

En el caso de instituciones educativas en Colombia, según la Resolución 7550 de 1994 reglamenta la obligatoriedad de la adopción del Plan Escolar para la Gestión del Riesgo (Ministerio de Educación Nacional, 1994). Los entes gubernamentales regionales llevan en su base de datos los planes de riesgo de las instituciones educativas ya sean públicas y privadas, documentos que contemplan la identificación de los riesgos y vulnerabilidad en el que se encuentra determinado colegio, la definición de procedimientos de acción e intervención en caso de emergencia, entre otros aspectos, estableciendo parámetros para la actuación ante emergencias.

6. Marco de referencia

6.1 Marco teórico

Un sistema de alerta temprana (SAT) es el conjunto de equipos, procedimientos y planes de respuesta, por los cuales se recolecta y procesa información sobre amenazas previsibles de forma autónoma, con el fin de dar aviso a la población cuyo funcionamiento integrado incrementa el tiempo de anticipación con el que puede emitirse una alerta, permitiendo que las autoridades y comunidad puedan tomar acciones para reducir el daño y proteger sus vidas. (Unidad Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres, 2014). Su importancia radica en que permite conocer anticipadamente y con cierto nivel de certeza, en que tiempo y espacio, una amenaza o evento adverso de tipo natural o generado por la actividad humana por ende puede desencadenar situaciones potencialmente peligrosas. Por lo cual las alertas deben difundirse con suficiente anticipación. Su objetivo es reducir o evitar la posibilidad que se produzcan amenazas, lesiones personales, pérdidas de vidas, daños a los bienes y al ambiente, mediante la aplicación de medidas de protección y reducción de riesgos. Los Planes de Gestión de Riesgo o Respuesta de Emergencias son medidas indispensables para que una alerta sea efectiva (IDEAM, 2016) (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2012) (Unidad Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres, 2014) (EIRD, 2005).

Desde los lineamientos internacionales, la UNISDR (EIRD, 2015) propone cuatro componentes fundamentales que son la detección y pronóstico de amenaza, evaluación de los riesgos e integración de la información, divulgación oportuna, confiable y comprensible, y planificación, preparación y capacitación para la respuesta en todo nivel (institucional y comunitario). Entre las amenazas o eventos más comunes a los cuales se aplican SAT tenemos las inundaciones, deslizamientos de tierra, huracanes, volcanes, tsunamis, incendios forestales, fenómeno del niño y la niña, entre otros (EIRD, 2005).

Sistemas de Alerta Temprana de Inundaciones:

Las inundaciones son aquellas condiciones en las que los ríos debido al aumento excesivo de su caudal, se desbordan y salen de su cauce en forma temporal, afectando a las poblaciones y el entorno bajo sus zonas de influencia. Entre los SAT son aplicables a diversas amenazas, cuyas

características permiten su vigilancia y monitoreo. Las posibles causas tenemos lluvias fuertes y constantes, obstrucción de los cauces, ruptura de presas y diques, entre otros. Los daños por consecuencia de las inundaciones, producen elevados costos sociales, económicos y ambientales basado en lo anterior los sistemas de Alerta Temprana, para inundaciones, juegan un papel importante al monitorear las condiciones hidrometeorológicas y el comportamiento de los cauces de los ríos o cuencas hidrográficas, con lo cual se pronostican las probabilidades de una inundación sobre un área específica (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2012) (Unidad Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres, 2014).

Sistemas automatizados: Estos sistemas automatizados se basan en la observación y monitoreo mediante la utilización de redes telemétricas, estaciones de lluvia y niveles de los ríos, modelos hidrológicos computarizados, sensores remotos y satélites; con lo cual se vigila la cantidad de lluvia, los niveles de los ríos, para finalmente pronosticar crecidas en forma precisa. Este sistema tiene aplicación en cuencas hidrográficas grandes y se apoyan en organizaciones científicas como centros especializados en hidrometeorología, universidades, gobierno local, nacional y actores sociales (Dominguez & Lozano, 2014) (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2012).

Sistemas comunitarios: Estos sistemas tienen aplicación en cuencas hidrográficas medianas y pequeñas; son de fácil manejo, ya que sus instrumentos son básicos y no requieren de personal especializado; los recursos disponibles para su creación y funcionamiento son limitados; participan un conjunto de actores, en donde la comunidad organizada es el principal elemento, y cuya participación se ejerce en forma voluntaria. Con estos sistemas las comunidades identifican sus riesgos, aumentan sus capacidades para enfrentar emergencias y reducen la posibilidad de pérdidas de vidas y daños materiales (UNGRD, 2018).

Es indispensable su activa participación, en los aspectos del establecimiento y funcionamiento de los SAT, sean de tipo automatizado o comunitario, ambos sistemas aportan y contribuyen al fortalecimiento de los procesos de desarrollo de las comunidades donde son implementados (UNGRD, 2018) (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2012).

6.2 Marco conceptual

Riesgo: El riesgo se define como la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas, así mismo es la incertidumbre frente a la ocurrencia de eventos y situaciones que afecten los beneficios de una actividad (CIIFEN, 2017).

Factores de riesgo: Se reconocen según (UNGRD, 2012) como factores de riesgo a la amenaza y la vulnerabilidad. Para que suceda un evento que pueda provocar un desastre debe haber una amenaza, que es un fenómeno de origen natural, socio natural, antrópico no intencional y tecnológico que cause daño en un momento y lugar determinado, y condiciones desfavorables en una comunidad, las cuales se denominan vulnerabilidades.

Amenaza: es un fenómeno, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales, económicos y daños ambientales. La amenaza se determina en función de la intensidad y la frecuencia (CIIFEN, 2017) (UNGRD, 2012), la cual se clasifica así:



Figura 2. Clasificación de las amenazas tomado de Guía metodológica para la elaboración de planes departamentales de gestión del riesgo. Adaptado de (UNGRD, 2012) por Olga Llano y Juan Martínez

Análisis de la amenaza: La investigación de cada amenaza requiere contar con un grupo de actores, información y métodos de recolección y procesamiento de datos específicos (UNGRD, 2012). Sin embargo, para cada una de las amenazas priorizadas es posible tener en cuenta los siguientes principios:

- Investigar las características, tipo de intensidad de la amenaza, así como el territorio afectado.
- Considerar tanto los eventos del pasado como la probabilidad de una nueva ocurrencia, investigando los procesos generadores de amenazas (por ejemplo, remoción en masa por uso inadecuado del suelo).
- Combinar la información científica disponible con los conocimientos y las experiencias vividas por la sociedad expuesta, incluyendo población, instituciones públicas, sector privado y otros.

Las variables para realizar un óptimo análisis de amenazas son: el tipo de amenaza, frecuencia, intensidad y el territorio afectado (UNGRD, 2012) posteriormente se debe proceder con la calificación indicativa de las amenazas como se describe a continuación, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Amenaza (A)} = \text{Intensidad (I)} + \text{Frecuencia (f)} + \text{Territorio afectado (T)}$$

Esta calificación debe ser realizada para cada una de las amenazas. En la siguiente tabla se observan los intervalos de calificación de las amenazas:

Tabla 1. Clasificación de las amenazas

Intervalo	Clasificación de la amenaza
1-3	Baja
4-6	Media
7-9	Alta

NOTA: Adaptado de (UNGRD, 2012) por Olga Llano y Juan Martínez

Frecuencia: La frecuencia es cada cuanto se presentan fenómenos amenazantes en la zona de estudio y en qué tipo se podría encontrar, por otro lado, la frecuencia es directamente proporcional al periodo de retorno en el que se presente teniendo la siguiente calificación:

Tabla 2. Calificación de la frecuencia

Periodo de retorno	Valor	Calificación
Evento que se presenta más de una vez al año o por lo menos una vez en un periodo de 1 a 10 años.	3	Alta
Evento que se presenta por lo menos una vez en un periodo de tiempo entre 10 y 50 años.	2	Media
Evento que se presenta al menos una vez en un periodo de tiempo entre 50 y 100 años.	1	Baja

NOTA: Según el periodo de retorno. Adaptado de (UNGRD, 2012) por Olga Llano y Juan Martínez

Intensidad de inundación: Es la acumulación de agua causada por lluvias intensas sobre áreas planas; deficiencias en el drenaje; desbordamiento de corrientes naturales; desbordamiento de ciénagas; avalanchas producidas por erupciones volcánicas, sismos, deslizamientos y formación de presas naturales; obstáculos al flujo por la construcción de obras civiles y sedimentación de cauces (IDEAM, 2017). Estos eventos influyen con mayor fuerza la dinámica fluvial, sin embargo, cuando los asentamientos humanos no consideran los límites naturales necesarios para evacuar las crecientes, se crea por ende una susceptibilidad al evento, y la vulnerabilidad de los elementos expuestos debido a él es función de la capacidad de protección que desarrolle el asentamiento (IDEAM, 2017).

Existen tres tipos de inundaciones: Naturales, Inducidas y Antrópicas (Figura 3).

Las inundaciones naturales son básicamente de dos tipos: terrestres, las cuales se presentan cuando las aguas dulces anegan territorios del interior de los continentes; y litorales o costeras, en las que las aguas marinas o lacustre-palustres invaden los sectores limítrofes con el dominio terrestre.

Las inundaciones terrestres pueden ser debido al desbordamiento de corrientes fluviales o bien por el encharcamiento de zonas planas o endorreicas sin vinculación con la red fluvial, tanto por acumulación de la precipitación sin que circule sobre la superficie como de origen hidrogeológico asociado a la elevación de la superficie freática sobre la superficie del terreno.

Las inundaciones litorales o costeras, las causas pueden relacionarse con aumentos del nivel del agua de mares y lagos durante tormentas, fenómenos ciclónicos atípicos (huracanes, tifones, tormentas tropicales, ciclones, tornados).

TIPOS DE INUNDACIONES	NATURALES	TERRESTRES	Vinculadas a la red fluvial	Torrenciales	Crecientes súbitas
				Crecientes lentas	Aumento lento del nivel del agua
				Rotura de presas naturales	Lagos, represamientos naturales
				Obstrucción de cauces	Movimientos del terreno
		No vinculadas a la red fluvial	Endorreismo	Precipitación in situ, aportes a lagos	
			Hidrogeológicas	Surgencias, variaciones del nivel freático	
		LITORALES	Mareales		
			Olas y ondas		
	INDUCIDAS	Obstáculos al flujo, impermeabilizaciones del suelo, deforestación			
ANTRÓPICAS	Gestión inadecuada de obras hidráulicas			Desembalses	
	Roturas y fugas			Almacenamientos, conducciones	

Figura 3. Tipos de inundaciones. Adaptado de (IDEAM, 2017) por Olga Llano y Juan Martínez.

Territorio afectado: El territorio es el elemento físico compuesto por las porciones de tierra, los ríos, golfos, puertos, canales, bahías, entre otros, que se encuentran dentro de un departamento, los cuales presentan diferentes afectaciones frente a la ocurrencia de fenómenos amenazantes (UNGRD, 2012). Se debe tener en cuenta la ocupación del 100% del territorio.

Tabla 3. Calificación del territorio afectado

Descripción	Valor	Calificación
Más del 80% del territorio se encuentra afectado.	3	Alta
Entre 50% y el 80% del territorio presenta afectación.	2	Media
Menos del 50% del territorio presenta afectación.	1	Baja

NOTA: Adaptado de (UNGRD, 2012) por Olga Llano y Juan Martínez.

Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es un factor esencial para realizar el análisis de riesgo en el territorio, dado que implica el estudio de los efectos de un fenómeno sobre los elementos y/o componentes necesarios para el funcionamiento de la sociedad (CIIFEN, 2017). Está íntimamente relacionado con el riesgo y la amenaza y se puede definir como la debilidad o grado de exposición del territorio. Esto abarca los aspectos económicos, sociales, ambientales, físicos, políticos e institucionales (UNGRD, 2012) (CIIFEN, 2017).

- Factores físicos: Ubicación y resistencia material de los bienes con relación al evento amenazante.
- Factores ambientales: Corresponden a la manera como la comunidad “explota” los elementos de su entorno natural, debilitándose a sí misma y los ecosistemas y su capacidad para absorber sin traumatismos los diferentes eventos amenazantes.
- Factores económicos: Corresponden a la disponibilidad de los recursos económicos (pobreza) en una comunidad, así como la utilización de los mismos.
- Factores sociales: Corresponden a los aspectos políticos, organizacionales, institucionales, educativos, y culturales del departamento en su desarrollo histórico, actual y futuro.



Figura 4. Factores de vulnerabilidad. Adaptado de (UNGRD, 2012) por Olga Llano y Juan Martínez.

Vulnerabilidad física: Está relacionada con la calidad o tipo de material utilizado y el tipo de construcción de las viviendas, establecimientos económicos, de servicios y de infraestructura socioeconómica, para asimilar los efectos de los fenómenos que constituyen una amenaza, según (UNGRD, 2012) se deberán tener en cuenta las variables para calcular vulnerabilidad física en la tabla de vulnerabilidad física (Apéndice 1):

Vulnerabilidad económica: Establece el acceso que tiene la población de un preciso conglomerado urbano para satisfacer las necesidades básicas (infraestructura de servicios, tierra,

medios de producción, empleo, entre otros), y se plasma en la capacidad de hacer frente a un desastre. En la tabla de vulnerabilidad económica se tendrá en cuenta las siguientes variables para calcular su índice (Apéndice 2).

Vulnerabilidad ambiental: Es el grado de resistencia del medio ambiente y de los seres vivos que conforman un sistema, ante la presencia de factores como la variabilidad climática. Está relacionada con el deterioro del medio (aire, agua y suelo), la deforestación, la explotación de los recursos naturales, exposición a contaminantes tóxicos, pérdida de la biodiversidad y la ruptura de la resiliencia del sistema ecológico (UNGRD, 2012).

En tabla de vulnerabilidad ambiental (Apéndice 3), se muestran las variables a tener en cuenta para determinarla.

Vulnerabilidad social: Se analiza a partir del nivel de participación y organización que tiene una comunidad, para prevenir y responder ante situaciones de emergencia, se tendrá en cuenta las siguientes variables (UNGRD, 2012).

Calificación de la vulnerabilidad: Para observar la incidencia en la población afectada de la vulnerabilidad, se debe tener en cuenta la determinación del apéndice; esta se realiza de la siguiente manera:

$$Vt = Vf + Va + Ve + Vs$$

Dónde:

Vt = Vulnerabilidad total

Vf = Vulnerabilidad física

Va = Vulnerabilidad ambiental

Ve = Vulnerabilidad económica

Vs = Vulnerabilidad social

La cifra o valor obtenido será utilizado para determinar si la vulnerabilidad es alta, media o baja, teniendo en cuenta los intervalos y características descritos en la tabla clasificación de la vulnerabilidad (Apéndice 5).

Método Gumbel: La distribución Gumbel ha sido utilizada con buenos resultados para valores extremos independientes de variables meteorológicas y parece ajustarse bastante bien a los valores máximos de la precipitación en diferentes intervalos de tiempo y después de muchos años de uso parece también confirmarse su utilidad en los problemas prácticos de ingeniería de dimensionamiento de redes de drenaje y diversas obras hidráulicas (Aparicio Mijares, 1997).

Según (Aparicio Mijares, 1997) se tienen N muestras, cada una de las cuales contienen n eventos y si se selecciona el máximo de x de los n eventos de cada muestra, es posible demostrar que, a medida que n aumenta, la función de distribución de probabilidad de x tiende a:

$$f(x) = e^{-e^{-d(x-\mu)}}$$

Donde:

x : Representa el valor a asumir por la variable aleatoria

e : Constante de Neper

$$YT = -\ln(\ln(T/T - 1))$$

Donde:

YT : Variable reducida

$\ln$: Logaritmo natural

T : Periodo de retorno

$$Precipitación = \mu + (\alpha * YT)$$

Donde:

μ : constante que depende del tamaño de la muestra

α : constante que depende de la variación estándar de la muestra

$$Prob = \exp\left(-\exp\left(-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)\right)\right)$$

Donde:

$Prob$: probabilidad de ocurrencia

x : Representa el valor a asumir por la variable aleatoria

e : Constante de Neper

μ : constante que depende del tamaño de la muestra

α : constante que depende de la variación estándar de la muestra

Método Racional: Permite determinar el caudal máximo que escurrirá por una determinada sección, bajo el supuesto que éste acontecerá para una lluvia de intensidad máxima constante y uniforme en la cuenca correspondiente a una duración D igual al tiempo de concentración de la sección.

Para estimar el caudal de diseño de la cuenca de estudio, es posible implementar el método racional ya que esta cuenca es catalogada como pequeña debido a que su área es menor a 25 Km² (Aparicio Mijares, 1997). El método racional tiene variables como el coeficiente de escorrentía superficial, la intensidad de precipitación y el área de influencia de la cuenca aguas arriba de la localización de la obra de drenaje (Aparicio Mijares, 1997), que para este caso se identifica con la siguiente ecuación:

$$Q_P = \frac{C \cdot A \cdot I}{360}$$

Donde:

Q_p: Caudal máximo de descarga

C: Coeficiente de escorrentía

A: Área de la cuenca en Ha

I: Intensidad de lluvia

Desastre: Es el resultado que se desencadena de la manifestación de uno o varios eventos naturales o antropogénicos no intencionales que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en las personas, los bienes, la infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios o los recursos ambientales, causa daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, generando una alteración grave y extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad (Congreso de la Republica de Colombia, 2012).

Emergencia: Situación caracterizada por la alteración o interrupción intensa y grave de las condiciones normales de funcionamiento u operación de una comunidad, causada por un evento adverso o por la inminencia del mismo, que obliga a una reacción inmediata y que requiere la respuesta de las instituciones del Estado, los medios de comunicación y de la comunidad en general (Congreso de la Republica de Colombia, 2012).

Gestión del riesgo: Es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible (Congreso de la Republica de Colombia, 2012).

Inundación: Las inundaciones son fenómenos hidrológicos recurrentes potencialmente destructivos. Se producen por lluvias persistentes y generalizadas que generan un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce superando la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas (IDEAM, 2016).

6.3 Marco legal

El Marco legal se ampara en primera instancia por la Constitución Política de la República de Colombia, seguidamente de las políticas a nivel nacional, bajo la Ley 1523 del 2012, decretos 4674 de 2010, 1974 de 2013 y 2157 de 2017, y resolución 7550 de 1994 en cuanto a la gestión del riesgo (Tabla 9).

Sin embargo, la conferencia mundial sobre la reducción de los desastres, realizada en Kobe, Hyogo en 2005 se aprobó la resolución No. 2 “Marco de acción de Hyogo para 2005-2015 y el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030: aumento de la resiliencia de las naciones y de las comunidades ante los desastres” en la cual se destaca, la importancia de crear sistemas de alerta temprana centrados y enfocados en la población, sistemas que permitan alertar a tiempo a las personas expuestas, teniendo en cuenta su estilo de vida, dando orientación sobre cómo actuar en caso de alerta y que ayuden a la eficacia de la gestión de las situaciones de desastre (EIRD, 2005).

El marco legal puede ser observado en el apéndice 6.

7. Metodología

La investigación realizada se enfoca bajo un tipo de estudio no experimental, ya que los fenómenos como las precipitaciones, caudales ocurren naturalmente, lo cual se presta para su observación y muestreo dados para no manipular, ni intervenir las variables y datos obtenidos.

7.1 Diseño metodológico

7.1.1 Fase 1. Obtención de la información

Información geoespacial y cartográfica

Se realizó una recopilación de información del EOT de Cumaral en los sitios web del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial (SIGOT), del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y Alcaldía de Cumaral, sobre las características de la inspección y del río Guacavía para la información teórica de la estructuración de Sistemas de Alerta Temprana. Para obtener el Modelo Digital de Elevación (MDE) se recopiló información del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), cual se complementa con cartografía 1:25000 del IGAC del departamento del Meta y Cundinamarca que hacen parte de la cuenca del río Guacavía.

Información hidrológica

Se consultó 3 estaciones climatológicas y meteorológicas (Apéndice 7) activas y cercanas a la zona de estudio, con influencia directa al río Guacavía por medio del método Thiessen (Chow, Maidment, & Mays, 1994), se eligió la de mayor influencia en la zona de estudio, con un mínimo de 20 años de registro histórico de precipitación máxima en 24 horas.

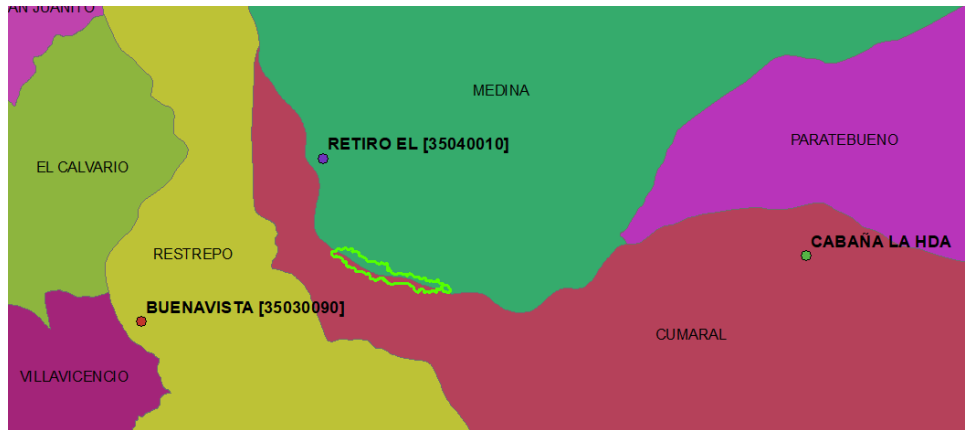


Figura 5. Estaciones seleccionadas para estudio por Olga Llano y Juan Martínez

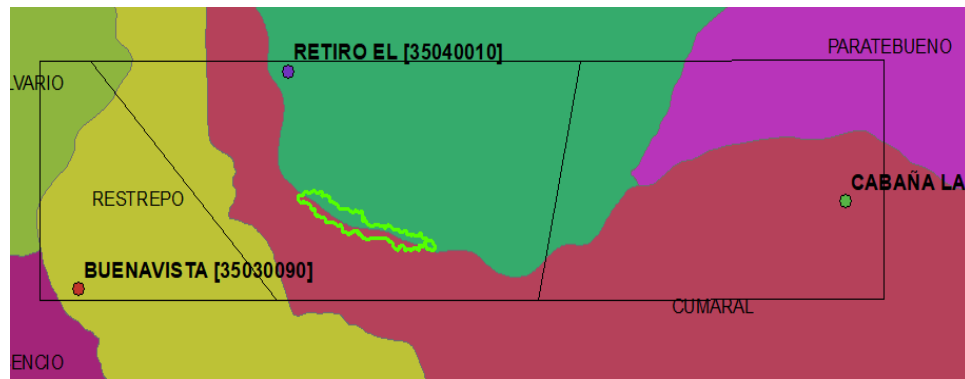


Figura 6. Polígonos de Thiessen por Olga Llano y Juan Martínez

Información primaria

Se realizó encuestas a la comunidad educativa, al cuerpo docente y administrativos del colegio y habitantes asentados cerca de la institución, sobre datos históricos de inundaciones vividas en el sector con el propósito de conocer la vulnerabilidad en la que se encuentra la zona por las crecientes del río Guacavía.

Se evaluó la vulnerabilidad mediante las entrevistas realizadas para así hallar el cálculo del grado de vulnerabilidad teniendo en cuenta los factores ambientales, sociales, económicos y físicos que se atribuyen la institución y asentamientos cercanos al colegio.

Procesamiento de la información

Ejecución en ArcGIS, HecGeoHMS y Hec-GeoRAS

La digitalización vectorial de la Institución Agrícola de Guacavía se realizó a partir de puntos obtenidos en campo mediante un GPS (Global Positioning System), los cuales fueron exportados como archivos KML a shapefile para ser reconocidos en el software ArcGIS 10.4 (Figura 1).



Figura 7. Cuenca del río Guacavía. Adaptado del SIGOT por Olga Llano y Juan Martínez.

A partir de la información obtenida anteriormente delimitación de la cuenca del río Guacavía, se realizó la delimitación de la zona de estudio, por medio del Modelo Digital de Elevación (MDE) suministrado por USGS, procesándolo en ArcGIS, para así delimitar la cuenca del río Guacavía, creando las curvas de nivel correspondientes a la cuenca y un Modelo Digital del Terreno (MDT).

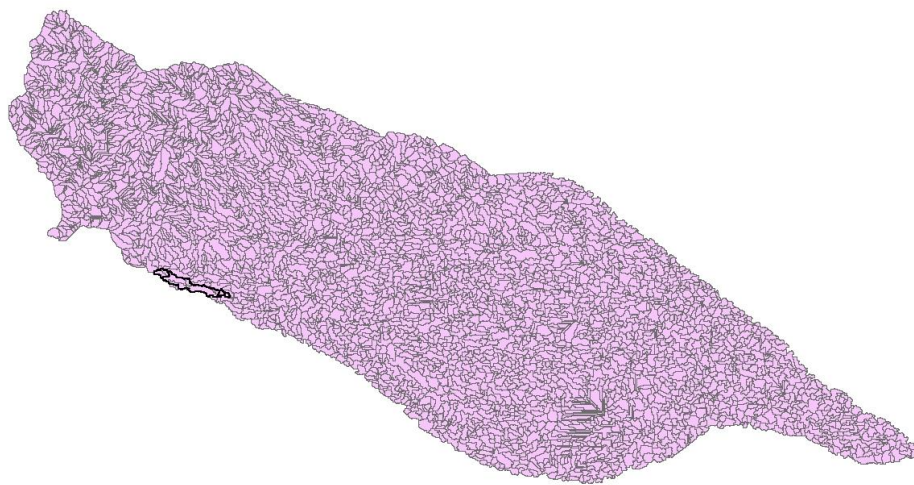


Figura 8. Delimitación de la zona de interés. Adaptado de ArcGIS por Olga Llano y Juan Martínez.

Teniendo el MDT, con la extensión para ArcGIS llamada Hec-GeoRAS se utilizó para hallar los diferentes cuerpos de drenaje de la cuenca y dividir la cuenca en subcuencas para un análisis más detallado de la zona de interés del proyecto (ver figura 8), por medio de la herramienta RAS Geometry, se ejecutó los parámetros necesarios los cuales son:

- Stream center line: El tramo del río Guacavía a modelar
- Banks: Las bancas o laderas de río
- Flow paths: Hasta dónde puede llegar en caso de alguna inundación
- XS cut lines: Secciones transversales necesarias para una óptima batimetría del cauce.

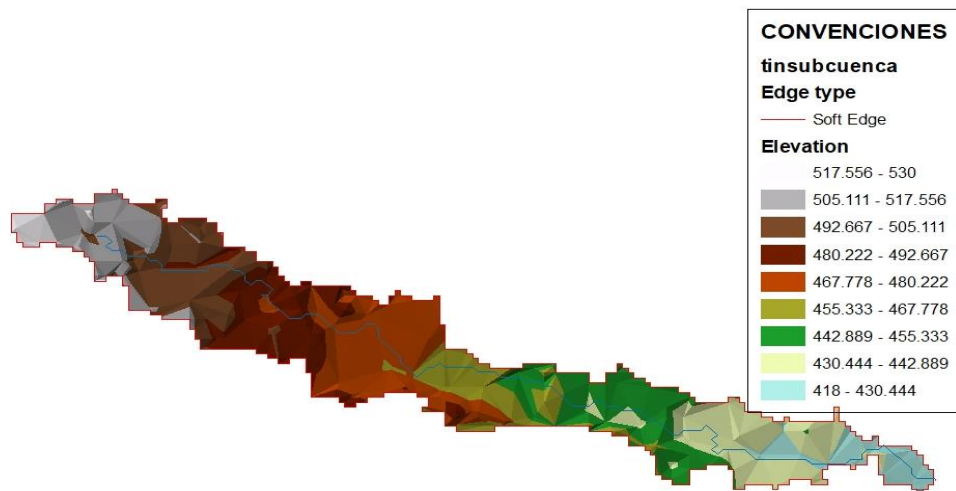


Figura 9. Modelo digital del terreno de la zona de interés.

NOTA. Elevación en metros sobre el nivel del mar. Adaptado del SIGOT por Olga Llano y Juan Martínez.

A base de un TIN o MDT (Figura 9) para optimizar la simulación y modelación de la zona de interés para exportar a HEC-RAS (Figura 10).

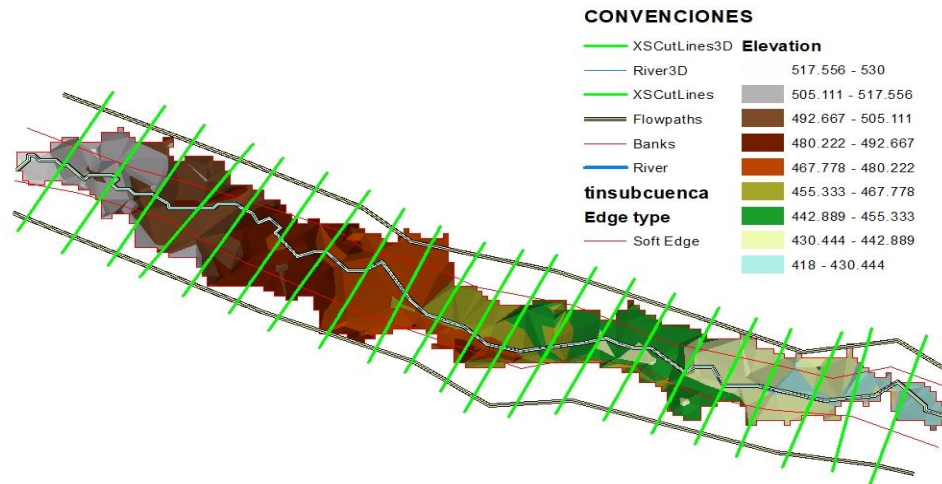


Figura 10. Secciones transversales Hec-GeoRAS.

NOTA. Elevación en metros sobre el nivel del mar. Adaptado de ArcGIS por Olga Llano y Juan Martínez.

Hec-GeoHMS es una extensión básica y preliminar para hallar el caudal pico del cuerpo hídrico durante el evento de inundación en el software HEC-HMS, para lo cual fue necesario delimitar la subcuenca de interés, por medio de la herramienta Preprocessing se ejecutan los siguientes parámetros:

- Fill sinks para eliminar de las depresiones del MDE
- Flow direction para calcular las direcciones de flujo
- Flow accumulation para determinar el cálculo de la acumulación de flujo
- Stream definition se usó para definir de tramos de cauce
- Stream segmentation al dividir los tramos en segmentos
- Catchment Grid Delineation la definición de la cuenca de cada tramo
- Catchment Polygon Processing definición de los polígonos de cada cuenca
- Drainage Line Processing definición de las líneas de drenaje
- Adjoint Catchment Processing para unir de subcuencas

Con la herramienta Project Setup se crea el nuevo proyecto y son necesarios los siguientes parámetros:

- Start New Project
- Generate Project

La siguiente herramienta utilizada fue Characteristics para calcular el cauce más largo de la subcuenca de interés, los parámetros utilizados fueron:

- Longest Flow Path
- Basin Centroid

Por último, de lo obtenido con el procedimiento anterior se organizan los parámetros hidrológicos y se da unidades de medida y se exporta al software HEC-HMS

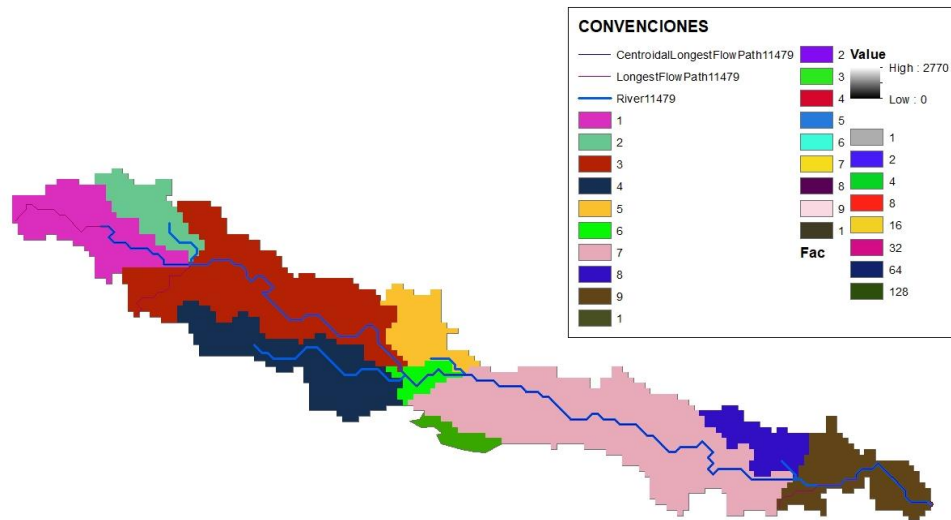


Figura 11. Delimitación Subcuenca de interés en HecGeoHMS. Adaptado de ArcGIS por Olga Llano y Juan Martínez.

Ejecución en HEC-HMS

Al importar lo obtenido en ArcGIS por medio de la extensión HecGeoHMS se procedió a crear el modelo hidrológico, software HEC-HMS 4.2.1 para esto se estableció 3 parámetros fundamentales, los cuales son:

- Basin Model: Aquí se necesitó definir las subcuencas, definir tramos de los cauces principal y secundarios, el área de la cuenca, definir el método de pérdida, la cantidad de lluvia neta que se convierte en escorrentía y por último se definió cuál es la salida del cauce en la cuenca.
- Meteorologic Model: Se necesitó crear los hietogramas de diseño el cual se introduce los datos de precipitación suministrados por IDEAM fecha, hora de inicio y finalización con su respectivo intervalo, seguido de esto se ingresan los métodos de precipitación y así concluye el modelo meteorológico necesario.

- Control Specifications: En este parámetro es necesario colocar fecha y hora de inicio de la simulación, con su respectiva hora de finalización, donde se la lluvia será con intervalos de 1 hora.

El número de curva es una técnica empleada para la transformación de la precipitación total en precipitación efectiva y fue desarrollada por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS). Se obtiene con una zonificación de los elementos de la subcuenca que son las propiedades generadoras de escorrentía de la cuenca: tipo hidrológico de suelo, uso de la tierra y condición previa de humedad, los cuales sus respectivas áreas se multiplican con el número de curva de cada elemento (US Army Corps of Engineers, 2000). De igual forma, se utilizó el método del Hidrograma Unitario del SCS dado a que su diseño fue basado en el análisis de un gran número de hidrogramas unitarios naturales en una cantidad considerada de cuencas hidrográficas (Monsalve Saenz, 1995), donde se obtuvo una simulación del balance hídrico, conversión de escorrentía en caudales y pérdidas de la subcuenca de estudio. (Figura 12)

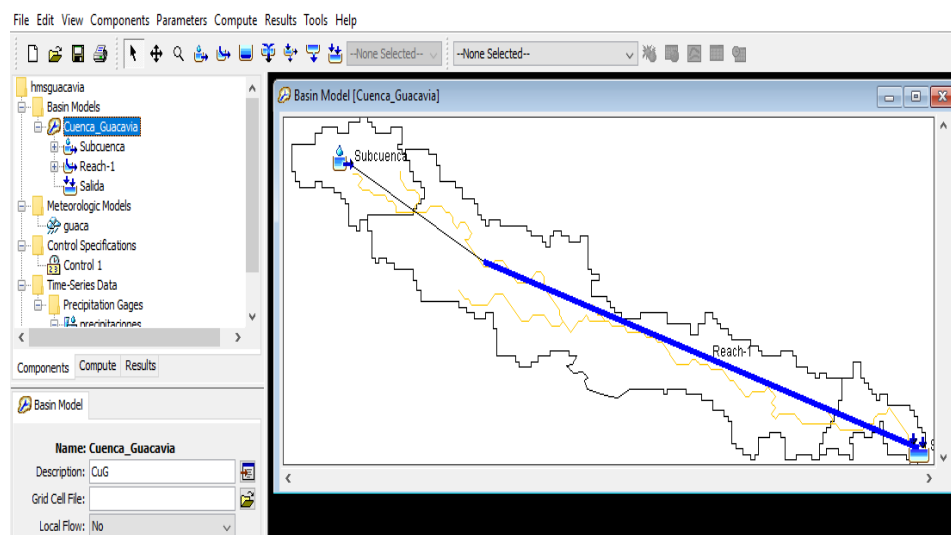


Figura 12. Modelo hidrológico. Adaptado de HEC-HMS por Olga Llano y Juan Martínez.

Ejecución en HEC-RAS

Para el procesamiento de información que se obtuvo de la extensión Hec-GeoRAS se importó los datos de insumo al software HEC-RAS 5.0.3, en el cual se plasmó datos morfológicos, secciones transversales, coeficiente de rugosidad de Manning, pendiente del cauce, caudal pico en sus diferentes periodos de retorno en este caso de estudio fueron TR de 2, 25 y 100 años.

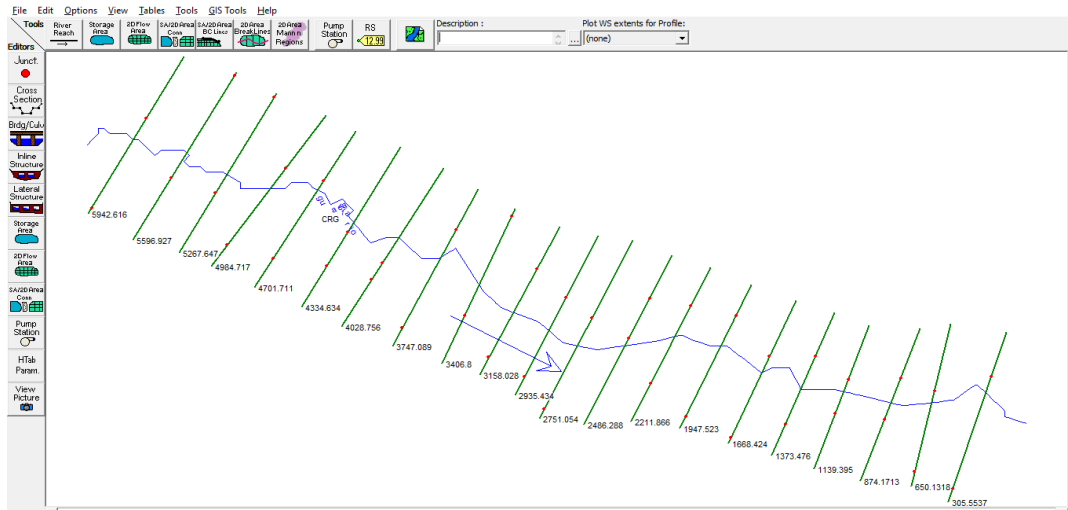


Figura 13. Secciones transversales. Adaptado de HEC-RAS por Olga Llano y Juan Martínez.

Los puntos ubicados a lo largo de la cuenca del Rio Guaca vía, con el fin de obtener una modelación que muestre su comportamiento y su área de inundación.

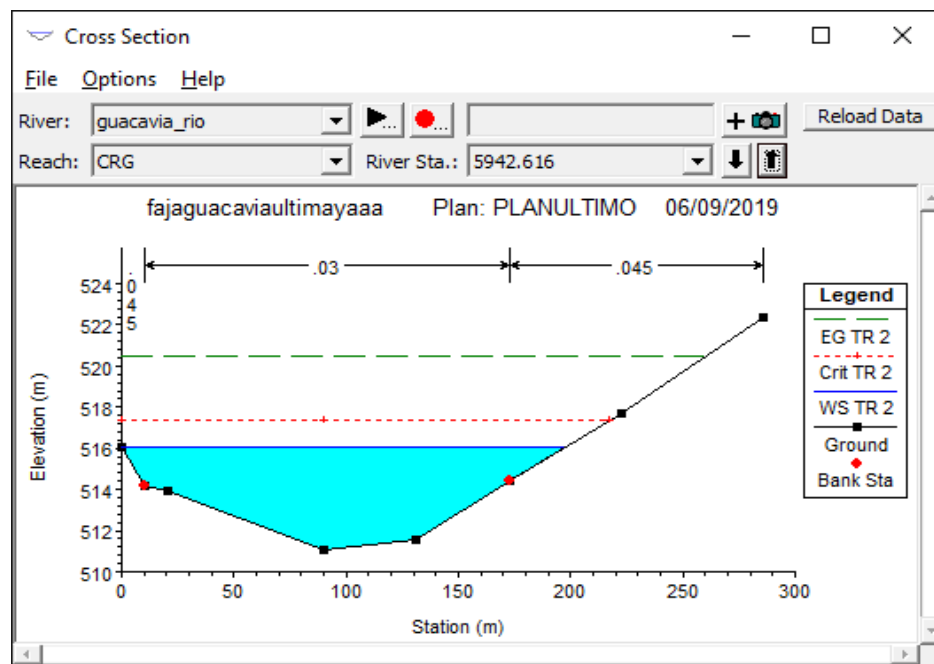


Figura 14. Secciones transversales con TR de 2 años. Adaptado de HEC-RAS por Olga Llano y Juan Martínez.

Finalmente se exportó la información con la opción Export GISData para ser previamente analizada en ArcGIS y generar los mapas de inundación.

Método Gumbel y Método Racional

Los datos de precipitación máxima en 24 horas desde enero de 1994 hasta diciembre de 2017 suministrados por IDEAM (Apéndice 4) de las estaciones de estudio (Tabla 10) en el cual se digitaron datos hidrológicos y meteorológicos como lo son el área de la subcuenca de interés, a raíz de la muestra de datos a sacar un promedio de la precipitaciones máximas anuales para así poder identificar la desviación estándar de los datos, luego de esto con las ecuaciones dadas anteriormente en el método de Gumbel se resuelve incógnitas, este método es base para la creación de las curvas IDF (intensidad - duración – frecuencia) primordial para esclarecer cual será nuestro caudal pico o de diseño por medio del método Racional y así clarificar la obtención del coeficiente de escorrentía que trae implícito en si el tipo de suelo, las coberturas vegetales, un diferencial entre precipitación y evapotranspiración y finalmente la obtención de la curva número.

Para validar la información arrojada por el software HEC-HMS se realiza el método de distribución de Gumbel utiliza para el estudio de los valores extremos, es decir, ideal para simular eventos de inundación con los datos de precipitación máximos dados por las diferentes estaciones meteorológicas, lo que sirve para establecer un margen de error entre el modelo sistemático en HEC-HMS.

7.1.2 Fase 2. Fijación de dispositivos que alimentan al SAT

A partir de la modelación y simulación en el software HEC-RAS sobre el río Guacavía se procedió a identificar las zonas de inundación que hacen parte de la zona escolar; procedimiento realizado por el software ArcGIS para así diseñar el SAT que acobije a la institución educativa.

De igual forma se identificó por medio de sus antecedentes de inundación y las encuestas realizadas (Apéndice 8), los puntos críticos que afronta la población educativa y aledaña al colegio respecto a temas como vulnerabilidad, amenaza y riesgo.

Con la información recolectada y la modelación realizada, se diseñó un mapa de evacuación por inundación para la institución Agrícola del Guacavía que hace parte del SAT.

7.1.3 Fase 3. Estrategia de implementación

De lo anterior, se indagó ante el cuerpo de gestión del riesgo del colegio sobre las estrategias de planificación e implementación del SAT, lo cual arrojó una jornada de capacitación y concientización a la población escolar.

Para realizar la concientización del cuerpo estudiantil se realizarán actividades en donde se integre la gestión del riesgo por inundación que se tiene presente en la región aledaña a la institución educativa. Con esto se busca que los estudiantes se encuentren mejor preparados ante el desbordamiento del río Guacavía.

Al final del proyecto se generaron dos mapas; el primer mapa que se produce, es a partir de los softwares ArcGIS, Hec-GeoRAS y HEC-RAS. El cual da como resultado un mapa de la mancha de inundación del río Guacavía que acobia a la institución, con este se obtiene un estimado de hasta donde llegaría el nivel del agua del río en su crecida; el segundo es la ruta de evacuación que se ubicó en puntos estratégicos de la institución para que la población presente en el instituto pueda observar el camino que deben seguir en caso de necesitarlo por inundación o bien sea por simulacro del mismo; de igual forma el documento final que se donó a la institución para ser consultado y generar mejoras en el colegio y/o servir como guía para realizar este trabajo en el municipio de Cumaral, ante la positiva respuesta de los miembros que participaron en el proyecto, este fue socializado ante la comunidad educativa, para dar culminada la labor.

8. Resultados y discusión

8.1 Fase 1: Calificación de riesgo de inundación

Durante los meses de mayo a septiembre se realizó la respectiva toma de datos en campo en la zona de estudio, por medio de encuestas/entrevistas dirigidas a personal administrativo, docentes y población aledaña a la institución.

Para la presente investigación se empleó el muestreo aleatorio simple, de tal forma que la población tenga la misma probabilidad ser elegidos. Ya que se tenía presente el número exacto de personas dentro de la institución, tanto alumnos como funcionarios. No obstante, fueron elegidos los funcionarios para realización de este estudio, puesto que ellos poseen los conocimientos oportunos para ejecución de la encuesta.

Este método es sencillo y de fácil comprensión, por consiguiente, se dispuso para su uso.

Fórmula:

$$n = \frac{Z^2 pq}{E^2}$$

Ecuación de muestreo aleatorio simple

Donde:

n= Tamaño de la muestra,

Z= Nivel de confianza 90%

p= Variabilidad positiva

q= 1- p Variabilidad negativa

E = Precisión o error admitido

Los datos para la fórmula anterior fueron los siguientes:

Datos	
E	0,16
p	0.5
q	0,5
Confianza	90%
Z	1.645

Dando como resultado 26.5 lo cual se aproximó a un número entero en este caso 27, siendo este último el número de encuestas a llevar a cabo en la investigación.

Como se puede observar, se aplicó la fórmula de muestreo aleatorio simple para cada componente (Docentes, directivos, administrativos, y personal contratado por empresas prestadoras del servicio al departamento).

Cálculo y la estimación de la amenaza: Para realizar el cálculo y la estimación de la amenaza, se tuvo en cuenta los tres factores que la componen: Intensidad, frecuencia y el territorio afectado.

Territorio afectado

De acuerdo a (UNGRD, 2012) se califica de uno (1) a tres (3), siendo uno (1) el bajo, dos (2) el medio y tres (3) el alto, (Tabla 3) el territorio afectado tuvo una calificación media en dos de sus periodos de retorno y alta para el restante, debido a que como fue mencionado anteriormente nuestro 100% de la población es la mancha de inundación obtenida para un periodo de retorno de 100 años.

En la siguiente tabla se muestra la calificación obtenida para el territorio afectado, teniendo en cuenta el porcentaje del mismo.

Tabla 4. Clasificación del territorio afectado

Tr (años)	Área de inundación (Km ²)	% respecto a Tr 100 años	Calificación
2	1.367522	70	2
25	1.668563	86	3
100	1.939462	100	3

NOTA: Tr tiempo de retorno, por Olga Llano y Juan Martínez

Frecuencia

La frecuencia, se tomó de acuerdo a lo establecido en el marco conceptual y los periodos de retorno estudiados, asignando así un valor de 1, para la creciente de 1 en 100 años, 2 para la creciente de 1 en 25 años y 3 para la creciente de 1 en 2 años.

Intensidad

Para la intensidad se tuvo en cuenta los datos obtenidos mediante la modelación hidráulica. A manera de ejemplo se detalla el cálculo de la intensidad para la sección que hace parte del Colegio Guacavía que en este caso en nuestra zona de estudio, en los tres periodos de retorno analizados:

Cabe resaltar que, para realizar la estimación de la intensidad, se tuvo en cuenta los parámetros de velocidad y profundidad obtenidos mediante el software HEC-RAS, realizando la clasificación de intensidad en la que se encuentra la población según las inundaciones dinámicas mostradas en el marco conceptual. Esto se hizo con los datos obtenidos para un periodo de retorno de 2, 25, y 100 años, obteniendo que la población aledaña al río se encuentra en amenaza alta.

Tabla 5. Calificación de la intensidad

Sección	Tr (años)	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Calificación
Colegio	2	6.3	2.256	3
Guacavía	25	8.9	2.928	3
	100	10.3	3.401	3

NOTA: Tr tiempo de retorno, por Olga Llano y Juan Martínez

Amenaza por inundación: Al ejecutar la evaluación de cada uno de estos factores se logró:

Tabla 6. Calificación total de la amenaza

Periodo de retorno	Territorio afectado	Frecuencia	Intensidad	Total	Calificación
2	2	1	3	7	Alta
25	3	2	3	8	Alta
100	3	3	3	8	Alta

NOTA: por Olga Llano y Juan Martínez

Cálculo y estimación de la vulnerabilidad

Este cálculo se hizo basado en los resultados obtenidos con las visitas de campo y la realización de encuestas aplicadas a los docentes, administrativos de la institución y habitantes asentados cerca al mismo (Apéndice 1).

De acuerdo a los datos obtenidos en las entrevistas, se evaluó el nivel de vulnerabilidad en el que se encontraban los habitantes, en una escala de clasificación de baja, media y alta como lo estipula (UNGRD, 2012).

Vulnerabilidad física

Para identificar la vulnerabilidad física se tuvo en cuenta cinco parámetros:

- Antigüedad de la edificación
- Materiales de construcción y estado de conservación
- Cumplimiento de normatividad
- Geología y tipo de suelo en el que se encontraban
- Localización de la vivienda con respecto a los cuerpos de agua cercanos.

En la tabla 4 se puede observar detalladamente las variables a tener en cuenta para darle una valoración cuantitativa; esto con el propósito de conservar los rangos de calificación mostrados en la Tabla 8. Se adoptaron los rangos mostrados en la siguiente clasificación teniendo en cuenta los cinco parámetros mencionados anteriormente siendo así 5 la mínima calificación y 15 la máxima.

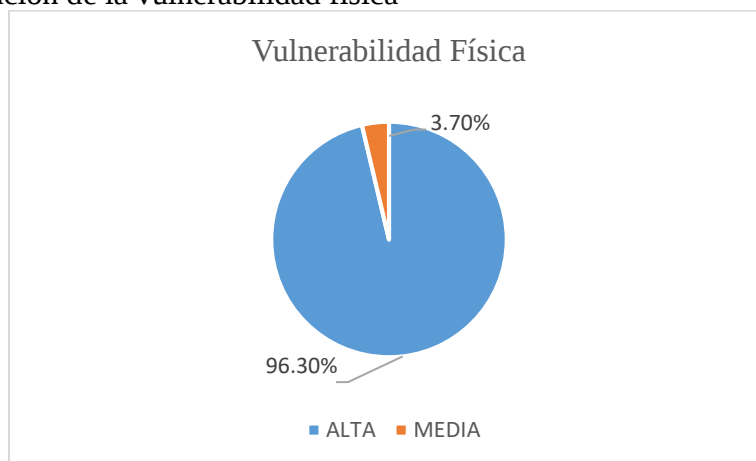
Tabla 7. Vulnerabilidad física

Valor	Clasificación
12 - 15	Alta
8 - 11	Media
5 - 7	Baja

NOTA: por Olga Llano y Juan Martínez

Teniendo en cuenta la Tabla 14, se clasificó el nivel de vulnerabilidad física en el que se encontraba la comunidad educativa y habitantes aledaños a la institución (Apéndice 17), los resultados se pueden observar en el siguiente gráfico:

Gráfico 1. Calificación de la vulnerabilidad física



NOTA: por Olga Llano y Juan Martínez

En gráfico anterior se puede percibir los resultados de la clasificación obtenida a través de las encuestas realizadas; donde el valor con mayor porcentaje se encuentra en una clasificación de vulnerabilidad física alta.

Vulnerabilidad económica

Los factores económicos que se tuvo en cuenta fueron tres (3) variables relacionadas con:

- El nivel de ingresos
- El acceso a los servicios públicos
- Acceso al mercado laboral

con el que contaban los administrativos, docentes de la institución y habitantes aledaños, valorando el último según el número de residentes del hogar y cuantos cuentan con trabajo. De esta manera, la máxima calificación para la vulnerabilidad económica es de 9 y la mínima es de 3, para mantener los rangos de calificación mostrados en la Tabla 8.

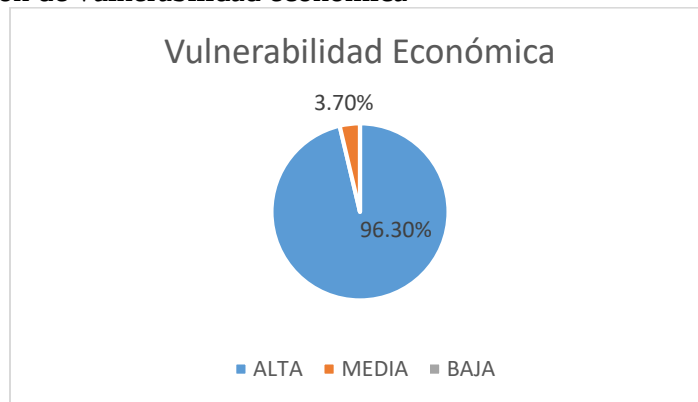
Tabla 8. Vulnerabilidad económica

Valor	Clasificación
7 – 9	Alta
5 – 6	Media
3 – 4	Baja

NOTA: por Olga Llano y Juan Martínez

Teniendo en cuenta la Tabla 15, se clasificó el nivel de vulnerabilidad económica en el que se encontraba la comunidad educativa y habitantes aledaños a la institución (Apéndice 12), los resultados se pueden observar en el siguiente gráfico:

Gráfico 2. Calificación de vulnerabilidad económica



NOTA: por Olga Llano y Juan Martínez

Vulnerabilidad social

La vulnerabilidad social tuvo en cuenta los siguientes factores:

- Nivel de organización
- Conocimiento de los habitantes frente a temas relacionados con la gestión del riesgo
- Participación de la población en organizaciones comunitarias

De esta manera, la máxima calificación para la vulnerabilidad social es de 9 y la mínima es de 3, para mantener los rangos de calificación mostrados en la Tabla 8.

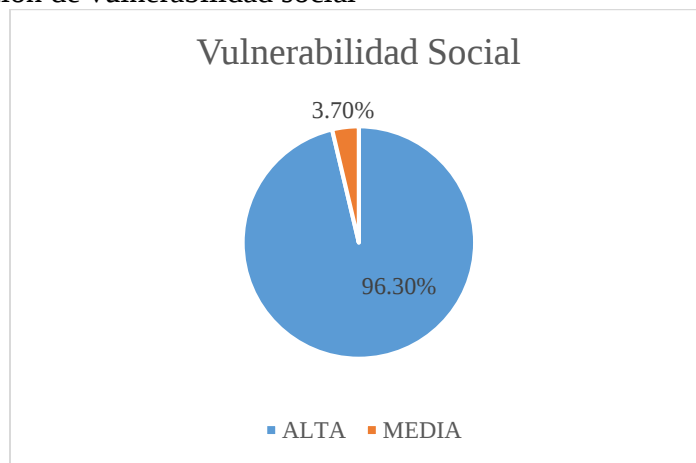
Tabla 9. Vulnerabilidad social

Valor	Clasificación
7 – 9	Alta
5 – 6	Media
3 – 4	Baja

NOTA: por Olga Llano y Juan Martínez

Con lo anterior fue posible clasificar el grado de vulnerabilidad social (Apéndice 12), el resultado de su clasificación fue graficada de la siguiente forma:

Gráfico 3. Clasificación de vulnerabilidad social



NOTA: por Olga Llano y Juan Martínez

La vulnerabilidad que se encuentra en la sociedad es alta; algunas familias que se localizan aledañas al cuerpo hídrico y a la institución, presentan escasos recursos y de conocimiento en cuando a la amenaza en la que se encuentran. Este tipo de circunstancias afecta más al momento de presentarse un desastre puesto que no poseen los conocimientos pertinentes ni los recursos apropiados para tomar medidas (Apéndice 12).

Vulnerabilidad ambiental

Esta fue evaluada debido a las condiciones ambientales en las que se encontraba el río Guacavía en la zona estudio, teniendo en cuenta los factores de condiciones atmosféricas, calidad del aire, calidad del agua y condiciones de los recursos ambientales

De esta manera la máxima calificación para la vulnerabilidad ambiental es de 12 y la mínima de 4, para mantener los rangos de calificación mostrados en la Tabla 8.

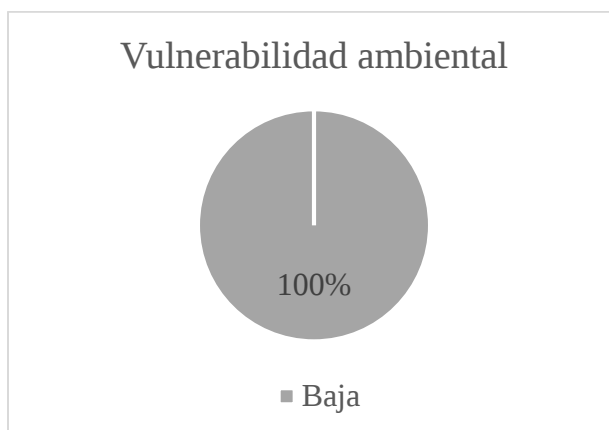
Tabla 10. Vulnerabilidad ambiental

Valor	Clasificación
10 – 12	Alta
7 – 9	Media
4 – 6	Baja

NOTA: por Olga Llano y Juan Martínez

Obtenido esta clasificación, se calcula el grado de vulnerabilidad ambiental que presenta la zona de estudio, el resultado es mostrado en el siguiente gráfico:

Gráfico 4. Calificación de vulnerabilidad ambiental

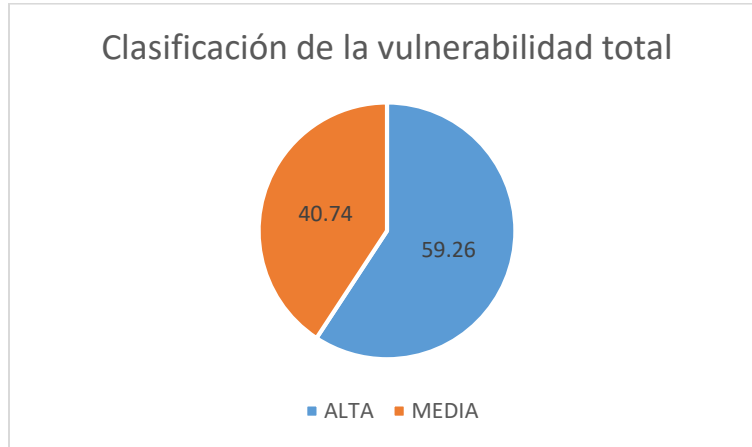


NOTA: por Olga Llano y Juan Martínez

Se evidencia por los participantes de la encuesta que la calidad del aire y servicios de saneamientos son buenos por lo tanto la vulnerabilidad ambiental es baja (Apéndice 13).

Vulnerabilidad total

Obtenidos todos los factores de análisis de la vulnerabilidad, se realizó la estimación de la vulnerabilidad total (Apéndice 14), sumando los valores obtenidos en cada una de ellas para realizar la clasificación que es mostrada en la Tabla 8; dando como resultado el siguiente gráfico: Gráfico 5. Calificación de la vulnerabilidad total



NOTA: por Olga Llano y Juan Martínez

Riesgo

Teniendo en claro los resultados anteriores, se procedió a identificar el riesgo, para ello se necesita los resultados de vulnerabilidad física y de amenaza de inundación según la siguiente formula dada por (CIIFEN, 2017)

$$R = A \times V$$

Donde:

R: Riesgo

A: Amenaza

V: Vulnerabilidad

De esta manera la máxima calificación de riesgo es de 135 y la mínima de 15 teniendo en cuenta los periodos de retorno

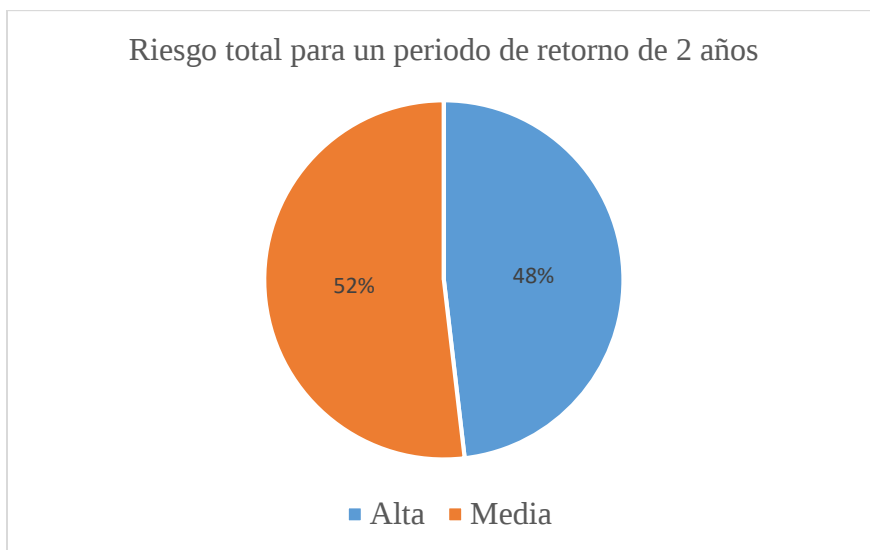
Tabla 11. Calificación del riesgo

Valor	Clasificación
96 – 135	Alta
56 – 95	Media
15 – 55	Baja

NOTA: por Olga Llano y Juan Martínez

Obtenido esta clasificación, se calcula el grado de Riesgo de inundación que presenta la zona de estudio y se representa en el Apéndice 15, Apéndice 16 y Apéndice 17:

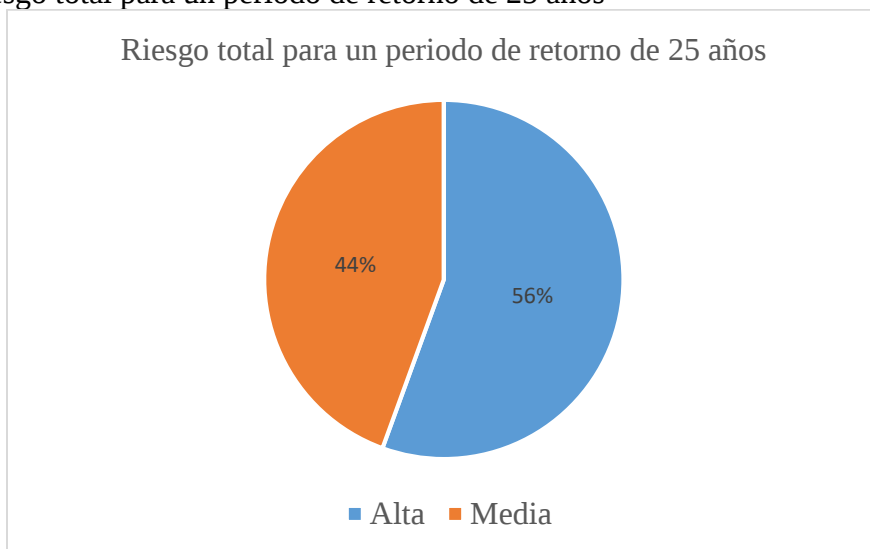
Gráfico 6. Riesgo total para un periodo de retorno de 2 años



NOTA: por Olga Llano y Juan Martínez

En el gráfico anterior el porcentaje de riesgo medio es del 52% lo cual hace necesario medidas para enfrentar este grado riesgo.

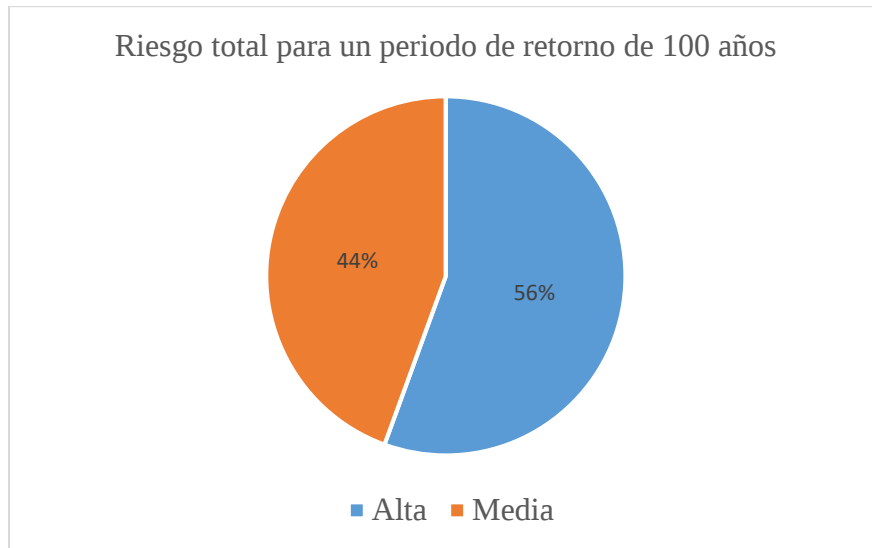
Gráfico 7. Riesgo total para un periodo de retorno de 25 años



NOTA: por Olga Llano y Juan Martínez

Según el gráfico anterior el porcentaje de riesgo alto es del 56% lo cual hace necesario medidas para enfrentar este grado riesgo.

Gráfico 8 .Riesgo total para un periodo de retorno de 100 años



NOTA: por Olga Llano y Juan Martínez

Según la tabla anterior el porcentaje de riesgo alto es del 56% lo cual hace necesario medidas para enfrentar este grado riesgo.

8.2 Fase 2. Planicies de inundación y dispositivos del SAT

Modelación y simulación hidráulica en HEC-RAS

Al importar el archivo generado en ArcGIS con la extensión Hec-GeoRAS, el cual es la geometría del terreno, secciones transversales, cauce, laderas del río. Fue necesario establecer un coeficiente de rugosidad (Manning) que según (Chow, Maidment, & Mays, 1994) para canales abiertos naturales se compone de diferentes factores como, vegetación, piedras en el canal, para este caso estudio el coeficiente de rugosidad tomado de la Figura 15 fue de 0.050.

Descripción de la corriente	Mínimo	Normal	Máximo
A Cauces naturales			
A.1 Cursos secundarios (ancho de la superficie libre en crecida < 30 m)			
A.1.1 Cursos en planicies			
- Limpios, rectos, sin fallas ni pozos	0,025	0,030	0,033
- Rectos con algunas piedras y pastos	0,030	0,035	0,040
- Limpios con meandros, con algunos pozos y bancos	0,033	0,040	0,045
- Meandros con algunas piedras y pastos	0,035	0,045	0,050
- Meandros con muchas piedras	0,045	0,050	0,060
- Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0,050	0,070	0,080
- Tramo con mucho pasto, pozos profundos y cauce en crecida con muchos arbustos y matorral	0,075	0,100	0,150
A.1.2 Cursos montañosos, carentes de vegetación en el fondo, laderas con pendientes pronunciadas y árboles y arbustos en las laderas que se sumergen en niveles de crecida			
- Cauce de grava, cantos rodados y algunas rocas	0,030	0,040	0,050
- Cauce de cantos rodados, con grandes rocas	0,040	0,050	0,070
A.2 Cursos en planicies inundadas			
A.2.1 Zonas de pastos, sin arbustos			
- Pasto corto	0,025	0,030	0,035
- Pasto alto	0,030	0,035	0,050
A.2.2 Zonas cultivadas			
- Sin cultivo	0,020	0,030	0,030
- Cultivos sembrados en línea en fase de madurez fisiológica	0,025	0,035	0,045
- Cultivos sembrados a voleo en fase de madurez fisiológica	0,030	0,040	0,050
A.2.3 Zonas arbustivas			
- Escasos arbustos y pasto abundante	0,035	0,050	0,070
- Pequeños árboles y arbustos sin follaje (parada invernal)	0,035	0,050	0,060
- Pequeños árboles y arbustos con follaje (fase vegetativa)	0,040	0,060	0,080
- Arbustos medianos a densos durante la parada invernal	0,045	0,070	0,110
- Arbustos medianos a densos durante la fase vegetativa	0,070	0,100	0,160
A.2.4 Zonas arbóreas			
- Sauces densos, temporada invernal	0,110	0,150	0,200
- Terreno claro con ramas sin brotes	0,030	0,040	0,050
- Terreno claro con ramas con gran crecimiento de brotes	0,050	0,060	0,080
- Zonas de explotación maderera con árboles caídos, poco crecimiento en las zonas bajas y nivel de inundación por debajo de las ramas	0,080	0,100	0,120
- Zonas de explotación maderera con árboles caídos, poco crecimiento en las zonas bajas y nivel de inundación que alcanza a las ramas	0,100	0,120	0,160
A.3 Cursos importantes (ancho de la superficie libre en crecida > 30 m)			
En este caso, los valores del coeficiente n son inferiores a los correspondientes de cauces secundarios análogos, ya que los bancos ofrecen una resistencia efectiva menor,			
- Sección regular sin rocas ni arbustos	0,025		0,060
- Sección irregular y rugosa	0,035		0,100

Figura 15. Coeficiente de rugosidad. Adaptado de (Chow, Maidment, & Mays, 1994) por Olga Llano y Juan Martínez.

La creación de perfiles que en este caso particular se crearon para cada periodo de retorno de 2, 25 y 100 años, donde fue digitalizado el caudal pico obtenido por el método racional (Tabla 19).

Steady Flow Data - CAUDALESULTIMO

File Options Help

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max): 3 Reach Boundary Conditions ... Apply Data

Locations of Flow Data Changes

River: guacavia_rio Add Multiple...

Reach: CRG River Sta.: 5942.616 Add A Flow Change Location

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates			
River	Reach	RS	TR 2	TR 25	TR 100	
1	guacavia_rio	CRG	5942.616	5564.319	8557.717	10838.44

Edit Steady flow data for the profiles (m3/s)

Figura 16. Perfiles para Tr 2, Tr 25, Tr100 por Olga Llano y Juan Martínez.

Tabla 12. Caudales de diseño

Periodo de retorno	Intensidad	Caudales pico M3/S
	60 min	
2	52.3303921	5564.31906
5	61.1751065	6504.78235
10	68.846069	7320.43996
25	80.4822099	8557.71715
50	90.5741581	9630.7995
75	97.0544525	10319.8527
100	101.931571	10838.4394

NOTA: por Olga Llano y Juan Martínez

Definido lo anterior, se dan condiciones de contorno como pendiente del cauce y elección del flujo supercrítico o subcrítico, en este caso de estudio particular por ser un canal natural se opta por escoger un tipo de flujo mixto.

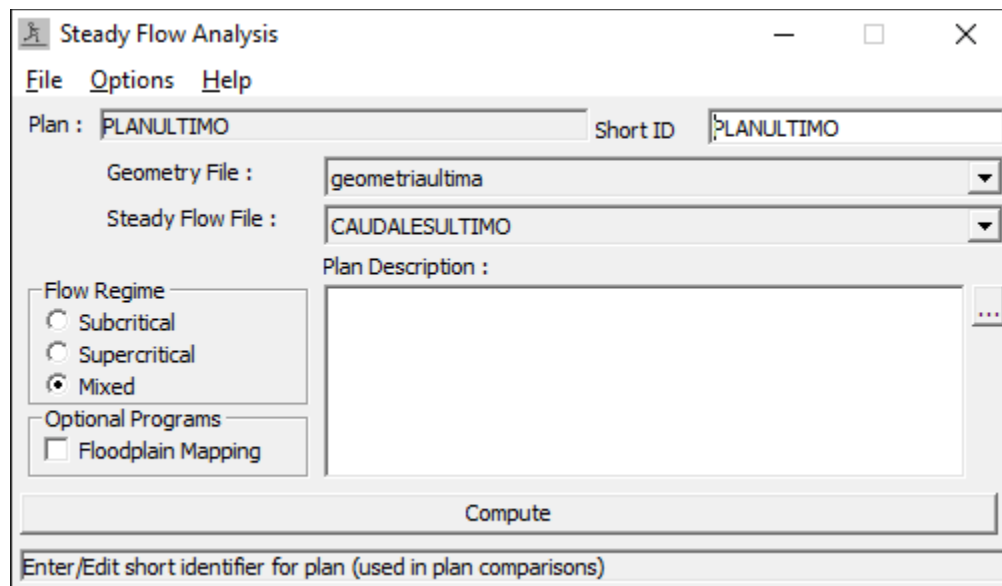


Figura 17. Tipo de flujo por Olga Llano y Juan Martínez.

Al exportar lo anterior a ArcGIS nos da como resultado el mapa de la mancha de inundación para los diferentes periodos de retorno (ver, Figura 18, 19, 20) mencionados anteriormente.

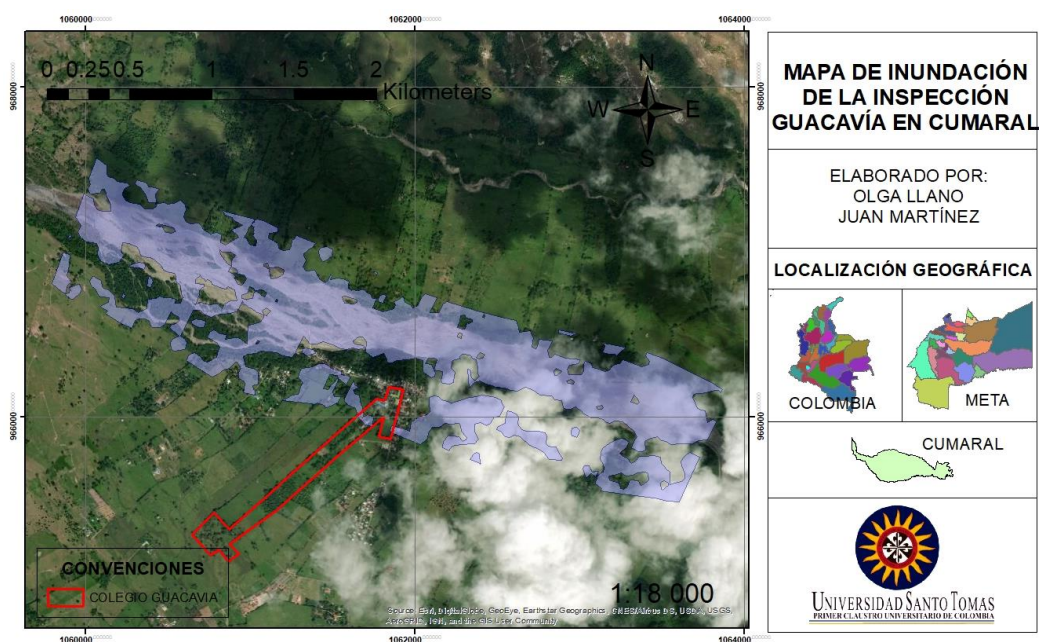


Figura 18. Mancha de inundación para TR2 años por Olga Llano y Juan Martínez.

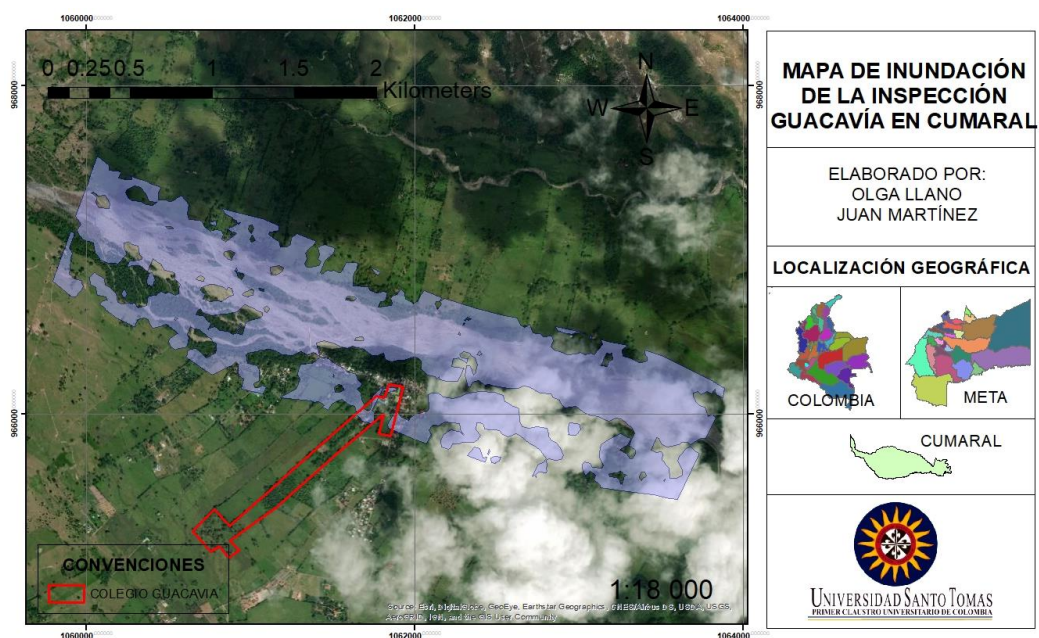


Figura 19. Mancha de inundación para TR25 años por Olga Llano y Juan Martínez.

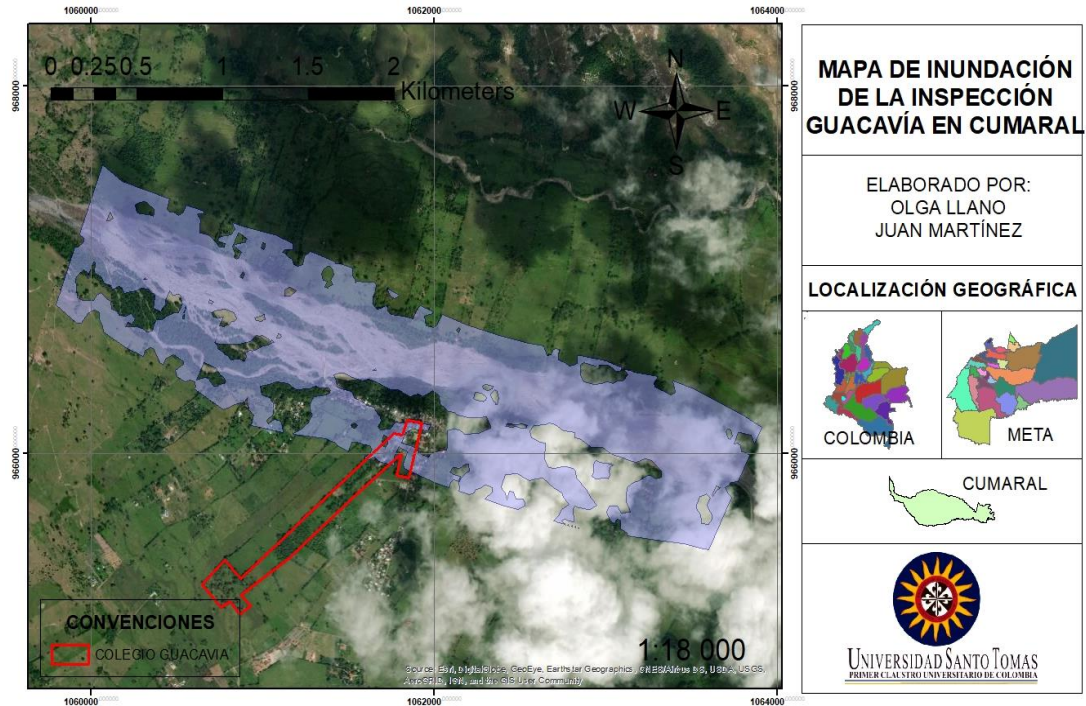


Figura 20. Mancha de inundación para TR100años por Olga Llano y Juan Martínez.

Módelo hidrológico en HEC-HMS

Las curvas IDF (intensidad, duración y frecuencia)

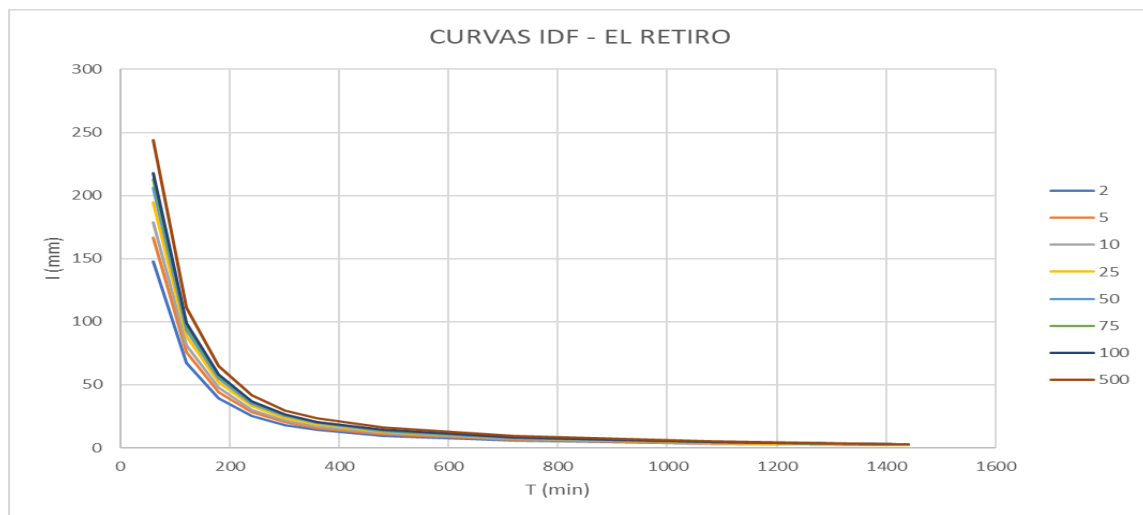


Figura 21. Curvas IDF, estación el retiro por Olga Llano y Juan Martínez.

Lo anterior generó una serie de hietogramas mediante el método de bloques alternos con unos tiempos de retorno de 2, 25 y 100 años como se pudo observar en la figura:

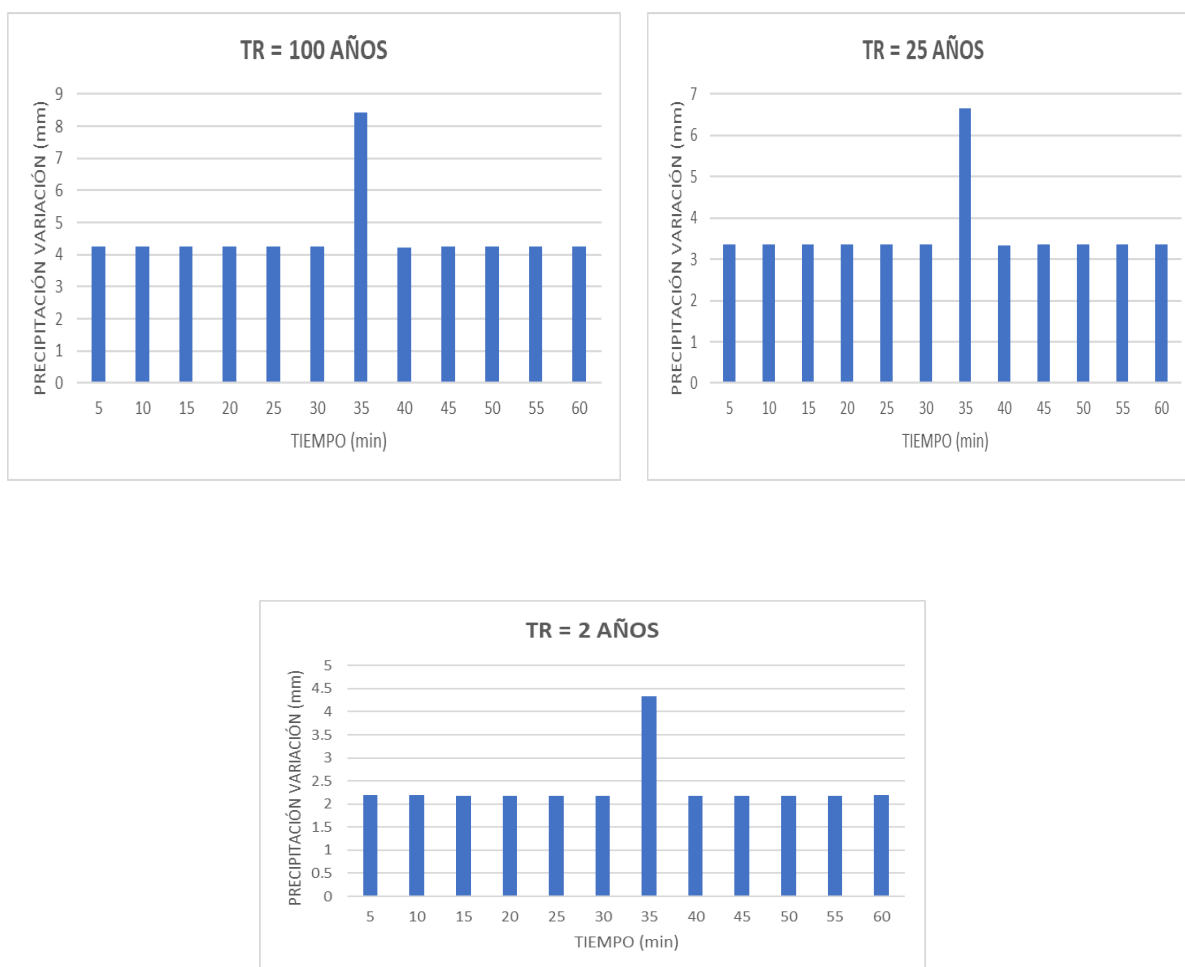


Figura 22. Hietogramas de diseño para TR de 2, 25 y 100 por Olga Llano y Juan Martínez.

Número de curva

Según (Chow, Maidment, & Mays, 1994) clasifica los suelos según su capacidad de infiltración.

Grupo hidrológico del suelo	Infiltración cuando están muy húmedos	Características	Textura
A	Rápida	Alta capacidad de Infiltración > 76 mm/h	Arenosa
B	Moderada	Capacidad de infiltración 76-38 mm/h	Arenosa-limosa Franca Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa
C	Lenta	Capacidad de infiltración 36-13 mm/h	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa
D	Muy Lenta	Capacidad de infiltración < 13 mm/h	Arcillosa

Figura 23. Clasificación del grupo hidrológico del suelo. Adaptado de (Chow, Maidment, & Mays, 1994) por Olga Llano y Juan Martínez.

Particularmente para este caso de estudio, el suelo tiene una capacidad de infiltración lenta por lo cual se clasifica en el grupo C, esto se puede ratificar ya que el tipo de suelo en esta región de los llanos orientales se encuentra clasificado como suelo franco-arcilloso.



Figura 24. Suelo de la zona de estudio por Olga Llano y Juan Martínez

$(\sum \text{Números de Curva de Elementos} \times \text{Área de Elementos}) / (\text{Área Total de la Cuenca})$

Teniendo en cuenta la ecuación anterior dada por (Chow, Maidment, & Mays, 1994) se logra lo obtener el número de curva la siguiente tabla:

Tabla 13. Número de curva de la cuenca de interés

Parámetro	NC	Área km2	Área en Ha	NC*Arreaba
Bosques	71	0.69	68.83	4886.85
Agua	100	1.04	104.47	10447.08
Residencial	81	0.03	3.03	245.78
Agricultura	85	0.91	90.98	7732.94
Sumatoria			267.31	23312.65
Numero de curva de la cuenca de estudio				87.21

NOTA: NC número de curva, por Olga Llano y Juan Martínez

El tiempo de concentración necesario para el modelo de HEC-HMS se utiliza la fórmula empleada por Temez:

$$t_c = 0,3 \cdot \left(\frac{L}{i^{0,25}} \right)^{0,76}$$

Donde:

L: longitud del cauce en Km.

i: la pendiente media de la cuenca.

tc: tiempo de concentración expresado en horas.

Tiempo de retardo utilizado

$$Tr = 0.6 * Tc$$

Obtenidos en la siguiente tabla:

Tabla 14. Tiempo de concentración y retardo

Morfometría		unidades	valor
Cuenca	Área	km	2.67309814
Rio	Longitud del rio	km	6.14046187
	Cota mayor	msnm	508
	Cota menor	msnm	420
	Pendiente del rio	m/m	0.01433117
	T concentración	horas	2.66968815
	T retardo	horas	1.60181289

NOTA: por Olga Llano y Juan Martínez



Figura 25. Caudal de diseño para TR100 años por Olga Llano y Juan Martínez.

Cabe destacar el caudal pico generado por HEC-HMS es de 14902,8 m³/s como se observa en la Figura 25.

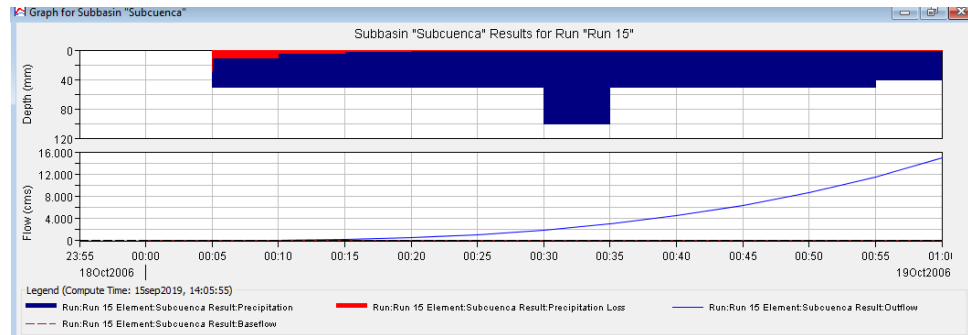


Figura 26. Hidrograma de crecida TR100 años por Olga Llano y Juan Martínez.

En la figura anterior en rojo es el nivel de pérdida del agua por infiltración, debido a nuestra clasificación de suelo, la zona de los llanos orientales, su suelo es franco arcilloso permitiendo muy levemente algún tipo de infiltración, el volumen de precipitación es bastante alto (Figura 26) por lo tanto la mayoría de agua/lluvia que cae en la inspección y colegio se transforma a escorrentía del río, las pérdidas al ser menores, generan inundaciones bastante rápidas (Monsalve Saenz, 1995). Tal cual como ha sucedido en los últimos desbordamientos del río Guacavía

Alarmas y dispositivos

A raíz de los mapas de inundación mencionados anteriormente y teniendo el grado de riesgo que se encuentra la población objeto de estudio, se definen los instrumentos para diseñar el SAT del colegio agrícola de Guacavía los cuales son:

Regla limnimétrica semáforo: La ubicación de ésta debe ser en una fracción del cauce que permita las lecturas de los niveles del río Guacavía, de tal forma registrar los niveles de mayor altura. Para localizar este sistema es necesario tener en cuenta una sección del río que sea lo más recta posible con paredes no erosionables, de estructura dura, y finalmente que se encuentre dividida en una escala métrica para que la persona encargada pueda realizar la lectura correctamente y si es el caso dar aviso a las autoridades. Esta escala se utiliza cuando existen estructuras fijas, se aprovechan los pilares de los puentes. En este caso particular, debido a la cercanía de viviendas al río, se ubicará en el sitio ideal para la lectura, el cual será la barrera de contención que se encuentra al inicio del puente sobre el río Guacavía.

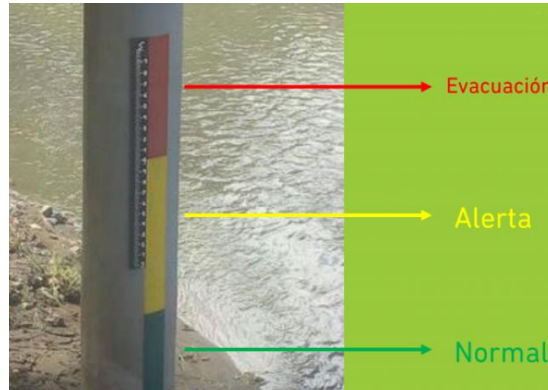


Figura 27. Regla limnimétrica semáforo adaptado de (Provincia de Buenos Aires, 2017) por Olga Llano y Juan Martínez.

Pluviómetro: Debido a las condiciones de llanura de la zona, lo ideal es instalar 2 pluviómetros, la lectura es directa, será el volumen de lluvia recolectado; para su localización se tienen en cuenta factores de importancia como los obstáculos que puedan interferir (casas, árboles, entre otros), la distancia a la que se encontrará para su fácil acceso a la población y su posterior lectura, su posición debe encontrar en una zona con una alta probabilidad de lluvia. Por tal motivo se pretende instalar en la institución en la zona de los dormitorios del internado y en la entrada del puente sobre el río Guacavía tal como se ve en la Figura 29



Figura 28. Pluviómetro por Olga Llano y Juan Martínez

Sirena/Timbre: Este instrumento se utilizará cuando se active el SAT en la institución, ante un inminente riesgo por inundación y será ubicado en la portería del colegio. Teniendo en cuenta la población aledaña al río y la infraestructura de la zona, así se planteó colocar la sirena en la institución, será ubicado en la portería del colegio.

Los anteriores dispositivos mencionados anteriormente se ubicarán dentro y fuera de la institución educativa (Figura 29).



Figura 29. Mapa de alarmas de la Institución Agrícola de Guacavía por Olga Llano y Juan Martínez.

8.3 Fase 3. Diseño y estrategias de implementación del SAT

La institución Agrícola de Guacavía cuenta con un proyecto de prevención de riesgos muy general, como base, se realizó el mejoramiento de dicho proyecto para esta fase, al solicitar información sobre planes y rutas de evacuación ante un posible evento de inundación, no se encontró nada relacionado, a raíz de esto, se diseñó la ruta de evacuación ante un inminente evento de inundación (Apéndice 19), siendo el punto de encuentro, la estructura del segundo piso de la Institución Agrícola de Guacavía.

Estos documentos fueron socializados con el coordinador del instituto y los representantes del comité de seguridad escolar, participando de forma activa. Esto se realizó para que los participantes conozcan el proyecto y puedan actuar con el tiempo suficiente ante una inundación y así reducir el impacto negativo ante la comunidad aledaña al cauce. En la tabla de actividades (Apéndice 20) se muestran las actividades realizadas durante la socialización.



Figura 30. Discusión de la estrategia de implantación por Olga Llano y Juan Martínez.

Al generar la ruta de evacuación, se establece la estrategia de educación con el equipo de docentes de gestión de riesgo de la institución, el comité de seguridad escolar se puede observar en el apéndice 21.

Operación del SAT por inundación en la Institución

El funcionario de la institución tendrá el cargo operativo será el puesto de Vigilante de la institución; el cual estará visitando los instrumentos de alerta, como los pluviómetros y regla limnimétrica semáforo, tendrá una bitácora donde describirá lo que observó en cada instrumento, este registro se realizará cada 2 horas para un total de 12 registros al día. Los vigilantes serán los encargados de activar la sirena/timbre de la Institución, en caso de emergencia el cual no pueda activarlo por distancia, este deberá comunicar al director general, subdirector del comité de seguridad escolar y/o representante a cargo del internado para la activación del protocolo de evacuación. Teniendo en cuenta la regla limnimétrica semáforo y la ruta de evacuación.

Regla limnimétrica semáforo: Cuando la lámina de agua del río Guacavía toque el color amarillo de la regla limnimétrica se debe dar aviso de alerta a la institución y activar el protocolo:

- Un timbre: Comunidad alerta esperando instrucciones

Lámina de agua toca el color amarillo, Si baja el nivel de la lámina de agua se vuelve a las actividades normales y si aumenta el nivel de la lámina de agua seguir según el protocolo:

- Dos timbres continuos: Comunidad puede volver a labores habituales

Si de lo contrario el nivel del agua sube y tiende a tocar el color rojo “Alerta roja” de la regla limnimétrica, sigue el protocolo:

- Tres timbres continuos: Comunidad debe dirigirse al punto de encuentro

En caso de rebasar las laderas del río, dirigirse al punto de encuentro o buscar un resguardo inmediato ya que esta emergencia no da espera:

- Cuatro timbres continuos: Comunidad debe buscar resguardo inmediato. (ver figura 25)

Con el propósito de disminuir al máximo la improvisación, evitar la duplicidad de acciones y olvidar actividades importantes que deben ser realizadas en el momento de la respuesta “Alerta Roja”.

Coordinadores generales del SAT

Director General del Comité de Seguridad Escolar: Raúl Rubiano Mora. Cargo: Rector de la Institución

Sub Director General del Comité de Seguridad Escolar: Henry Ariel Garzón. Cargo: Coordinador de la Institución

Monitoreo y vigilancia del SAT

Edilma Ortiz. Cargo: Vigilante

Raúl Santana Cruz. Cargo: Vigilante

Evacuación del SAT

Lic Miguel Aguilera. Cargo: Profesor

Acciones a realizar antes de las inundaciones

- Tener en cuenta como factor de riesgo las condiciones climáticas
- Evitar arrojar basuras y escombros a la calle, al alcantarillado o a ríos, fuentes, entre otros cuerpos de agua.
- Sacar la basura en los horarios establecidos para la recolección en la zona.
- Estar atento a cambios en los niveles de los ríos y canales
- Realizar mantenimiento, por lo menos cada tres meses, a los canales y bajantes de aguas lluvias
- Conocer el Plan de Contingencia del plantel y el Sistema de Alerta Temprana
- Estar atento a las noticias emitidas por los medios de comunicación para informarse de posibles alertas de inundación y evacuación.
- Proteger los equipos electrónicos con plásticos, lonas o forros impermeables para evitar daño por humedad, de igual manera deben estar instalados sobre bases apropiadas o suspendidos fuera del alcance del agua.

- Establecer un punto de encuentro para todos los miembros de la comunidad educativa

Acciones a realizar durante la inundación

- Conservar la calma. No espere al último momento para evacuar su salón de clases y retirarse a un lugar seguro (zonas altas) o ya identificadas como puntos de encuentro.
- Evite atravesar ríos o zonas inundadas a pie, en animales o vehículos, a menos que tenga apoyo de personal especializado.

Acciones a realizar después de la inundación

- Alejarse de los cables de alta tensión y cables eléctricos que se hayan colapsado.
- Evitar caminar o conducir en vías inundadas.
- Poner en marcha el plan que indica el SAT o alguna autoridad competente.
- Permanecer en las partes altas del colegio en caso de no poder salir durante la inundación, evitando tocar el agua porque puede estar en contacto con corriente eléctrica o con agentes contaminantes.
- Si se presenta una emergencia adicional o si hay personas heridas o atrapadas debe llamar e informar la situación a la línea de atención de emergencias de la alcaldía.
- Permanecer en el punto de encuentro y esperar mientras baja el nivel del agua,
- Siguiendo las recomendaciones de las autoridades y grupos de socorro.

Mecanismos o sistemas de alerta y alarma

Alerta: Es un estado declarado con el fin de tomar precauciones específicas ante la probable y cercana ocurrencia de un evento adverso.

Alarma: Aviso o señal que se da para que se sigan instrucciones específicas debido a la presencia real o inminente de un evento destructivo o adverso.

Donde intervendrán la activación del sistema de la siguiente manera:

Un timbre continuo: Comunidad alerta esperando instrucciones

Dos timbres continuos: Comunidad puede volver a labores habituales

Tres timbres continuos: Comunidad debe dirigirse al punto de encuentro

Cuatro timbres continuos: Comunidad debe buscar resguardo inmediato.

Por último, dado la solución a todos los temas de la investigación, se socializó con la cabeza del comité de seguridad escolar (Figura 31),

Como máximas autoridad de la Institución el director y el subdirector, se le informa del diseño y estrategia de implementación del SAT de su Institución y se pone al tanto del contenido de este trabajo; recolección de información, antecedentes de SAT a niveles global y nacional, datos meteorológicos, modelación y simulación del río en sus diferentes periodos y exposición a la vulnerabilidad, amenaza y riesgo que se encuentra la institución y toda la inspección del Guacavía, estrategia de implementación a un futuro trabajo sobre esta investigación. Inyectando fuerza a las Brigadas o Unidades para la Atención de Emergencias entre las cuales tenemos a las brigadas de Primeros Auxilios y Rescate, brigada de Evacuación, brigada de Prevención y Control de incendios y brigada de Seguridad y Vigilancia.

Las cuales son grupos de apoyo, son equipos especializados en tareas de preparación y respuesta o son creados para encargarse de algunas actividades del plan para responder a otros componentes de la gestión del riesgo. Estarán constituidas por miembros del personal del centro educativo y estudiantes, muy bien seleccionados de los grados superiores.

Se acordó como medida de implementación del SAT la capacitación de brigadas y estudiantes por parte del Comité de Seguridad Escolar, no solo en las fechas dadas por los organismos de control nacional sino, cuando lo vean necesario a raíz de la temporada de lluvias que se ha vivido este año 2019.

Así se entregó copia de la investigación, con su respectivo plano de evacuación y plano de la mancha de inundación que afecta al colegio, cotización de costos de instalación de equipos en caso de que no se realicen de manera casero-artesanal de parte de la comunidad afectada, dando así visto bueno y comprometiendo de lleno a todo el cuerpo del plantel educativo como se puede observar en el Apéndice 23 y Apéndice 24.



Figura 31. Socialización al comité de seguridad escolar por Olga Llano y Juan Martínez.

9. Conclusiones

Se desarrolló una metodología con análisis de riesgo para identificar la vulnerabilidad, la amenaza y riesgo existente frente a una inundación; en donde se abstraen los componentes físicos, ambientales, sociales y económicos. En base se puede evidenciar que la población se encuentra en una alta vulnerabilidad física, social y económica; estas condiciones se deben principalmente a que la mayoría de las familias tienen escasos ingresos fijos. Lo cual también provoca una carencia en la educación pertinente para el riesgo al que se encuentran expuestos.

Los mapas de riesgos generados a través de los softwares ArcGIS, con ayuda de HecGeoHMS y Hec-GeoRAS y HEC-RAS suministran una base para el sistema de alerta temprana, puesto que la simulación de una inundación generada a través de estos softwares permite proyectar un estimado de los recursos que se necesitan para afrontar la amenaza presente, de igual forma, el papel para las acciones y funciones dentro del SAT para capacitar a la comunidad.

Se utilizó los resultados obtenidos por el método Gumbel y Racional, ya que debido al área de la cuenca de estudio no es superior a los 3 km² se hace ideal para este método dejando a un lado el obtenido por el método de bloques alternos arrojado por el Software HEC-HMS, sin embargo, el resultado de caudal arrojado por HEC-HMS dio superior al del método racional, lo cual significa que ante un evento de inundación mayor será su mancha de inundación.

La Institución Agrícola de Guacavía cuenta con la modalidad de internado para estudiantes lo que amerita total atención durante las 24 horas del día, ante lluvias torrenciales, crecidas porque según los resultados arrojados, la mancha de inundación del río Guacavía cubre gran parte del plantel educativo y debido a la capacidad de infiltración del suelo que es lenta, aumente la velocidad de crecida del río.

Se espera que el sistema diseñado funcione correctamente al momento de que la población de la institución se encuentre en riesgo de inundación. Siendo la comunicación uno de los roles más importantes para que exista una coordinación eficaz; junto con los modelos de inundación diseñados, que son instrumentos eficientes para la toma de decisiones.

10. Recomendaciones

Se sugiere que se realice una educación sobre riesgos de inundación y la importancia de un SAT por inundaciones a la población para mejorar la eficiencia del sistema, de igual forma asegurar que la comunidad mantenga confianza en las autoridades que manejan las emergencias.

Dar a conocer esta investigación ante los entes correspondientes para así buscar un tipo de financiación para la compra de equipos de última tecnología para así mejorar la fase de implementación y mejorar redes de comunicación.

El modelo debe ser utilizado inicialmente para estudiar la inundación en todo el Inspección de Guacavía. Con el fin de extender el diseño de forma macro y cubrir toda la población afectada por el riesgo de inundación.

Se recomienda seguir generando estudios de tipo hidráulicos, hidrológico y meteorológicos no solo en la Institución si no el la Inspección de Guacavía, con apoyo de las entidades gubernamentales, el cual tiene capacidad de invertir en capital y recursos para que se lleven planes de gestión del riesgo, gestión social para trabajar de la mano con comunidades, generando mayor participación y conocimiento para la tomar medidas de adaptación ante el riesgo de inundación.

11. Referencias bibliográficas

- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2012). *Manual de Sistema de Alertas Tempranas*. Panamá.
- Acosta Coll, M. (2013). *Sistemas de Alerta Temprana (S.A.T) para la Reducción del Riesgo de Inundaciones Súbitas y Fenómenos Atmosféricos en el área metropolitana de Barranquilla*. Barranquilla.
- Alcaldía Municipal de Villavicencio. (2017). *Procedimiento para adelantar acciones de conocimiento del riesgo*. Villavicencio.
- Alcaldía Municipal de Cumaral - Meta. (2000-2010). *Esquema de Ordenamiento Territorial Cumaral Meta 2000 - 2010*. Cumaral. Recuperado el 18 de 08 de 2018, de [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/documento%20tecnico%20-%20cumaral%20\(110%20pag%20-%20310%20kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/documento%20tecnico%20-%20cumaral%20(110%20pag%20-%20310%20kb).pdf)
- Aparicio Mijares, F. (1997). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Limusa.
- Apolo, D. D. (2015). *Sistemas de Alerta Temprana para inundaciones (SAT): Experiencias en América Latina*.
- Buritaca Mejía, N. (Enero de 2016). *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*. Obtenido de <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9662/16-203PS-Sabanas%20Inundables%20Orinoquia-resumen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chirino Betancourt, Y., & Clemente Méndez, R. (2014). *Sistemas de Alerta Temprana Escolar en caso de inundaciones en la parroquia Panaquire, estado Miranda. Una propuesta educativa ambiental en gestión de riesgo*. Caracas.
- Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*. McGRAW-HILL.
- CIIFEN. (Enero de 2017). *Centro Internacional para la Investigación del fenómeno de El Niño*. Obtenido de http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=84&Itemid=336&lang=es
- Congreso de la Republica de Colombia. (14 de Abril de 2012). 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 y se dictan otras disposiciones*. Bogotá, Colombia.
- Domínguez Calle, E. A., Angarita, H., & Rivera, H. (2010). Viabilidad para pronósticos hidrológicos de niveles diarios, semanales y decadales en Colombia. *Ingeniería e investigación*, 30(2).

- Dominguez, E., & Lozano, S. (2014). *Estado del arte de los sistemas de alerta temprana en Colombia*. Bogotá.
- Duque, G. (2018). *El siniestro de Mocoa, designio de la imprevisión*. Recuperado el 11 de Septiembre de 2018, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/56405/1/elsiniestrodemocoadesigniodelaimprevision.pdf>
- EFAS. (2012). *European Flood Awareness System*. Recuperado el 10 de Octubre de 2018, de <http://new-efas-test.ecmwf.int/european-flood-awareness-system-efas>
- EIRD. (Enero de 2005). *Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres*. Obtenido de Marco de acción de Hyogo para 2005-2015: <https://www.eird.org/cdmah/contenido/hyogo-framework-spanish.pdf>
- EIRD. (2015). *Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres*. Recuperado el 07 de Septiembre de 2018, de <http://www.eird.org/>
- Euscátegui, C., & Hurtado, G. (2014). *IDEAM*. Recuperado el 21 de 10 de 2018, de IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418818/An%C3%A1lisis+Impacto+La+N%C3%B1a.pdf/640a4a18-4a2a-4a25-b7d5-b3768e0a768a>
- Fernández Lopera, C. C., & Sabas Ramírez, C. A. (2012). *Sistema de Alerta Temprana Centrado en la población para la Cuenca Media del Río Otún*. Pereira.
- GFAS. (2006). *Global Flood Alert System*. Recuperado el 10 de Octubre de 2018, de <http://gfas.internationalfloodnetwork.org/gfas-web/>
- Hermelin, M. (2005). *Desastres de origen natural en Colombia 1979-2004*. EAFIT.
- Hernández Vargas, R. A. (Julio de 2012). *gestiondelriesgo*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2018, de http://www.gestiondelriesgo.gov.co/snigrd/archivos/FormulariosPMGRD2012/Guia_PMGRD_2012_v1.pdf
- IDEAM. (2012). *CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE CIUDADES PRINCIPALES Y MUNICIPIOS TURÍSTICOS*. Bogotá. Recuperado el 06 de 10 de 2018, de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd>
- IDEAM. (2016). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Recuperado el 05 de Septiembre de 2018, de <http://www.ideam.gov.co/>
- IDEAM. (2017). *Guia metodológica para la elaboración de mapas de inundación*. Bogotá.
- Jimenez Hernández, S. (2008). *Sistema de alerta temprana contra eventos meteorologicos extremos*. México D.F.
- Llano 7 días. (2013). Poco a poco regresa la normalidad a Guacavía tras inundaciones. Cumaral: El Tiempo.

- Ministerio de Agricultura. (27 de Junio de 1977). *Minambiente*. Recuperado el 20 de Agosto de 2018, de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/35-dec_1449_1977.pdf
- Ministerio de Educación Nacional. (1994). Por la cual se regulan las actuaciones del sistema educativo nacional en la prevención de emergencias y desastres. Bogotá.
- Ministerio de Educación Pública de Costa Rica. (2013). *Conceptos y herramientas Sistema de Alerta Temprana y Gestión del Riesgo para la comunidad educativa*. San José de Costa Rica.
- Monsalve Saenz, G. (1995). *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá.
- Mora Estrada, D., & Rosas Sánchez, J. C. (2016). *Propuesta de Diseño de un Sistema de Alerta Temprana por Inundación en la Subcuenca del Río Tejalpa (SIATI-ScRT)*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO, México D.F. Recuperado el 21 de 10 de 2018, de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/63871/MORA-DIANA-ROSAS-JUAN-LGI-2016.pdf?sequence=1>
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2015). *Parques Nacionales Naturales de Colombia*. Recuperado el 06 de Octubre de 2018, de <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/parques-nacionales/parque-nacional-natural-sumapaz/>
- Parry, M., Canziani, O., Palutikof, J., Van der Linden, P., & Hanson, C. (2007). *Climate change 2007-impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC* (Vol. 4). Cambridge, UK: Cambridge University Press. Obtenido de The Intergovernmental Panel on Climate Change: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf
- Provincia de Buenos Aires. (Febrero de 2017). *Riesgos y emergencias*. Obtenido de https://www.gba.gob.ar/riesgoyemergencias/historial_de_noticias/comenz%C3%B3_la_colocaci%C3%B3n_de_las_reglas_limn%C3%A9micas_en_la
- Romo, S. P. (2015). *Estimación del riesgo por inundación en la ribera del Río Mulato (Mocoa-Colombia)*. Mocoa.
- SATCA. (2007). *Sistema de Alerta Temprana para Centroamérica*. Recuperado el 11 de Octubre de 2018
- Secretaría de Educación del Meta. (06 de Octubre de 2016). *Secretaría de Educación del Meta*. Recuperado el 06 de 10 de 2018, de <http://www.sedmeta.gov.co/sites/default/files/Diagnostico%20SED%20META%2006-OCT.pdf>
- UNGRD. (2012). *Guía metodológica para la elaboración de planes departamentales para la gestión del riesgo*. Bogotá.

UNGRD. (07 de Julio de 2018). *Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2018, de gestiondelriesgo: <http://www.gestiondelriesgo.gov.co/snigrd/alertas.aspx?id=187585>

Unidad Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres. (2014). *Guía metodológica para la implementación de un sistema de monitoreo comunitario y alerta por inundaciones*. Bogotá.

Universidad Catolica del Oriente. (2014). *Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa e inundaciones zona urbana de Guarne*. Guarne.

US Army Corps of Engineers. (2000). *Technical Reference Manual*. Davis.

Zurich Insurance Group. (2017). *21 experiencias de sistemas de alerta temprana en America Latina*.

12. Apéndices

Apéndice 1. Tabla de vulnerabilidad Física

Variable	Valor de la vulnerabilidad		
	Baja 1	Media 2	Alta 3
Antigüedad de la edificación	Menos de 5 años	Entre 6 y 20 años	Mayor de 20 años
Materiales de construcción y estado de conservación	Estructura con materiales de muy buena calidad, adecuada técnica constructiva y buen estado de conservación	Estructura de madera, concreto, adobe, bloque o acero, sin adecuada técnica constructiva y con un estado de deterioro moderado	Estructuras de adobe, madera u otros materiales, en estado precario de conservación
Cumplimiento de la normatividad vigente	Se cumple de forma estricta con las leyes	Se cumple medianamente con la leyes	No se cumple con las leyes
Características geológicas y tipo de suelo	Zonas que no presentan problemas de estabilidad, con buena cobertura vegetal	Zonas con indicios de inestabilidad y con poca cobertura vegetal	Zonas con problemas de estabilidad evidentes, llenos antrópicos y sin cobertura vegetal
Localización de las edificaciones con respecto a zonas de retiro a fuentes de agua y zonas de riesgo identificadas	Muy alejada	Medianamente cerca	Muy cercana

Apéndice 2. Tabla de vulnerabilidad económica

Variable	Valor de la vulnerabilidad		
	Baja 1	Media 2	Alta 3
Situación de pobreza y seguridad alimentaria	Población sin pobreza y con seguridad alimentaria	Población por debajo de la línea de pobreza	Población en situación pobreza extrema
Nivel de ingresos	Alto nivel de ingresos	El nivel de ingresos cubre las necesidades básicas	Ingresos inferiores para suplir las necesidades básicas
Acceso a los servicios públicos	Total, de cobertura de servicios públicos básicos	Regular cobertura de los servicios públicos básicos	Muy escasa cobertura de los servicios
Acceso al mercado laboral	La oferta laboral es mayor que la demanda	La oferta laboral es igual a la demanda	La oferta laboral es mucho menor que la demanda

Apéndice 3. Tabla de vulnerabilidad ambiental

Variable	Valor de la vulnerabilidad		
	Baja 1	Media 2	Alta 3
Condiciones atmosféricas	Niveles de temperatura y/o precipitación promedio normales.	Niveles de temperatura y/o precipitación ligeramente superiores al promedio normal.	Niveles de temperatura y/o precipitación muy superiores al promedio normal.
Composición y calidad del aire	Sin ningún grado de contaminación.	Con un nivel moderado de contaminación.	Alto grado de contaminación, niveles perjudiciales para la salud.
Composición y calidad del agua	Sin ningún grado de contaminación.	Con un nivel moderado de contaminación.	Alto grado de contaminación, niveles perjudiciales para la salud.
Condiciones de los recursos ambientales	Nivel moderado de explotación de los recursos naturales, nivel de contaminación leve, no se practica la deforestación.	Alto nivel de explotación de los recursos naturales, niveles moderados de deforestación y de contaminación.	Explotación indiscriminada de los recursos naturales incremento acelerado de la deforestación y de la contaminación.

Apéndice 4. Tabla de Vulnerabilidad social

Variable	Valor de la vulnerabilidad		
	Baja 1	Media 2	Alta 3
Nivel de Organización	Población organizada.	Población medianamente organizada.	Población sin ningún tipo de organización.
Participación	Participación total de la población.	Escaza participación de la población.	Nula participación de la población.
Grado de relación entre las organizaciones comunitarias y las instituciones	Fuerte relación entre las organizaciones comunitarias y las instituciones.	Relaciones débiles entre las organizaciones comunitarias y las instituciones.	No existen relaciones entre las organizaciones comunitarias y las instituciones
Conocimiento comunitario del riesgo	La población tiene total conocimiento de los riesgos presentes en el territorio y asume su compromiso frente al tema.	La población tiene poco conocimiento de los riesgos presentes y no tiene un compromiso directo frente al tema.	Sin ningún tipo de interés por el tema.

Apéndice 5. Clasificación de la vulnerabilidad

Calificación	Descripción/características	Intervalo
VB (Vulnerabilidad Baja)	Viviendas asentadas en terrenos seguros, con materiales sismorresistentes, en buen estado de conservación, población con un nivel de ingreso medio y alto, con estudios y cultura de prevención, con cobertura de servicios públicos básicos, con un buen nivel de organización, participación y articulación entre las instituciones y organizaciones existentes.	9-19
VM (Vulnerabilidad Media)	Sectores que presentan inundaciones muy esporádicas, construcciones con materiales de buena calidad, en regular y buen estado de conservación, población con un nivel de ingreso económico medio, cultura de prevención, con cobertura parcial de servicios básicos, con facilidades de acceso para atención de emergencia. Población organizada, con participación de la mayoría, medianamente relacionados e integración parcial entre las instituciones y organizaciones existentes.	20-30
VA (Vulnerabilidad Alta)	Edificaciones en materiales precarios, en mal y regular estado de construcción, con procesos de hacinamiento y tugurización. Población de escasos recursos económicos, sin conocimientos y cultura de prevención, cobertura parcial a inexistente de servicios públicos básicos, accesibilidad limitada para atención de emergencias; así como escasa a nula organización, participación y relación entre las instituciones y organizaciones existentes.	31-41

Apéndice 6. Marco normativo

Normatividad	Descripción
Ley 1523 del 2012	Por el cual se adopta la política nacional de Gestión del Riesgo y se establece el Sistema Nacional del Gestión del Riesgo de Desastres.
Decreto 4674 de 2010	Por el cual se dictan normas sobre evacuación de personas y se adoptan otras medidas.
Decreto 1974 de 2013	Por el cual se establece el procedimiento para la expedición y actualización del Plan Nacional de Gestión del Riesgo
Decreto 2157 de 2017	Por medio del cual se adoptan directrices generales para la elaboración del Plan de Gestión del Riesgo de desastres de las entidades públicas y privadas en el marco del artículo 42 de la ley 1523 de 2012.
Resolución 7550 de 1994	Por la cual se regulan las actuaciones del sistema educativo nacional en la prevención de emergencias y desastres.

Apéndice 7. Estaciones seleccionadas

Código	Categoría	Nombre estación	Departamento	Municipio	Años de registro
35040010	PM	El Retiro	Cundinamarca	Medina	51
35030090	PG	Buenavista	Meta	Restrepo	26
35045020	CO	Cabaña la hda	Meta	Cumaral	40

NOTA: PM pluviométrica, PG pluviográfica, CO climática ordinaria. Adaptado de (IDEAM, 2016) por Olga Llano y Juan Martínez.

Apéndice 8. Encuesta aplicada a la comunidad

ENCUESTA

Profesión o Cargo:

1. ¿Cuál es su género?
☐ Femenino
☐ Masculino
2. ¿Qué edad tiene?
☐ De 18 a 25 años
☐ De 26 a 35 años
☐ De 36 a 45 años
3. ¿Cuál es el nivel escolar máximo alcanzado?
☐ Primaria
☐ Secundaria
☐ Técnico/tecnólogo
☐ Profesional
4. ¿Cuántas familias hay en la vivienda?
☐ 1
☐ 2
☐ 3
☐ 4
☐ Más de 4

5. ¿Cuántas personas conforman el hogar?
☐ 2
☐ 3
☐ 4
☐ Otro
6. ¿Cuántos menores hay en el hogar?
☐ No hay
☐ Entre 1 y 2
☐ Entre 3 y 4
☐ Entre 4 y 5
☐ Más de 5
7. ¿En el hogar cuentan con servicio de salud?
☐ Si
☐ No
8. ¿Qué tipo de servicio de salud tiene?
☐ EPS
☐ SISBEN

9. ¿Cuál es el ingreso mensual de la familia? (Salarios mínimos mensuales)
☐ Entre 1 y 2
☐ Entre 2 y 4
☐ Entre 5 y 6
☐ Entre 6 y 8
10. ¿Es propietario de la vivienda?
☐ Si
☐ No
11. ¿Con que servicios cuenta la vivienda?
☐ Acueducto y alcantarillado
☐ Luz
☐ Gas
☐ Teléfono
☐ Internet
☐ Otro
12. ¿Cuántos años tiene la vivienda de construida?
☐ Entre 1 y 10 años
☐ Entre 10 y 20 años

13. ¿Cuál es el material y estado de las paredes?
☐ Bloque
☐ Obra gris
☐ Obra blanca
☐ Acabados
14. ¿Cuál es el material y estado de los techos?
☐ Zinc
☐ Obra gris
☐ Obra blanca
15. ¿Cuál es el material y estado de los pisos?
☐ Obra gris
☐ Enchape
☐ Madera
16. ¿Ha sufrido algún daño en los últimos 6 años por inundación?
☐ Si
☐ No

17. ¿Qué daño sufrió la familia?
☐ Muebles
☐ Electrodomésticos
☐ Pintura
☐ Pisos
☐ Alimentos
18. ¿Qué tipos de pérdidas causaron estos eventos?
☐ Materiales
☐ Económicas
☐ Ambientales
19. ¿De cuánto fue el monto de dinero en las pérdidas?
☐ Entre \$500.000 y 1'000.000
☐ Entre 1'000.000 y 2'000.000
☐ Entre 2'000.000 y 3'000.000
☐ Mayor a 3'000.0000
20. ¿Ha recibido una capacitación para prepararse ante un próximo evento?
☐ Si
☐ No

21. ¿Qué tipo de capacitación recibió?
☐ Conferencias
☐ Simulacros
22. ¿Ha realizado alguna actividad en comunidad para identificar los riesgos cercanos a su vivienda?
☐ Si
☐ No
23. ¿Qué tipo de actividades realizó?
☐ Reconocimiento del sector
☐ Charlas
24. ¿Ha acordado algún punto de encuentro en caso de emergencia?
☐ Si
☐ No
25. ¿A qué vulnerabilidad considera que se encuentra expuesto?
☐ Alta
☐ Media
☐ Baja



26. ¿Conoce la diferencia entre riesgo y vulnerabilidad?

☐ Si

☐ No

27. ¿Conoce los números de emergencia?

☐ Si

☐ No

28. ¿Sabe a qué entidad dirigirse para buscar ayuda en caso de emergencia?

☐ Si

☐ No

29. ¿Cuenta con un kit de equipo de emergencia?

☐ Si

☐ No

30. ¿El sector en el que vive cuenta con un sistema de alarma contra emergencias?

☐ Si

☐ No

31. ¿Existen organismos de socorro cercanos a su vivienda?

☐ Si

☐ No

32. ¿Conoce el plan de gestión de riesgo?

☐ Si

☐ No

Apéndice 9. Datos de precipitación del IDEAM

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA
Y ESTUDIOS AMBIENTALES

SISTEMA DE INFORMACION

PRECIPITACION (mms) VALORES MAXIMOS MENSUALES DE
NACIONAL AMBIENTAL
EN 24 HORAS

FECHA DE PROCESO : 2018/10/29
ESTACION : 35040010 RETIRO EL

LATITUD 0420 N TIPO EST PM DEPTO
CUNDINAMARCA FECHA-INSTALACION 1968-AGO
LONGITUD 7332 W ENTIDAD 01 IDEAM
MUNICIPIO MEDINA FECHA-SUSPENSION
ELEVACION 0870 m.s.n.m REGIONAL 03 META-GUAVIAR
CORRIENTE PIRI

A#O	EST	ENT	ENERO *	FEBRE *	MARZO *	ABRIL *	MAYO *	JUNIO *	JULIO
*	AGOST *	SEPTI *	OCTUB *	NOVIE *	DICIE *	VR ANUAL *			
1968	4	07							
129.0	3	151.0	142.0	89.0	20.0	151.0	3		
1969	2	01	67.0	119.0	109.0	131.0	141.0	159.0	138.0
142.0		129.0	192.0	105.0	113.0	192.0			
1970	2	01	80.0	106.0	119.0	162.0	92.0	104.0	168.0
153.0		100.0	90.0	83.0	114.0	168.0			
1971	2	01	21.0	50.0	57.0	121.0	151.0	90.0	120.0
93.0		100.0	140.0	100.0	50.0	151.0			
1972	2	01	90.0	72.0	80.0	152.0	150.0	135.0	150.0
92.0		187.0	180.0	110.0	60.0	187.0			
1973	2	01	30.0	.0	130.0	105.0	117.0	149.0	139.0
150.0		120.0	29.0	160.0	30.0	160.0			
1974	2	01	20.0	70.0	64.0	120.0	84.8	108.0	140.8
128.0		144.0	89.6	72.0	88.0	144.0			
1975	2	01	48.0	16.0	59.2	72.0	80.0	152.0	136.0
113.0		114.0	190.0	112.0	111.0	190.0			
1976	2	01	45.0	55.0	65.0	103.0	119.0	140.0	119.0
100.0		120.0	92.0	85.0	70.0	140.0			
1977	2	01	.0	32.0		115.0	136.0	99.0	130.0
94.0		71.0		110.0	59.0	136.0	3		
1978	2	01	33.0	51.0	92.0	70.0	120.0	79.0	111.0
80.0		75.0	94.0	117.0	110.0	120.0			
1979	2	01	50.0	2.0	70.0	110.0	119.0	150.0	72.0
103.0		98.0	134.0	82.0		150.0	3		
1980	2	01		22.0	70.0	80.0	170.0	140.0	76.0
115.0						170.0	3		
1981	2	01		60.0	100.0	130.0	210.0	150.0	158.0
130.0		200.0	166.0	130.0	80.0	210.0	3		

1982	2	01	30.0	80.0	120.0	150.0	117.0	183.0	145.0
80.0		90.0	105.0	42.0	30.0		183.0		
1983	2	01	66.0	130.0	147.0	30.0	200.0	120.0	120.0
113.0		91.0	63.0	80.0	50.0		200.0		
1984	2	01					70.0	100.0	82.3
90.6		132.3	77.6	81.7	90.5		132.3 3		
1985	2	01	1.4	9.1	81.0		52.5	82.2	50.0
68.0		52.0	73.0	72.0	90.0		90.0 3		
1986	2	01	39.0	90.0	100.0	130.0	133.0	120.0	110.0
55.0		110.0	50.0	78.0	73.0		133.0		
1987	2	01	78.0 4	14.0	41.0	43.0	115.0	57.0	
115.0 3									
1988	2	01	90.0	90.0	10.0	100.0	115.0	132.0	85.0
140.0		87.0	141.0	77.0	35.0		141.0		
1989	2	01	32.0	143.0	72.0	43.0	115.0	129.0	120.0
90.0		90.0	65.0	130.0	90.0		143.0		
1990	2	01	63.0	90.0	99.0	126.0	130.0	133.0	112.0
80.0		121.0	75.0	71.0	110.0		133.0		
1991	2	01	90.0	80.0	50.0	80.0	70.0 3	80.0 3	
3 85.0		90.0	110.0	60.0	38.0		110.0 3		
1992	2	01		44.0	78.0	80.0	61.0	56.0	76.0
68.0 3		80.0	62.0	71.0	80.0		80.0 3		
1993	2	01	15.0	18.0			100.0	111.0	
111.0 3									
1994	2	01				*	132.0	135.0	140.0
110.0		110.0	90.0	88.0	36.0		140.0 3		
1995	2	01	70.0	60.0	48.0	80.0	115.0	120.0	135.0
100.0		135.0		117.0	54.0		135.0 3		
1996	2	01	40.0	95.0	136.0	136.0	101.0	136.0	136.0
94.0		146.0	101.0	85.0	92.0		146.0		
1997	2	01	22.0						
22.0 3									
1998	1	01					190.0	140.0	
190.0 3									
1999	1	01		*	86.0	153.0	100.0	100.0	100.0
60.0		135.0	110.0	120.0	100.0		153.0 3		
2000	2	01	50.0	50.0	26.0	100.0	135.0	135.0	100.0
111.0		104.0	100.0				135.0 3		
2001	1	01			76.0	*	117.0	92.0	74.0
87.0		85.0	70.0	120.0	99.0		120.0 3		
2002	1	01	59.0	12.0	61.0	139.0	141.0	120.0	98.0
78.0		100.0	130.0	81.0	132.0		141.0		
2003	1	01	4.0	9.0	76.0	89.0	144.0	152.0	60.0
116.0		138.0	76.0	170.0	71.0		170.0		
2004	1	01	35.0	58.0	48.0	177.0	153.0	135.0	151.0
133.0		*	130.0	70.0	90.0		177.0 3		
2005	1	01	45.0	135.0	60.0	130.0	130.0	167.0	65.0
125.0		135.0	96.0	114.0	114.0		167.0		
2006	1	01	99.0	15.0	80.0	80.0	90.0		
110.0		86.0	90.0 3	110.0 3					
2007	1	01	15.0	16.0	98.0	119.0	84.0	85.0	76.0
110.0		68.0	141.0	208.0	60.0		208.0		

2008	1	01	67.0	30.0	25.0	94.0	123.0	98.0	100.0
3	91.0		109.0	72.0	155.0	96.0	155.0	3	
2009	1	01	79.0	13.0	74.0	135.0	80.0	161.0	91.0
119.0			84.0	94.0	100.0	126.0	161.0		
2010	1	01	.0	57.0	108.0	130.0	128.0	175.0	105.0
110.0			83.0	117.0	83.0	80.0	175.0		
2011	1	01	68.0	48.0	162.0		110.0	156.0	110.0
66.0			98.0	87.0	139.0	86.0	162.0	3	
2012	1	01	48.0	44.0	95.0	141.0	100.0	101.0	104.0
152.0			95.0	117.0	65.0	3	135.0	152.0	3
2013	1	01	4.0	31.0	65.0	85.0	135.0	40.0	150.0
97.0			114.0	107.0	108.0	116.0	150.0		
2014	1	01	46.0	112.0	59.0	110.0	118.0	87.0	66.0
142.0			71.0	79.0	80.0	68.0	142.0		
2015	1	01	105.0	38.0	70.0	112.0	90.0	127.0	124.0
40.0			81.0	57.0	91.0	61.0	127.0		
2016	1	01	6.0	26.0	50.0	135.0	92.0	98.0	65.0
111.0			66.0	95.0	135.0	129.0	135.0		
2017	1	01	45.0	56.0	70.0	100.0	127.0	173.0	
173.0	3								
MEDIOS			46.2	54.6	78.7	109.7	118.8	121.1	109.7
103.3			107.4	103.3	100.8	81.6	94.6		
MAXIMOS			105.0	143.0	162.0	177.0	210.0	183.0	168.0
153.0			200.0	192.0	208.0	135.0	210.0		
MINIMOS			0.0	0.0	10.0	30.0	52.5	40.0	50.0
40.0			52.0	29.0	42.0	20.0	0.0		

Apéndice 10. Clasificación de la vulnerabilidad física

Materiales							
Encuesta	Antigüedad de la edificación	de construcción y estado de conservación	Cumplimiento de normatividad	Geología y tipo de suelo	Localización de la vivienda	Valor	Clasificación
1	3	3	3	3	3	15	ALTA
2	3	3	3	3	3	15	ALTA
3	3	2	3	3	3	14	ALTA
4	3	2	3	3	3	14	ALTA
5	3	2	3	3	3	14	ALTA
6	3	3	3	3	3	15	ALTA
7	3	3	3	2	3	14	ALTA
8	3	3	3	3	2	14	ALTA
9	3	3	3	3	2	14	ALTA
10	3	3	3	3	2	14	ALTA
11	3	3	3	3	2	14	ALTA
12	3	1	2	3	2	11	MEDIA
13	3	1	2	3	3	12	ALTA
14	1	1	1	2	3	8	MEDIA
15	3	1	1	2	3	10	MEDIA
16	1	1	1	2	3	8	MEDIA
17	3	1	1	2	1	8	MEDIA
18	3	1	1	2	1	8	MEDIA
19	3	1	3	2	1	10	MEDIA
20	1	1	3	2	1	8	MEDIA
21	1	1	3	2	1	8	MEDIA
22	1	1	3	2	1	8	MEDIA
23	3	3	3	3	1	13	ALTA
24	3	2	3	3	2	13	ALTA
25	3	2	3	2	2	12	ALTA

26	3	1	2	2	2	10	MEDIA
27	1	1	2	2	3	9	MEDIA

Apéndice 11 Calificación de la vulnerabilidad económica

Encuesta	Nivel de ingresos	Acceso a servicios públicos	Acceso al mercado laboral	Valor	Clasificación
1	3	2	3	8	ALTA
2	3	2	3	8	ALTA
3	3	2	3	8	ALTA
4	3	1	3	7	ALTA
5	3	1	3	7	ALTA
6	3	1	2	6	MEDIA
7	3	1	2	6	MEDIA
8	3	1	2	6	MEDIA
9	3	1	2	6	MEDIA
10	3	1	2	6	MEDIA
11	3	1	2	6	MEDIA
12	3	1	2	6	MEDIA
13	2	1	2	5	MEDIA
14	2	1	3	6	MEDIA
15	2	1	3	6	MEDIA
16	2	1	3	6	MEDIA
17	2	2	3	7	ALTA
18	3	1	3	7	ALTA
19	3	2	3	8	ALTA
20	2	2	2	6	MEDIA
21	2	2	2	6	MEDIA
22	3	2	2	7	ALTA
23	3	1	1	5	MEDIA
24	3	1	1	5	MEDIA
25	3	1	3	7	ALTA
26	2	1	3	6	MEDIA
27	2	1	1	4	BAJA

Apéndice 12. Clasificación de la vulnerabilidad social

Encuesta	Relación entre comunidades y organizaciones	Conocimientos sobre riesgo	Participación	Valor	Clasificación
1	3	3	3	9	ALTA
2	3	3	3	9	ALTA
3	3	3	3	9	ALTA
4	3	3	3	9	ALTA
5	3	2	3	8	ALTA
6	3	2	3	8	ALTA
7	3	2	3	8	ALTA
8	3	2	3	8	ALTA
9	3	2	3	8	ALTA
10	3	3	3	9	ALTA
11	2	3	3	8	ALTA
12	2	3	3	8	ALTA
13	3	3	3	9	ALTA
14	2	3	2	7	ALTA
15	3	3	2	8	ALTA
16	2	3	2	7	ALTA
17	3	3	2	8	ALTA
18	3	3	2	8	ALTA
19	2	3	3	8	ALTA
20	2	3	3	8	ALTA
21	3	3	3	9	ALTA
22	3	3	3	9	ALTA
23	3	3	3	9	ALTA
24	3	3	3	9	ALTA
25	1	2	2	5	MEDIA
26	3	2	2	7	ALTA
27	3	3	3	9	ALTA

Apéndice 13. Clasificación de la vulnerabilidad ambiental

Encuesta	Condiciones atmosféricas	Calidad del aire	Calidad del agua	Condiciones de recursos	Valor	Clasificación
1	2	1	2	1	6	BAJA
2	2	1	1	1	5	BAJA
3	2	1	1	1	5	BAJA
4	2	1	2	1	6	BAJA
5	2	1	2	1	6	BAJA
6	2	1	2	1	6	BAJA
7	2	1	1	1	5	BAJA
8	2	1	1	1	5	BAJA
9	2	1	1	1	5	BAJA
10	2	1	2	1	6	BAJA
11	2	1	1	1	5	BAJA
12	2	1	2	1	6	BAJA
13	2	1	1	2	6	BAJA
14	2	1	1	2	6	BAJA
15	2	1	1	2	6	BAJA
16	2	1	2	1	6	BAJA
17	2	1	1	1	5	BAJA
18	2	1	1	1	5	BAJA
19	2	1	1	1	5	BAJA
20	2	1	2	1	6	BAJA
21	2	1	2	1	6	BAJA
22	2	1	2	1	6	BAJA
23	2	1	2	1	6	BAJA
24	2	1	2	1	6	BAJA
25	2	1	2	1	6	BAJA
26	2	1	1	1	5	BAJA
27	2	1	1	1	5	BAJA

Apéndice 14. Clasificación de la vulnerabilidad total

Encuesta	Vulnerabilidad física	Vulnerabilidad económica	Vulnerabilidad social	Vulnerabilidad ambiental	Valor total	Clasificación
1	15	8	9	6	38	ALTA
2	15	8	9	5	37	ALTA
3	14	8	9	5	36	ALTA
4	14	7	9	6	36	ALTA
5	14	7	8	6	35	ALTA
6	15	6	8	6	35	ALTA
7	14	6	8	5	33	ALTA
8	14	6	8	5	33	ALTA
9	14	6	8	5	33	ALTA
10	14	6	9	6	35	ALTA
11	14	6	8	5	33	ALTA
12	11	6	8	6	31	ALTA
13	12	5	9	6	32	ALTA
14	8	6	7	6	27	MEDIA
15	10	6	8	6	30	MEDIA
16	8	6	7	6	27	MEDIA
17	8	7	8	5	28	MEDIA
18	8	7	8	5	28	MEDIA
19	10	8	8	5	31	ALTA
20	8	6	8	6	28	MEDIA
21	8	6	9	6	29	MEDIA
22	8	7	9	6	30	MEDIA
23	13	5	9	6	33	ALTA
24	13	5	9	6	33	ALTA
25	12	7	5	6	30	MEDIA

26	10	6	7	5	28	MEDIA
27	9	4	9	5	27	MEDIA

Apéndice 15. Cálculo de riesgo total para un periodo de retorno de 2 años

Encuesta	Vulnerabilidad física	Amenaza TR2	Valor	Calificación
1	15	7	105	ALTA
2	15	7	105	ALTA
3	14	7	98	ALTA
4	14	7	98	ALTA
5	14	7	98	ALTA
6	15	7	105	ALTA
7	14	7	98	ALTA
8	14	7	98	ALTA
9	14	7	98	ALTA
10	14	7	98	ALTA
11	14	7	98	ALTA
12	11	7	77	MEDIA
13	12	7	84	MEDIA
14	8	7	56	MEDIA
15	10	7	70	MEDIA
16	8	7	56	MEDIA
17	8	7	56	MEDIA
18	8	7	56	MEDIA
19	10	7	70	MEDIA
20	8	7	56	MEDIA
21	8	7	56	MEDIA
22	8	7	56	MEDIA
23	13	7	91	ALTA

24	13	7	91	ALTA
25	12	7	84	MEDIA
26	10	7	70	MEDIA
27	9	7	63	MEDIA

Apéndice 16 *Cálculo de riesgo total para un periodo de retorno de 25 años*

Encuesta	Vulnerabilidad física	Amenaza TR25	Valor	Calificación
1	15	8	120	ALTA
2	15	8	120	ALTA
3	14	8	112	ALTA
4	14	8	112	ALTA
5	14	8	112	ALTA
6	15	8	120	ALTA
7	14	8	112	ALTA
8	14	8	112	ALTA
9	14	8	112	ALTA
10	14	8	112	ALTA
11	14	8	112	ALTA
12	11	8	88	MEDIA
13	12	8	96	ALTA
14	8	8	64	MEDIA
15	10	8	80	MEDIA
16	8	8	64	MEDIA
17	8	8	64	MEDIA
18	8	8	64	MEDIA
19	10	8	80	MEDIA
20	8	8	64	MEDIA
21	8	8	64	MEDIA
22	8	8	64	MEDIA
23	13	8	104	ALTA

24	13	8	104	ALTA
25	12	8	96	ALTA
26	10	8	80	MEDIA
27	9	8	72	MEDIA

Apéndice 17. Cálculo de riesgo total para un periodo de retorno de 100 años

Encuesta	Vulnerabilidad física	Amenaza TR100	Valor	Calificación
1	15	8	120	ALTA
2	15	8	120	ALTA
3	14	8	112	ALTA
4	14	8	112	ALTA
5	14	8	112	ALTA
6	15	8	120	ALTA
7	14	8	112	ALTA
8	14	8	112	ALTA
9	14	8	112	ALTA
10	14	8	112	ALTA
11	14	8	112	ALTA
12	11	8	88	MEDIA
13	12	8	96	ALTA
14	8	8	64	MEDIA
15	10	8	80	MEDIA
16	8	8	64	MEDIA
17	8	8	64	MEDIA
18	8	8	64	MEDIA
19	10	8	80	MEDIA
20	8	8	64	MEDIA

21	8	8	64	MEDIA
22	8	8	64	MEDIA
23	13	8	104	ALTA
24	13	8	104	ALTA
25	12	8	96	ALTA
26	10	8	80	MEDIA
27	9	8	72	MEDIA

Apéndice 18. Registro fotográfico de recolección de información primaria

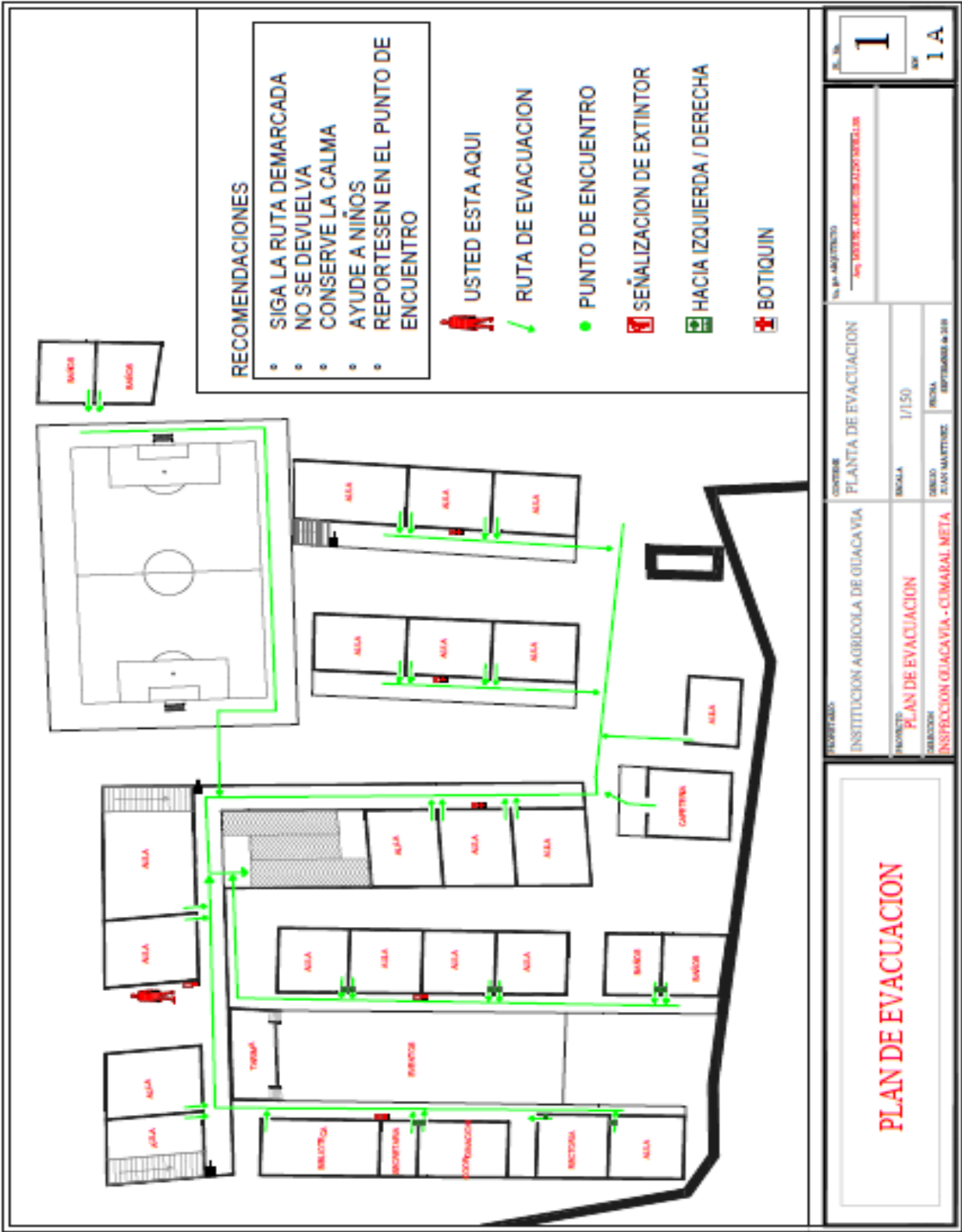








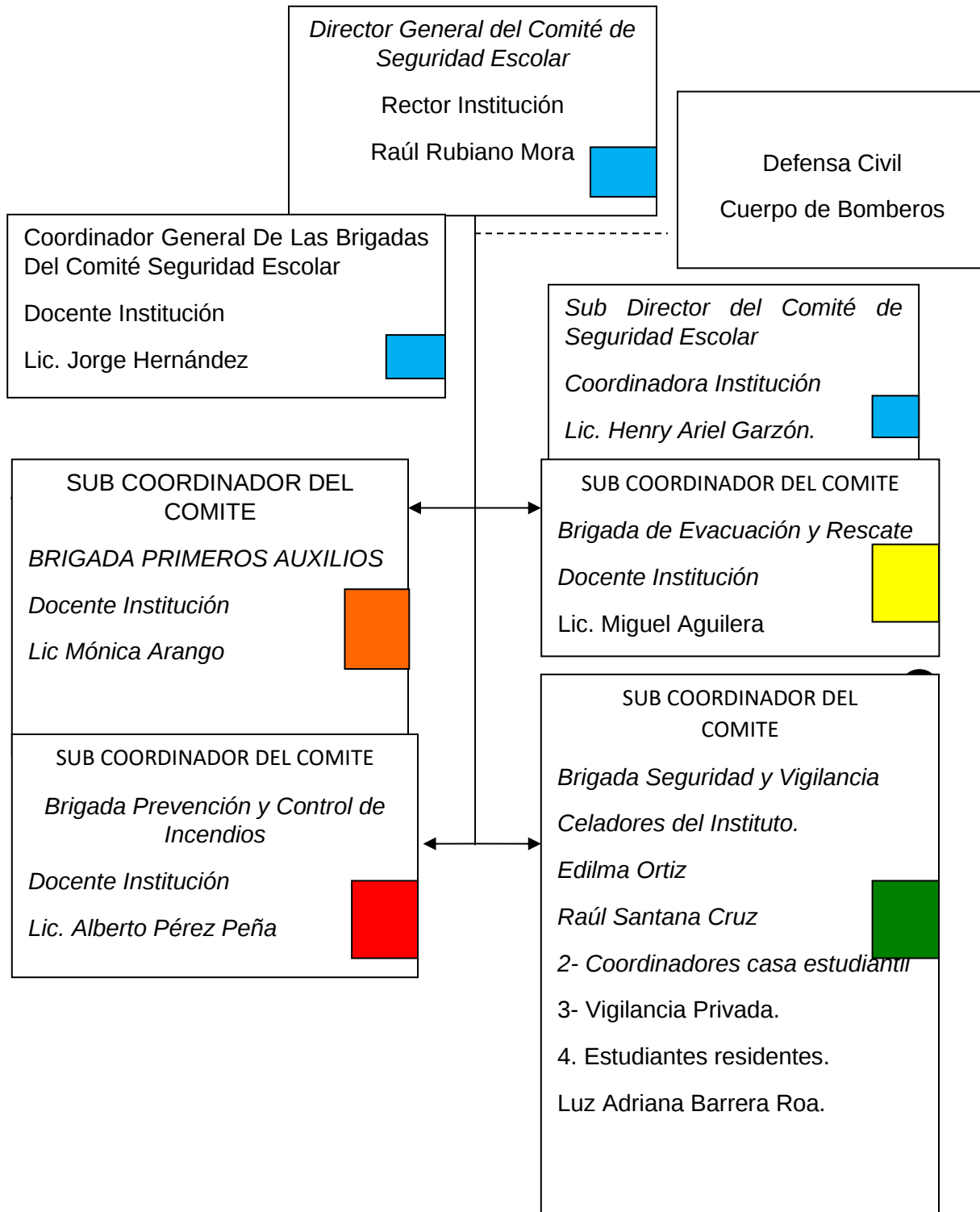
Apéndice 19 Ruta de evacuación



Apéndice 20. Cuadro de actividades socializadas

Actividad	Finalidad	Herramientas	Descripción
Explicación de términos	Tratar la terminología de riesgo por inundación y de un SAT	Computador, documento, mapas.	Se presentó la terminología tratada en los documentos en cuanto al riesgo y al SAT.
Recurso hidrometeorológico y mapas de riesgo	Mostrar el mapa de riesgo en cuanto a inundación y acentuar la ubicación de la institución	Mapa del corregimiento de Guacavía realizado por los autores con sus delimitaciones de la zona de estudio y lo realizado en el software	Es socializado el trabajo que se hizo con los mapas, de tal forma que se conozca el estado en el cual se encuentran
Sensibilización	Recordar la importancia de un SAT	Computador con documentos, registros históricos	Se conversa con las personas presentes para dialogar sobre lo que ha ocurrido a través de los años en cuanto a las inundaciones de la zona
Socialización sobre el “peor caso extremo”	Resaltar lo necesario de la constitución y conformación de un SAT	Guía de simulacro, herramientas como pluviómetro, regla limnimétrica, botiquín de primeros auxilios	Los participantes realizaron un recordatorio de cómo se debe actuar ante un evento como lo es una inundación

Apéndice 21. Organigrama del comité de seguridad escolar



Apéndice 22. Cronograma del proyecto

Cronograma		
Actividades	Comienzo	Fin
Recolección de información primaria	11/04/2019	06/06/2019
Identificación de vulnerabilidad	29/06/2019	16/08/2019
Definir tipos de instrumentos del SAT	17/08/2019	30/08/2019
Determinar puntos para ubicar herramientas del SAT	02/09/2019	05/09/2019
Capacitación al comité de seguridad escolar	16/09/2019	18/09/2019
Definir estrategias de implementación del SAT	17/09/2019	18/09/2019
Ruta de evacuación escolar	25/09/2019	27/09/2019
Socialización del trabajo realizado	17/10/2019	18/10/2019
Entrega del documento a la institución	18/10/2019	18/10/2019

Apéndice 23. Costos de instalación de dispositivos

COSTOS DE INSTALACIÓN		
Parámetro	Cantidad	Precio
Regla limnimétrica	1	\$233 000.00
Pluviómetro	2	\$385 500.00
Sirena/timbre	1	\$146 700.00
Profesional	1	\$1 800 000.00
Contratista	1	\$877 000.00
Total		\$3 442 200.00

Apéndice 24. Acta de entrega a la institución agrícola de guacavía



DEPARTAMENTO DEL META

INSTITUCIÓN EDUCATIVA
AGRÍCOLA GUACAVIA
CUMARAL- META

Resolución de reconocimiento de estudios en los niveles de
Preescolar, Básica y Media Técnica N° 4549 de 26.09 de 2016
NIT: 892.099.170-6 DANE: 250226000140 INSC. SED.11230 ICFES:030973
Celular 3208362184 - Inspección Guacavía



ACTA

Fecha:	18 de octubre de 2019.
Hora	11:50 am.
Lugar	Sala de Rectoría.
Motivo	Entrega trabajos. Diseño de Alertas tempranas por inundaciones practicantes USTA.
Asistentes	- Coordinador Henry A. Garzón, - Alejandra Llano y Juan Martínez Estudiantes. Universidad Santo Tomás Ing. Ambiental.

Orden del día

1. Saludo.
 2. Los practicantes estudiantes Alejandra Llano y Juan Martínez de la facultad Ing. Ambiental de la USTA entregan la siguiente documentación:
 - Diseño de un sistema de Alerta temprana por inundaciones en la I.E Agrícola de Guacavía.
 - Mapa de inundación de la Inspección de Guacavía.
 - plano de evacuación de la I.E Agrícola de Guacavía
- Compromisos:
- Enviar al correo electrónico los mapas en autocad y el informe en forma digital.
- henryargaca0120@hotmail.com - Colguacavía@yahoo.es
cel. 3133842134 - 3208362184

Juan Carlos Martínez

Alejandra Llano Marín

Alejandra Llano Marín

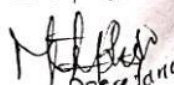
3208362184



Universidad del Meta
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo



Coordinador



Secretaria

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN
Edificio Gobernación del Meta
Teléfono 6689098 Ext 12
Villavicencio - Meta
Línea gratuita: 018000128120
www.sedmeta.gov.co

"Líderes con calidad humana y vocación por el Sector Agropecuario"
colguacavía@yahoo.es