

**CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE 10 PUNTOS DE MONITOREO DEL
RÍO CAUCA EN SU CUENCA BAJA**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**PRESENTADO POR:
JOHN ALEXANDER GÓMEZ VALBUENA 505174
JULIÁN ANDRÉS GALINDO GALINDO 504793**

**DOCENTE ASESOR:
ING. FIDEL ALBERTO PARDO OJEDA**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ, D.C
2017**

**CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE 10 PUNTOS DE MONITOREO DEL
RÍO CAUCA EN SU CUENCA BAJA**

**PRESENTADO POR:
JOHN ALEXANDER GÓMEZ VALBUENA 505174
JULIÁN ANDRÉS GALINDO GALINDO 504793**

**DOCENTE ASESOR:
ING. FIDEL ALBERTO PARDO OJEDA**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ, D.C
2017**



Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Compartir bajo la Misma Licencia — Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	12
1 GENERALIDADES	13
1.1 ANTECEDENTES	13
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.3 OBJETIVOS	20
1.3.1 Objetivo General	20
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
1.4 JUSTIFICACIÓN	21
1.5 DELIMITACIÓN	23
1.5.1 Espacio	23
1.5.2 Tiempo	25
1.6 MARCO REFERENCIAL	26
1.6.1 Generalidades de los Sistemas De Alerta Temprana - SAT	26
1.6.2 TIPOS DE VIGILANCIA	27
1.6.3 Mecanismos de divulgación	28
1.6.3.1 Diseminación de las alertas.	28
1.6.4 Interacción de un SAT para un evento hidrológico	28
1.6.4.1 Objeto del pronóstico	30
1.6.4.2 Horizonte y área del pronóstico	31
1.6.5 ESTIMACIÓN DE UMBRALES	32
1.6.6 ESTRATEGIAS DE LOS SAT EN COLOMBIA	33
1.6.6.1 SAT en Colombia. Recuento histórico (comienzo de los SAT en el HIMAT - IDEAM).	33
1.6.6.2 Diseño de la red	34
1.6.6.3 Recepción de información	34
1.6.6.4 Evolución de las redes de monitoreo	37
1.6.6.5 Actualidad de los sistemas SAT en Colombia:	40
1.6.7 Características generales de la zona de estudio	42
1.6.8 MARCO LEGAL	44
2 DETERMINACIÓN DE UMBRALES	45
2.1 Estación Las Varas	45
2.1.1 Registro de datos para la estación Las Varas.	45

2.1.2	Procesamiento de los datos:	47
2.1.2.1	Resultados para los datos procesados por software HYFA.	48
2.1.2.2	Resultados para los datos procesados por software SMADA.	49
2.1.3	Comparación de los resultados, cálculo del error y umbrales.	50
2.1.4	Determinación del Umbral.	51
2.1.5	Determinación del tiempo de recorrido de la ola.	53
3	CONCLUSIONES	58
4	RECOMENDACIONES	59
5	BIBLIOGRAFÍA	60
6	ANEXOS	63

TABLA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1 Flujograma Rio Cauca	19
Ilustración 2 Efectividad de un SAT. The Comet Program.	22
Ilustración 3 Incidencia en el tamaño y forma de la cuenca, en la evaluación de respuestas hidrológicas.....	24
Ilustración 4 Cuenca baja Río Cauca	25
Ilustración 5 Mira limnigráfica	27
Ilustración 5 Mira limnigráfica	28
Ilustración 6 Encargados del monitoreo y la emisión de alertas.....	28
Ilustración 7 Niveles de alertas.....	30
Ilustración 8 Resultado del diagrama BoxPlot.....	33
Ilustración 9 Ubicación de la red básica de estaciones para SAT del IDEAM	34
Ilustración 10 Referencia gráfica de variación de niveles.....	35
Ilustración 11 Referencia de recepción de datos.....	36
Ilustración 13 Evolución del IDEAM	37
Ilustración 14 Marco de referencia institucional IDEAM	38
Ilustración 15 Evolución de los tipos de registros para puntos de monitoreo	39
Ilustración 16 Referencia para dinámica de trabajo	40
Ilustración 17 Plataforma FEWS-Colombia	41
Ilustración 18 Niveles del río	42
Ilustración 19 Cuencas hidrográficas tributarias del río Cauca.....	43
Ilustración 20 Cuenca básica del río Cauca y estaciones de la cuenca baja	43
Ilustración 21 Metodología recomendada por el IDEAM para determinar los tiempos de tránsito de onda de crecidas.....	54

CUADRO DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 Puntos de monitoreo Cuenca Bajo Rio Cauca	18
Tabla 2 Puntos de monitoreo Cuenca Bajo Rio Cauca	25
Tabla 3 Registros caudales estación Las Varas.....	45
Tabla 4: Método de los momentos caudal máximo para estación Las Varas.....	48
Tabla 5 Método de los momentos caudal mínimo para estación Las Varas	49
Tabla 6 Caudales máximos SMADA estación Las Varas	49
Tabla 7 Caudales mínimos SMADA estación Las Varas.....	50
Tabla 8 Caudales máximos y umbrales de inundación estación Las Varas.....	50
Tabla 9 Caudales mínimos y umbrales de sequía estación Las Varas	51
Tabla 10 Tiempo de recorrido estación Las Varas	54
Tabla 11 Presentación de datos analizados para estaciones de trabajo.....	56

TABLA DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Resumen y consolidado de estaciones del IDEAM involucradas en el SAT.IDEAM.....	39
Gráfica 2 Caudales Máximos Las Varas	46
Gráfica 3 Caudales Mínimos Las Varas	47
Gráfica 4 Umbrales de Inundación Las Varas	52
Gráfica 5 Umbrales de Sequia Las Varas	52
Gráfica 6 Caudales Máximos de las estaciones Analizadas para la Cuenca Baja del Río Cauca.....	55
Gráfica 7 Caudales Mínimos de las estaciones Analizadas para la Cuenca Baja del Río Cauca	55

GLOSARIO

aa: aguas abajo.

AA: aguas arriba.

ACDI: MISIÓN CANADIENSE DE RED DE ALERTAS TEMPRANAS.

CAR: Corporación Autónoma Regional.

CDGRD: Consejo Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres.

CMGRD: Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres.

CORPORACIÓN OSSO: Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente.

DIMAR: Dirección General Marítima.

EDAN: Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades.

ERM: Estrategia de Respuesta Municipal.

FMGRD: Fondo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres.

HIMAT: Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (hoy IDEAM).

HYDRAS3: plataforma de consulta para seguimiento de estaciones involucradas en el SAT del IDEAM.

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IDIGER: Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático de Bogotá.

MAH: Marco de Acción de Hyogo.

MAS: Marco de Acción de Sendai.

MEC: Módulo de Estabilización y Clasificación.

OMM: Organización Meteorológica Mundial.

ONAD - DGUPAD: Organismos Nacionales de Prevención y Atención de Desastres.

OSPA: Oficina del Servicio de Pronóstico y Alertas.

PMGRD: Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres.

POT: plan de ordenamiento territorial.

SAT: Sistema de Alerta Temprana.

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología y Meteorología de Perú.

SGC: Servicio Geológico Colombiano (antes INGEOMINAS).

SIATA: sistema de alertas tempranas en el área metropolitana del Valle de Aburrá.

SNGRD: Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

UNGRD: Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres.

UNISDR: Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres.

INTRODUCCIÓN

La ubicación geográfica de Colombia ha contribuido a que su territorio cuente con una riqueza hídrica importante, la presencia de las tres cordilleras a su vez ha generado que las riveras de sus ríos, y diferentes fuentes hídricas sean lugares para el asentamiento de poblaciones humanas. Estos asentamientos traen consigo consecuencias e impactos ambientales, que manejado inadecuadamente pueden generar daños al ambiente, su entorno, infraestructura y a la población que allí habite.

La ubicación de nuestro país en la zona tropical lo hace mucho más susceptible a los impactos que acarrea el cambio climático; fenómenos climáticos como “El niño” y “La niña”, generan que el territorio nacional se vea afectado por temporadas de lluvias intensas, o por lo contrario temporadas de largas sequias, ambos fenómenos son igualmente perjudiciales, ya que la ausencia de lluvia trae consigo afectaciones en la geomorfología de los suelos; afectaciones que una vez llegan las lluvias causan desprendimientos y sus consecuentes inundaciones.

Teniendo en cuenta que estos periodos de inundaciones y sequias pueden perdurar por años, y dada la carencia de información que se tenía del comportamiento de estos eventos hidrológicos, muchos centros urbanos crecieron en zonas de alto riesgo de inundación, lo que conllevó a muchos desastres y pérdidas humanas y también conlleva a que aún hoy exista el riesgo de que se generen nuevas tragedias.

El objetivo principal del pronóstico y monitoreo hidrológico es informar y alertar con suficiente tiempo de antelación a las autoridades ambientales y población en general sobre el comportamiento de los principales cuerpos de agua del país y la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos. Para lo anterior con el trabajo propuesto, se trabajarán diez puntos de monitoreo sobre los cuales se realizará un estudio hidrológico e hidráulico a través del análisis estadístico de datos recopilados, caracterizando esta parte de la cuenca y evaluando sus características para establecer límites que permitan adoptar acciones pertinentes para un sistema de alertas tempranas (SAT).

1 GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Las actividades humanas traen consigo impactos ambientales tanto positivos como negativos; sin embargo y como consecuencia del acelerado crecimiento de la población humana, la también creciente necesidad de más recursos, ha generado un crecimiento industrial desordenado y sin medición de las consecuencias, sin embargo la naturaleza no puede asimilar todos estos cambios y “responde” con un fenómeno que aunque negado por muchos líderes mundiales, se denomina “Cambio Climático”; Las consecuencias de este fenómeno sumado a la costumbre del ser humano a construir su habitad en las riveras de fuentes hídricas; han acarreado grandes desastres mostrados en forma de inundaciones o avalanchas, como las vividas en el Municipio de Mocoa recientemente. (véase fotografía 1).

Fotografía 1 Avalancha Mocoa



Fuente: EL ESPECTADOR. Por avalancha de Mocoa, Fiscalía imputará cargos a la gobernadora de Putumayo. [en línea]. <<https://www.elespectador.com/noticias/judicial/por-avalancha-de-mocoa-fiscalia-imputara-cargos-la-gobernadora-de-putumayo-articulo-725807>> [citado el 18 de septiembre de 2017]

Otro ejemplo se tiene en la fotografía 2 (Senamhi 2002), se presenta el efecto devastador de crecientes súbitas; aunque el fenómeno, por simple naturaleza debe ocurrir y causará muchos daños, es obligación del estado anticiparse a éstos hechos, en primer lugar para evitar pérdidas humanas y en segundo lugar para generar planes de contingencia y de vulnerabilidad, los cuales se deben implementar en los diferentes POT locales, con el fin de contar con un SAT adecuado, y reducir al mínimo las posibles pérdidas humanas y materiales.

Fotografía 2 Avalancha en Cusco, Perú. 2002.



Fuente: WIKIMEDIA COMMONS. Urubamba river Aguas Calientes. [en línea]. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Urubamba_river_Aguas_Calientes.jpg> [citado el 17 de abril de 2017]

El ejemplo presentado en la fotografía 2, corresponde a un evento hidrológico de crecidas repentinas anegaron el pueblo de Aguas Calientes en Perú, a finales de enero de 2010, dejando 4,000 turistas atrapados que subían o bajaban de las ruinas de Machu Picchu. Estuvieron atrapados en el pequeño pueblito por dos días o más, hasta que pudieron ser rescatados en helicópteros. El crecido río Urubamba (Valcanota) lavó puentes y destruyó muchas secciones del ferrocarril que transporta los turistas al sitio. Un pluviómetro ubicado 100 km aguas arriba registró 23.6 cm en 13 horas antes de la inundación. Las autoridades estiman que las inundaciones destruyeron 2,000 casas.

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial, las estadísticas revelan que aproximadamente nueve de cada diez desastres naturales acaecidos en el mundo están relacionados con el tiempo, clima o el agua. Además, en el último decenio los desastres naturales han tenido mayor repercusión en las economías de los países en desarrollo que en la de los países desarrollados.

Colombia mediante los convenios de Naciones Unidas se ha unido a redes internacionales de pronóstico y alerta de diferentes fenómenos naturales. Es así como con base en los convenios firmados en el marco de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) desde los años 60 se han estado implementando redes de monitoreo hidrometeorológico, que incluyen redes de comunicación para intercambio de datos e interacción con centros mundiales de proceso de la información recolectada. Con un mejor conocimiento de los fenómenos naturales, un aumento de las capacidades técnicas nacionales, el mejoramiento de las comunicaciones y un acceso más fácil a las tecnologías de monitoreo. Los países en vías de desarrollo reciben los pronósticos y alertas mundiales o regionales, lo cual ha posibilitado salvar vidas humanas y tener un mejor desarrollo de las actividades productivas.

En enero de 2005, Naciones Unidas convocó la Segunda Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres en Kobe, Hyogo, Japón. Durante esta conferencia, se negoció un acuerdo llamado Marco de Acción de Hyogo 2005-2015: Aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres (MAH) y fue adoptado por 168 países. Se amplió el paradigma de la gestión del riesgo de desastres de solamente respuesta después de un desastre a una aproximación más integral que también incluye medidas de prevención y preparación. El Marco de Acción de Hyogo también enfatiza la necesidad de *“identificar, evaluar y vigilar los riesgos de desastre y potenciar la alerta temprana”*¹.

Luego de este acuerdo, se están haciendo esfuerzos para incorporar los sistemas de alerta temprana (SAT) como un componente integral de la estrategia de gestión del riesgo de desastres de cualquier país, permitiendo a los gobiernos y las comunidades tomar las medidas apropiadas para construir resiliencia a los desastres naturales en las comunidades. La OMM está trabajando sistemáticamente para asistir a los países en el desarrollo de sus SAT con un enfoque multi-amenaza.

La Tercera Conferencia Internacional sobre Alerta temprana realizada en Alemania en el 2006 señaló que *“para ser eficaces, los sistemas de alerta temprana deben incluir activamente a las comunidades en riesgo, facilitar la educación y la concientización del público sobre tales riesgos, diseminar*

¹ Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, Conferencia mundial sobre la prevención de desastres - Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015. [En línea], Japón 12 al 22 de enero 2005, p.7. Disponible en <http://www.eird.org/cdmah/contenido/hyogo-framework-spanish.pdf>.

*eficazmente mensajes y alertas y garantizar una preparación constante*² . A nivel nacional la Ley 1523 de 2012 en el Artículo 2º sobre la responsabilidad de la gestión del riesgo, indica que corresponde esta tarea a todas las autoridades y a todos los habitantes del territorio colombiano.

Cada gobierno (nacional, departamental o local) cuenta entonces con la potestad de establecer su propia red de alertas, y para lo cual la ley ha creado funciones específicas a cada entidad técnica a nivel regional o local. Existen en el país, sistemas nacionales de alerta temprana para fenómenos de gran escala, manejados por entidades del orden nacional como IDEAM, DIMAR, Corporación OSSO y SGC; algunos sistemas regionales instalados por Corporaciones Ambientales como el de la CAR y sistemas municipales como el implementado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Estas entidades han implementado a lo largo de las últimas décadas redes manuales y automáticas para un mejor conocimiento de los fenómenos, buscando en primer lugar conocer sus características espaciales y temporales y en segundo lugar preparar a la población. Sin embargo, el país es muy diverso y complejo y muchos de los fenómenos violentos tienen características muy reducidas que no se reflejan en los sistemas nacionales de monitoreo y pronósticos por lo que hay que buscar medidas alternativas que permitan a las poblaciones ponerse a salvo de fenómenos como las crecientes súbitas, los deslizamientos de tierra, los sismos, los tsunamis locales y las erupciones volcánicas.

Algunas de las grandes ciudades de Colombia han desarrollado sistemas de alerta complementarios para el monitoreo de amenazas de origen natural: tal es el caso de la red de alerta SIATA implementado en el área metropolitana del Valle de Aburrá, que incluye un radar y todo un sistema automatizado de observación hidrometeorológica telemétrica; Bogotá también cuenta con una red automatizada operada por IDIGER (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático) y Manizales cuenta con un red de estaciones hidrometeorológicas , operadas por la Universidad Nacional Sede Manizales.

Es tan importante el tema debido a los intereses socioeconómicos, que se han realizado estudios, manuales y guías, con el propósito de concientizar a los gobiernos del costo para prevenir los desastres frente al costo elevado de repararlos, un ejemplo de ello es : “Experiencias De Sistemas De Alerta Temprana En América Latina”, el cual incluye dentro de su evaluación diversas experiencias, en la implementación de SAT, para inundaciones en América Latina, la ficha nueve de dicho documento muestra el “Sistema de alerta temprana cuenca del río Molinos, municipio de Popayán – departamento del Cauca, Colombia”³

² United Nations International Strategy for Disaster Reduction. (2006). Desarrollo de Sistemas de Alerta Temprana: Lista de comprobación. Tercera conferencia internacional sobre Alerta Temprana. Alemania.

³ Soluciones prácticas, 21 Experiencias De Sistemas De Alerta Temprana En América Latina. [en línea]. <<http://www.solucionespracticas.org.pe/21-experiencias-de-sistema-de-laerta-temprana-en-america-latina>> [citado el 30 de noviembre de 2017]

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cuál es la necesidad para la generación de una caracterización hidrológica de 10 puntos de monitoreo del río Cauca en su cuenca baja?

Colombia es un país ubicado en el norte de Sur América y así como su posición geográfica le ofrece una gama diversa de bosques, flujos de aire y suelos, también se genera en su extensión una dinámica meteorológica e hidrológica compleja. Esta dinámica se desarrolla tanto por factores de carácter planetario como por factores regionales y locales, convirtiendo su previsión en un reto científico que exige esfuerzos económicos, logísticos y de investigación. El Estado colombiano, durante más de 100 años, mediante leyes y decretos se ha esforzado por implementar el manejo adecuado de los recursos naturales renovables; sin embargo, aún persisten asentamientos humanos y desarrollos productivos en las zonas inundables en el bajo Magdalena, en Bogotá (Cundinamarca), Medellín (Antioquia), Cúcuta (Norte de Santander), por citar algunos ejemplos en donde la ocupación del territorio ha estado acompañada de desastres. Además, la concentración de la población en las áreas urbanas de estos departamentos es cada día mayor, lo cual suele ubicar a los fenómenos naturales extremos (crecidas repentinas, lentas y sequías hidrológicas) como eventos indeseados y como causa parcial del malestar económico y social.

En vista de la alta potencialidad de eventos extremos del río Cauca, con el presente estudio y atendiendo las indicaciones del IDEAM, el principal problema a resolver es la identificación de la potencial afectación y la vulnerabilidad desde el punto de vista de niveles de ríos en diez puntos específicos; la principal motivación de hacer esto es la de dar aviso oportuno con la implementación de un SAT el cual se debe ir modificando a medida que aumenta el riesgo por variaciones de los niveles, teniendo como principal ayuda la de mitigar la vulnerabilidad de la población expuesta. La razón de ser de estos estudios hidrológicos de caracterización hidrológica se puede describir de la siguiente manera:

Por esta razón es importante contar con el registro histórico del comportamiento de los ríos además de estudiar y caracterizar otros aspectos como lo son el tipo de suelo y las condiciones en las que se encuentra para recibir y conducir una gran carga hídrica en tiempos de lluvia, esta caracterización podrá llevar a modelar una cuenca y de esta manera predecir el comportamiento de los ríos, sobre todo en los eventos extremos. La información del comportamiento de los ríos puede derivar en un mapa de riesgo a partir del cual se tomen decisiones y se diseñen planes de ordenamiento en los cuales se proteja la vida de las personas y se interactúe sanamente con el ambiente y los recursos naturales disponibles, con el objeto responsable del desarrollo agropecuario e industrial de cada población en su respectiva ubicación geográfica.

¿Por qué caracterizar?

Para que esta información sirva en los POT de cada municipio para planificar las posibles zonas de desarrollo y éstas no queden expuestas a posibles afectaciones, bien sea por inundaciones o por desabastecimientos; para el caso de déficit de agua, también es de gran utilidad para planificar los puntos de las bocatomas y el tipo de las mismas

¿Qué se desea caracterizar?

Determinando los comportamientos hidrológicos de carácter estaciones (época de lluvias y época de sequía), se presentan diferentes niveles en los puntos de monitoreo (Véase tabla 1) de la cuenca baja del Río Cauca, a saber: con incrementos súbitos o torrenciales o con crecientes lentas, se definen con los umbrales.

Tabla 1 Puntos de monitoreo Cuenca Bajo Río Cauca

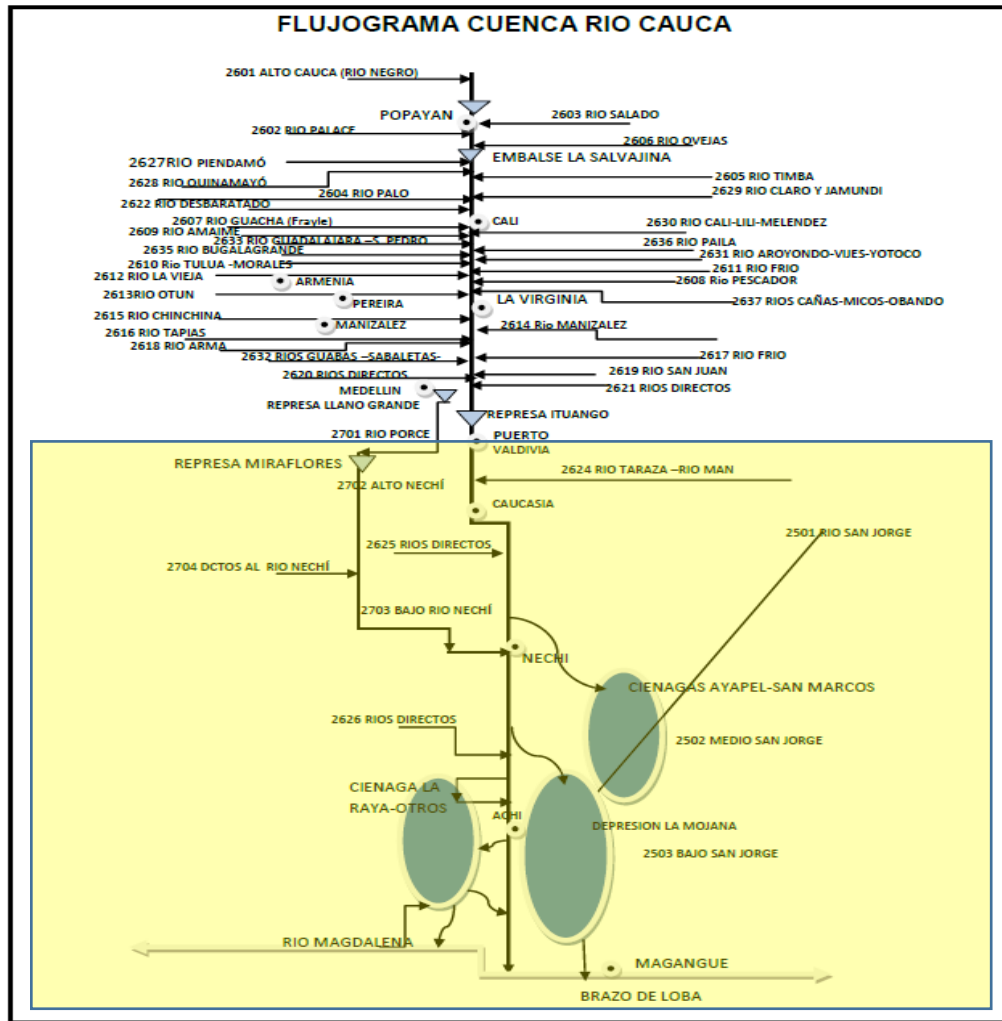
Nº	CÓDIGO	ESTACIÓN	CORRIENTE	H (m)	L (m)	W (m/S)
1	25027200	Las Varas	Río Cauca	58.012	4,367.975	1.50
2	27037030	San Juan	Río Nechí	101.976	3,987.090	2.22
3	27027070	Las Flóres - Tres y Medio	Río Nechí	96.087	8,978.157	1.31
4	25027640	Tres Cruces	Río Cauca	94.978	7,939.067	1.41
5	26247010	Hacienda Palmira	Río Man	101.008	3,978.127	2.21
6	27037010	La Esperanza	Río Nechí	89.079	5,979.018	1.60
7	26247050	Las Camelias	Río Tarazá	99.069	4,159.087	2.12
8	26247030	Apaví	Río Cauca	87.079	5,649.017	1.64
9	26247020	La Coquera	Río Cauca	78.067	8,897.017	1.17
10	25027050	Margento	Río Cauca	79.097	9,876.017	1.10

Fuente: Autores

¿Por qué la zonificación de la caracterización?

Debido a la extensión del río Cauca, se presentan tres secciones geográficamente establecidas para el monitoreo por parte del IDEAM (cuencas: alta, media y baja). Además, dicha zonificación permite no solamente estudiar los caudales de este río, sino también el de sus afluentes; en la ilustración 1 se presenta el esquema básico del río Cauca con sus principales afluentes. En el recuadro en color amarillo se presenta la zona de ubicación de la cuenca baja del río Cauca.

Ilustración 1 Flujograma Rio Cauca



Fuente: IDEAM. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). Flujograma cuenca río Cauca. Subdirección de Hidrología, 2015.

De otra parte, la comunidad internacional a través de la UNISDR ha manifestado su preocupación por la tendencia creciente de las pérdidas materiales por los desastres. Y son los países en vía de desarrollo los más afectados todos los años por fenómenos repetitivos como las inundaciones, los deslizamientos de tierra, las sequías y los huracanes, cuya atención demanda costos financieros muy elevados que retrasa el crecimiento de una nación. Esta situación está enlazada con la falta de gestión del riesgo que tiene su base en la ausencia de políticas públicas que propendan por el conocimiento del riesgo, la reducción del mismo y la atención de los desastres a todos los niveles territoriales y en todas las actividades. La UNISDR concede una alta prioridad al desarrollo de los sistemas de alerta temprana (SAT), que pueden en un momento dado salvar muchas vidas humanas, por lo tanto, se espera que ante una alerta emitida por una entidad nacional, se active un proceso comunitario de protección de la vida y de los bienes, manejado por las propias comunidades.

Como respuesta parcial a la problemática de la incertidumbre en el comportamiento del clima y los diversos factores que pueden llegar a generar desastres como inundaciones, avalanchas y sequias se propone los SAT como herramientas dentro de la gestión del riesgo para la prevención de desastres. Actualmente el IDEAM maneja estaciones de monitoreo en diversas partes del país, estas estaciones hidrológicas y meteorológicas aportan datos del comportamiento independiente de los parámetros climatológicos e hidrológicos de los lugares en los que se encuentran, mas no se tiene un análisis de dichos datos como un conjunto de variables dentro del comportamiento de una cuenca, es allí donde se genera la necesidad de analizar dicha información y su evolución en el tiempo para encontrar patrones de comportamiento que sirvan como material para la toma de decisiones, acompañándolas de la emisión de alertas y concientización del riesgo; formando así un modelo de SAT que llegue a ser replicado en las zonas del país y el mundo en similares condiciones de riesgo, con el objeto de salvaguardar vidas y evitar desastres.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Establecer los umbrales de inundación y sequia para las diez estaciones analizadas, con el fin de aportar dicha información como parte fundamental para la futura implementación de un Sistema de Alertas Tempranas en la cuenca baja del Río Cauca.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar series históricas a nivel medio mensual multianual para registros pluviométrico (niveles, en metros).
- Realizar análisis estadísticos de series históricas, empleando la teoría y metodología de GEV-I (método de análisis de frecuencias por el método HYFA⁴), y comparar los resultados con los de la metodología SMADA⁵.
- Determinar los niveles de umbrales, que sirvan para generar alertas en niveles altos.
- Determinar los tiempos de reacción necesarios para alertar a las comunidades más próximas ubicadas aguas abajo en casos de crecientes súbitas.

⁴ HYdrological Frequency Analisisys. Delft, Holanda. Preparación y desarrollo técnico con participación de Alberto Pardo Ojeda, 1990.

⁵ Modelo hidrológico. Universidad de Miami, con la participación técnica del IDEAM. 1999.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) son herramientas que permiten proveer una información oportuna y eficaz a través de instituciones técnicas, científicas y comunitarias, por medio de herramientas y elementos, que permiten a los individuos expuestos a una amenaza latente, la toma de decisiones para evitar o reducir su riesgo y aumentar su preparación para que puedan brindar una adecuada respuesta teniendo en cuenta sus capacidades. La Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres - EIRD habla del “conjunto de capacidades necesarias para generar y diseminar de manera oportuna y efectiva información de alerta que permita a las personas, comunidades y organizaciones ubicadas en zona de amenaza; con el objeto de que implemente los planes de acciones establecidos, reduciendo así la posibilidad de generación de daño y/o pérdida”⁶.

Debido a su complejidad y costo, pocos países han implementado sistemas de pronóstico y alerta de crecidas repentinas. Afortunadamente, los nuevos desarrollos tecnológicos han logrado que estos sistemas sean más asequibles y técnicamente factibles. Ahora existe una variedad de opciones para construir sistemas locales, regionales y mundiales para alertar a las poblaciones vulnerables acerca de la amenaza inminente de crecidas repentinas. Como elemento fundamental para el cumplimiento de la anterior premisa técnica, es necesario adelantar estudios que indiquen un mejor conocimiento de la Hidráulica y la Hidrología de diferentes zonas de trabajo, susceptibles a inundaciones y también a sequías. Con la instalación de los SAT comunitarios lo que se pretende es ampliar las alertas y la consiguiente toma de medidas de prevención al fortalecer la organización comunitaria y acercar lo técnico-científico al saber y la práctica local, al tomar sus propios datos, hacer los análisis, determinar el grado y tipo de alerta necesaria y poner en acción la estrategia de respuesta comunitaria.

Expertos de alrededor del mundo discutieron varias buenas prácticas nacionales utilizando los cuatro componentes operativos de los sistemas de alerta temprana efectivos. Los componentes de un SAT efectivo se aprecian en la ilustración 2.

⁶ Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. Guía para la implementación de sistemas de alerta temprana comunitarios. Bogotá, D.C: 2016. p.6

Ilustración 2 Efectividad de un SAT. The Comet Program.



Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration. (2012). Guía de referencia para sistemas de alerta temprana de crecidas repentinas. [en línea] p. 1-6. Disponible en <http://www.meted.ucar.edu/communities/hazwarnsys/ffewsrsg_es/FFG_completa_es.pdf>

“Prever, a través del pronóstico, es una actividad importante en los ámbitos económicos, sociales y actualmente toma auge en el ambiental, siendo bastante lo que depende de los pronósticos hidrológicos en el país.

Un pronóstico hidrológico del nivel del agua debe indicar si los niveles del agua (u otra variable hidrológica) estarán por encima o por debajo del valor de referencia (valor normal de la serie, mínimo, máximo o cualquier otro valor), los cuales pueden provocar crecidas, desbordamiento de las aguas, inundaciones, sequías hidrológicas, u otra consecuencia importante para el usuario del pronóstico. Esta información permite dilucidar las mejores decisiones de prevención y atención de desastres naturales, así como también reduce la potencialidad de los conflictos por el aprovechamiento del agua en tiempos de crisis y programar mejor su uso”.⁷

Los científicos advierten, a nivel internacional y nacional, que los pronósticos se están utilizando cada vez con mayor frecuencia con el objeto de orientar las decisiones en una diversidad de campos ambientales. Para ilustrar la diversidad de sus aplicaciones en el sector ambiental se citan algunas circunstancias que pueden ser resueltas con soporte en los pronósticos hidrológicos. Para ello, de acuerdo con estándares internacionales el IDEAM establece los siguientes protocolos⁸.

- a) *“Programación del aprovechamiento del agua a corto plazo. En este caso, se suele requerir prever la dinámica que toma, en un determinado sitio, el nivel del agua o caudal para generar la mejor estrategia de aprovechamiento en situaciones de crisis de agua para los sectores hidroenergético, navegación fluvial, agropecuario y de abastecimiento de*

⁷ IDEAM. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). Protocolo para la emisión de los pronósticos hidrológicos. Bogotá: Imprenta Nacional.,2008. p. 39

⁸ Fidel Alberto Pardo Ojeda. Coordinador de Pronósticos y Alertas (IDEAM, 2013).

agua a poblaciones a través de las empresas de servicios públicos. En este sentido, el mayor desarrollo de modelación hidrológica, con previsiones a semanas o días, se encuentra en el sector de producción de energía, mientras que los demás sectores de producción y de abastecimiento de agua en Colombia carecen de esta aproximación científica.”

- b)** *“Prevención de desastres por cantidad de agua. Los pronósticos hidrológicos del nivel del agua, por encima de lo normal, crecidas, desbordamientos, niveles por debajo y muy por debajo de lo normal, suelen evitar en algunos sitios inundaciones, desabastecimiento de agua y pérdidas en los cultivos a través de la implementación de medidas que se adoptan una vez se conoce, con ciertos días de anterioridad, la inminencia de estos eventos. Colombia aún se encuentra en la etapa inicial de desarrollo de modelación hidrológica cuantitativa con fines de alertas por crecidas, inundaciones y sequías. No existe, el primer municipio o comité local de emergencia que cuente con un sistema de prevención, en tiempo real, de las inundaciones locales. Tampoco se tiene la primera experiencia de un sistema de cultivos que oriente sus decisiones con soporte en pronósticos hidrológicos locales para su área de extensión.”*
- c)** *“Prevención de desastres por contaminación del agua. En Colombia, aún no se cuenta con la primera experiencia en modelación hidrológica de la calidad del agua, en tiempo real, para los ríos. La medición de la calidad del agua se suele realizar, con una frecuencia mensual, mientras que en la gran mayoría de las entidades se realiza cada semestre, restricción que vuelve imposible desarrollar una aproximación científica de modelación en términos de días o semanas. La diversidad de circunstancias que hemos enunciado tiene por objetivo incentivar la necesidad de intensificar la investigación en la modelación hidrológica, en tiempo real, con el fin de prever la dinámica de las variables de nivel del agua, caudal líquido y sólido y variables de calidad del agua. Muchas de las tragedias en gran cantidad de municipios, embalses y represas, cultivos y otros sectores, se pueden evitar si se logra desarrollar una cultura del prever hidrológico en tiempo real.”*

1.5 DELIMITACIÓN

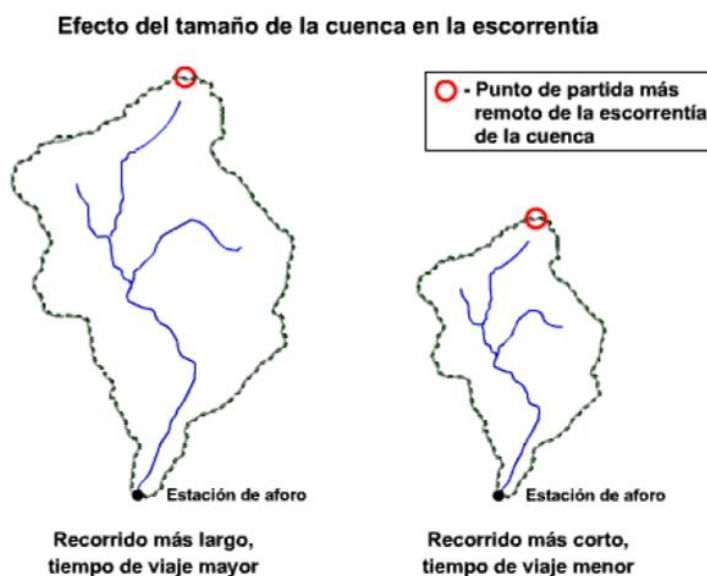
1.5.1 Espacio

El estudio se limitará únicamente a un grupo de 10 puntos de monitoreo en la cuenca baja del río Cauca, ya que con este estudio se desea proponer un protocolo de seguimiento, el cual puede ser implementado en otras zonas.

Como parte fundamental del estudio propuesto, es importante considerar el tamaño de la cuenca cuando se evalúa el riesgo de crecida repentina. El tamaño

del área de contribución de lluvia en una cuenca tiene un efecto directo sobre el volumen total de la escorrentía que drena de esa cuenca. El tamaño de la misma incidirá en las respuestas favorables para un SAT, independiente de su forma y tamaño; como ejemplo se pueden considerar dos cuencas con formas similares, pero de diferentes tamaños (ver ilustración 3). La escorrentía que comienza en el punto más remoto en la parte superior de la cuenca más grande tardará más tiempo en llegar a la salida de la cuenca que la escorrentía que viaja desde el punto más lejano de la cuenca más pequeña, ya que debe viajar una mayor distancia. Además, una sola tormenta eléctrica (es decir, un evento de lluvia fuerte) probablemente impactará solo una porción de la cuenca grande en un momento dado, pero podría involucrar toda la cuenca pequeña. De hecho, la mayoría de las crecidas repentinas ocurren en cuencas pequeñas, de menos de 77 Km² y muchas con menos de 38 Km². De esta forma el área de estudio se limita a la parte baja de la cuenca del Río Cauca.

Ilustración 3 Incidencia en el tamaño y forma de la cuenca, en la evaluación de respuestas hidrológicas.



Fuente: Fidel Alberto Pardo Ojeda. Coordinador de Pronósticos y Alertas (IDEAM, 2015).

Como ya se estableció los Sistemas de Alerta Temprana conocidos como SAT, son un conjunto de procedimientos e instrumentos, a través de los cuales se monitorea una amenaza o evento adverso (natural o antrópico) de carácter previsible, se recolectan y procesan datos e información, ofreciendo pronósticos o predicciones temporales sobre su acción y posibles efectos. Millones de personas en todo el mundo salvan sus vidas y sus medios de subsistencia gracias a la implementación de estos sistemas.

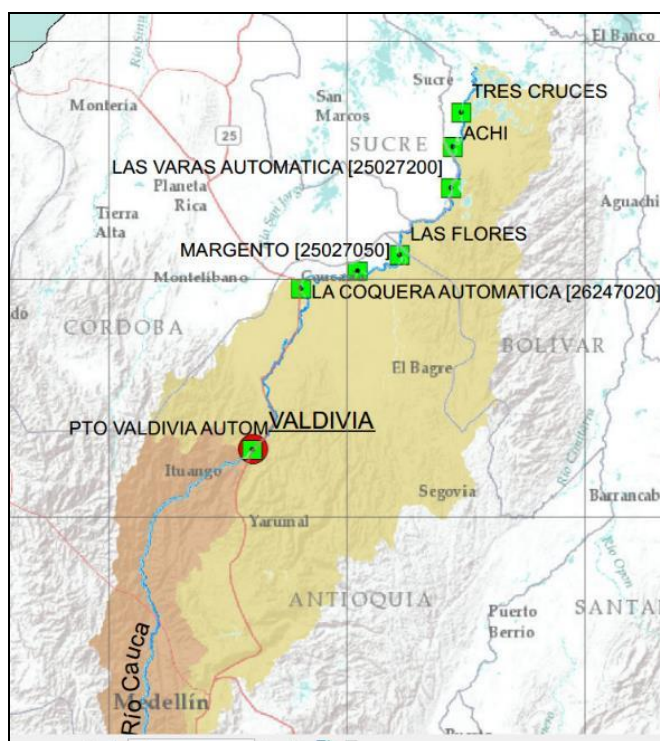
Los 10 puntos de monitoreo se extienden desde Valdivia, Antioquia hasta la unión con el río Magdalena en la ciénaga El Floral. (Véase tabla 2) de la cuenca media del Río Cauca, que serán utilizados para el trabajo de grado son:

Tabla 2 Puntos de monitoreo Cuenca Bajo Río Cauca

Nº	CÓDIGO	ESTACIÓN	CORRIENTE	H (m)	L (m)	W (m/S)
1	25027200	Las Varas	Río Cauca	58.012	4,367.975	1.50
2	27037030	San Juan	Río Nechí	101.976	3,987.090	2.22
3	27027070	Las Flóres - Tres y Medio	Río Nechí	96.087	8,978.157	1.31
4	25027640	Tres Cruces	Río Cauca	94.978	7,939.067	1.41
5	26247010	Hacienda Palmira	Río Man	101.008	3,978.127	2.21
6	27037010	La Esperanza	Río Nechí	89.079	5,979.018	1.60
7	26247050	Las Camelias	Río Tarazá	99.069	4,159.087	2.12
8	26247030	Apaví	Río Cauca	87.079	5,649.017	1.64
9	26247020	La Coquera	Río Cauca	78.067	8,897.017	1.17
10	25027050	Margento	Río Cauca	79.097	9,876.017	1.10

Fuente: Autores

Ilustración 4 Cuenca baja Río Cauca



Fuente: Elaboración propia a partir de datos suministrados por el ingeniero Fidel Alberto Pardo Ojeda. Coordinador de Pronósticos y Alertas (IDEAM, 2015).

1.5.2 Tiempo

Con la información estadísticas de las 10 estaciones de monitoreo definidas, suministrada por el IDEAM, de genera el análisis de la información utilizando

herramientas estadísticas como se detalla en el numeral 1.8 Metodología, la información a analizar corresponde a los últimos 50 años, o mínimo la que se encuentre disponible según el banco de datos facilitado.

1.6 MARCO REFERENCIAL

1.6.1 Generalidades de los Sistemas De Alerta Temprana - SAT

Los Sistemas de Alerta Temprana (SAT), son un conjunto de procedimientos e instrumentos, a través de los cuales se monitorea una amenaza o evento adverso (natural o antrópico) de carácter previsible, por medio de los cuales se recolectan y procesan datos e información, ofreciendo pronósticos o predicciones temporales sobre su acción y posibles efectos; gracias a ésta característica fundamental es con la cual se logran salvar millones de personas en todo el mundo, ayudando también a salvar los medios de subsistencia gracias a la implementación de estos sistemas. La importancia de un SAT 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 puede desencadenar situaciones potencialmente peligrosas. Por lo cual las alertas deben difundirse con suficiente anticipación. El objetivo fundamental de un SAT es, reducir o evitar la posibilidad que se produzcan 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.

Para el caso específico de Colombia, los SAT son aplicables tanto a eventos naturales, como aquellos provocados por la actividad humana y por la interacción de ambos elementos, cuyas características permiten su vigilancia y monitoreo. Entre las amenazas o eventos más comunes a los cuales se aplican SAT se tienen las inundaciones, deslizamientos de tierra, huracanes, volcanes, tsunamis, incendios forestales, fenómeno del niño y la niña, entre otros. Como objetivo fundamental del presente trabajo, solamente se evaluarán aquellas variables de generen inundaciones siendo pesto el principal insumo para para la generación de un SAT.

Los SAT permiten “facultar a las personas y comunidades que enfrentan una amenaza para que actúen con suficiente tiempo y de manera adecuada para reducir la posibilidad de que se produzcan lesiones personales, pérdidas de vidas humanas y daños a los bienes y el medio ambiente”⁹. La alerta temprana les da respaldo técnico a las comunidades o individuos para actuar con tiempo suficiente y de una manera apropiada para reducir la posibilidad de daño personal, pérdida de vidas, daños a la propiedad y al ambiente ante una amenaza o evento adverso que puede desencadenar situaciones potencialmente peligrosas. Para su

⁹ UN Secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction, Conferencia Internacional sobre Alerta Temprana (EWC III) [en línea], 29 de marzo de 2016, [citado el 6 de Julio de 2017], p.4. disponible en http://www.unisdr.org/files/608_spanish.pdf

cumplimiento, desde los lineamientos internacionales, en este punto se retoma el concepto de la UNISDR (NOAA)¹⁰ la cual propone cuatro componentes fundamentales:

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

De manera que cualquier acción emprendida para la alerta temprana, esté articulado con las acciones de planificación en gestión del riesgo y por ende con las acciones de respuesta y recuperación.

Adicionalmente el diseño de muchas obras en Ingeniería Civil, se relacionan estrechamente con las obras hidráulicas, sus estudios y el componente hidrológico. Para efectuar estos estudios se utilizan frecuentemente modelos matemáticos que representan el comportamiento de toda la cuenca involucrada en la zona de influencia. Es importante adelantar estudios para asegurar que se obtendrá una operación optimizada del uso de los recursos hídricos en un sistema complejo de obras hidráulicas, sobre todo si son de usos múltiples; en este caso se utilizan generalmente modelos matemáticos conceptuales, y se procesan en tiempo real. Adicionalmente, el correcto conocimiento del comportamiento hidrológico de un río, arroyo, o de un lago es fundamental para poder establecer las áreas vulnerables a los eventos hidrometeorológicos extremos.

Para tener un enfoque general se debe tener un claro conocimiento de cada uno de los conceptos que conforman la estructura efectiva de un SAT y de cómo interactúa con las demás.

1.6.2 TIPOS DE VIGILANCIA

Para la vigilancia de las amenazas y servicios de alerta en lo que tiene que ver con los fenómenos de origen natural se pueden emplear métodos de manera visual como en la ilustración 5 o mediante sensores remotos, usando diferentes opciones técnicas de comunicación. La vigilancia por sensores remotos puede ser vigilancia local o vigilancia automática a distancia. Igualmente, el proceso de determinación de la alerta y su grado; puede ser decidido por la autoridad hidrometeorológica (el IDEAM en Colombia) o para otros fenómenos por el SGC, o por otros entes o comunidades debidamente capacitados, validados y coordinados por las autoridades nacionales en la materia.

Ilustración 5 Mira limnigráfica¹¹

¹⁰ National Oceanic and Atmospheric Administration. (2012). Guía de referencia para sistemas de alerta temprana de crecidas repentinas. [en línea] p. 1-6. Disponible en <http://www.meted.ucar.edu/communities/hazwarnsys/ffewsrsg_es/FFG_completa_es.pdf>

Ilustración 6 Mira limnigráfica



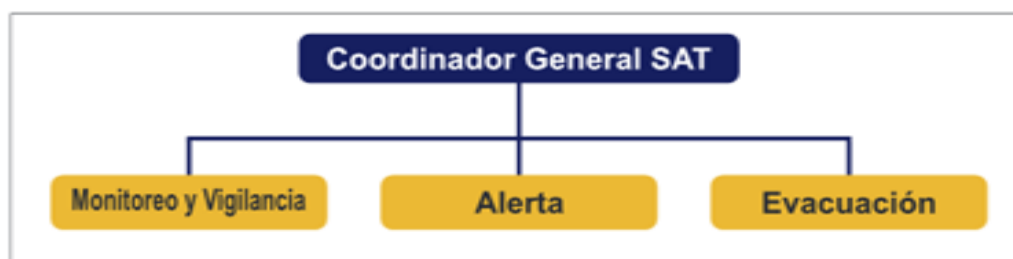
Fuente: CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO. ¿Cómo se miden los caudales del río Ebro? [en línea]. <<http://195.55.247.237/MuseoLogrono/como1.php>> [citado el 17 de abril de 2017].

1.6.3 Mecanismos de divulgación

1.6.3.1 Diseminación de las alertas.

En la ilustración 6 se presenta el esquema de interacción, en el cual la entidad (en este caso, el IDEAM), hace los estudios pertinentes de factores hidrometeorológicos, con los cuales genera las alertas y según protocolo, se obliga a comunicar a la UNGRD y al gobierno central sobre la eventualidad analizada y su potencial de afectación por zonas geográficas.

Ilustración 7 Encargados del monitoreo y la emisión de alertas.



Fuente: Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. Guía para la implementación de sistemas de alerta temprana comunitarios. Bogotá, D.C: 2016. p.20

1.6.4 Interacción de un SAT para un evento hidrológico

Las crecidas repentinas representan retos en cuanto a pronóstico y detección porque no siempre son causadas simplemente por fenómenos meteorológicos. Las crecidas repentinas ocurren cuando se conjugan ciertas condiciones

¹¹CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO. ¿Cómo se miden los caudales del río Ebro? [en línea]. <<http://195.55.247.237/MuseoLogrono/como1.php>> [citado el 17 de abril de 2017].

meteorológicas e hidrológicas. Aunque las lluvias fuertes generalmente son uno de los factores, lluvias en una dada cantidad y duración podrían o no resultar en una crecida repentina, dependiendo de las características hidrológicas de la cuenca hidrográfica en donde esté ocurriendo la lluvia. Las principales variables que se deben tener en cuenta para caracterizar las corrientes son:

- Magnitud, eficiencia y dirección de la escorrentía.
- Condiciones antecedentes de la cuenca y del caudal.
- Tamaño de la cuenca de drenaje.
- Intensidad de la precipitación.
- Duración de la precipitación.
- Ubicación, movimiento y evolución de la tormenta con respecto a la cuenca.
- Tipo de suelo, profundidad del suelo y condiciones antecedentes de humedad del suelo.
- Cantidad y tipo de vegetación cubriendo el suelo.
- Características del uso de suelo incluyendo urbanización y deforestación.
- Topografía general y pendiente de la tierra.
- Época del año (estación).¹²

Las etapas para la elaboración de un pronóstico hidrológico garantizan una plena utilidad y un mayor beneficio de los esfuerzos que se suelen destinar para la emisión de los pronósticos:




- **Ámbito de la decisión que se toma.** Es el primer aspecto para tener en cuenta al desarrollar todo un sistema de emisión de pronóstico hidrológico; el cual incluye: el tipo de decisión que se toma con soporte en el pronóstico y las consecuencias para elaborar, aplicar y validar el modelo de pronóstico.
- **Finalidad.** Los pronósticos se hacen siempre con alguna finalidad, siendo importante que la utilidad de un buen pronóstico radique en su aprovechamiento. Es necesario identificar muy bien el flujo de procesos, mediante el cual se toma una decisión, para evitar pérdidas por inundaciones, o sequías hidrológicas y conocer en detalle los propósitos en la decisión cuando se trata de programar el aprovechamiento del agua en tiempos de crisis.
- **Identificación.** Dado que cada escenario de decisión conlleva una estructura de beneficios y pérdidas, entonces resulta importante siempre identificar qué tipo de beneficio está acorde con las necesidades de la población o sector productivo. Los pronósticos hidrológicos se emiten precisamente para soportar en la mejor forma la decisión que se considere

¹² University Corporation for Atmospheric Research, Guía de referencia para sistemas de alerta temprana de crecidas repentinas [en línea], 2012, [citado el 6 de julio de 2017], p.5-1. Disponible en https://www.meted.ucar.edu/communities/hazwarnsys/ffewsrsg_es/FFG_completa_es.pdf

correcta y de su exactitud o precisión dependen las consecuencias de la decisión.

Pero solamente los fenómenos a identificar comprenden los de tipo afectación por inundación, y es por eso por lo que dentro del alcance de cualquier estudio de identificación de umbrales se debe incluir también los relacionados por sequías. Como parte de la generación de alertas (por inundaciones o por sequías) es recomendable emplear los siguientes criterios de clasificación, los cuales son empleados diariamente por la OSPA para seguir con los protocolos de emisión de alertas¹³:

Ilustración 8 Niveles de alertas

Nivel de Alerta	Condiciones en el Monitoreo	Acción Responsable SAT
	Cambios en las señales de peligro previas. (Ej.: incremento del volumen de lluvia, cambios ^{en} los niveles del cauce del río, etc.)	Revisión de información, comunicación a la comunidad y seguimiento a la situación, en caso de ser necesario o incrementarse la situación cambiar a nivel naranja o rojo.
	Cambios en las señales de peligro previas, la emergencia podría estar muy cerca de ocurrir. (Ej.: incremento del volumen de lluvia cercano a la cota de desbordamiento)	Reunir el equipo integrante del SAT, probar el funcionamiento de todo, hacer ensayos y reforzar la información a la comunidad, tener todo listo para la emergencia, alistamiento preventivo 24 horas.
	Cambios en las señales de peligro, la emergencia en inminente.	Activar la alarma comunitaria, de manera que en el tiempo establecido se realice la evacuación o protección, acorde a la solución establecido por el SAT para salvar la vida de las personas.

Fuente: Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. Guía para la implementación de sistemas de alerta temprana comunitarios. Bogotá, D.C: 2016. p.21.

1.6.4.1 Objeto del pronóstico

Se debe ser claro en la identificación del objeto, definiendo de antemano si la importancia de la decisión es prever una crecida que se desarrolle en inundación o un período de estiaje que evolucione en el desabastecimiento de agua de una población.

Para los diversos sectores de la producción, de prevención y atención de desastres y para el sector ambiental, es claro que algunas crecidas y sequías hidrológicas representan el mayor reto a la hora de tomar decisiones. Por ello, es importante identificar el objeto que se pronosticará. Cabe señalar que la cantidad y calidad de los datos para desarrollar y aplicar el modelo hidrológico con fines de

¹³ Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. Guía para la implementación de sistemas de alerta temprana comunitarios. Bogotá, D.C: 2016. p.21.

pronóstico en tiempo real, restringe o favorece el éxito del pronóstico. En Hidrología se sabe que los niveles del agua se miden con márgenes de error que no suelen superar el 1%, mientras que los caudales líquidos, obtenidos mediante el uso de molinetes, presentan errores que pueden superar incluso el 10%, siendo mayor el error de medición para los caudales sólidos y la calidad del agua (cuando su valoración depende del caudal obtenido con molinete). Un modelo hidrológico de pronóstico no puede mejorar la calidad del dato básico que utiliza como fuente y su resultado está intrínsecamente relacionado con esta.

1.6.4.2 Horizonte y área del pronóstico

Es claro que la modelación hidrológica se vuelve una tarea más compleja a medida que el horizonte de previsión se amplía a días, semanas o meses; en igual medida, se torna difícil esta actividad cuando de un sitio pasamos a requerir pronósticos hidrológicos en forma longitudinal a lo largo y ancho de un tramo. Igual sucede con el área de pronóstico, los resultados a escalas locales difieren cuando se amplía la escala. Además, la complejidad física y matemática del modelo hidrológico suele ser mayor en la medida en que se amplía la exigencia espacial. Los factores más relevantes para este punto son:

- Es importante conceptualizar los principales parámetros que definen una cuenca forma de la cuenca, ya que éstos inciden y tienen gran influencia sobre la magnitud y el momento en que ocurre el caudal máximo en la salida de la cuenca.
- Para el caso del estudio propuesto, se determinarán estas características sobre la cuenca baja del río Cauca, el cual presenta mayores sinuosidades y bajas velocidades, pero aún, el potencial de inundación es muy alto.
- Dependiendo de la forma de la cuenca igualmente se determinarán las condiciones de la escorrentía, analizando este factor, como la incidencia en generar mayor o menor caudal.
- La pendiente es otro factor importante que considerar en una cuenca. La pendiente no solo afecta el momento de ocurrencia de la escorrentía, sino también la cantidad de infiltración. A mayor pendiente, menor la tasa de infiltración, ya que la gravedad permite que menos agua penetre la superficie y más agua corra por ella. Ambos efectos aumentan la escorrentía. En general, entre más inclinada la pendiente y más inclinados los canales de drenaje, más rápida la respuesta del caudal y mayores caudales máximos.
- La rugosidad de la superficie también afecta las tasas de escorrentía. La presencia de rocas, vegetación y escombros crean turbulencia, haciendo más lenta la escorrentía y aumentando la infiltración. En contraste, reducir la rugosidad del canal resulta en mayor velocidad del caudal y menor infiltración.

- La densidad de drenaje es una de las características más importantes para evaluar la escorrentía potencial. La densidad de drenaje es la longitud de todos los canales dentro de la cuenca dividida entre el área de la cuenca. Es decir, una cuenca de drenaje con un gran número de tributarios.

1.6.5 ESTIMACIÓN DE UMBRALES

La estimación de los umbrales se realiza mediante métodos estadísticos para encontrar valores atípicos en este caso extremos, correspondientes a caudales extremos dentro de los probables de excedencia obtenidos en el análisis de frecuencias. Para tener una mejor concepción se tomó como referencia una nota técnica para la determinación de umbrales de precipitación¹⁴ emitida por el IDEAM.

En dicha nota se establece un ejemplo utilizando los diagramas de caja en los cuales, los límites se establecen a partir de las observaciones de los datos, el Límite Superior (LS) se establece a partir del cuartil 3 más 1.5 veces la longitud del rango Inter cuartil y el Límite Extremo Superior (LES) a partir del cuartil 3 más 3.0 veces el rango Inter cuartil. Con estos valores y otras medidas de tendencia se establecen los umbrales, como se observa en la ilustración 8.

En la nota se sugieren las siguientes alertas:

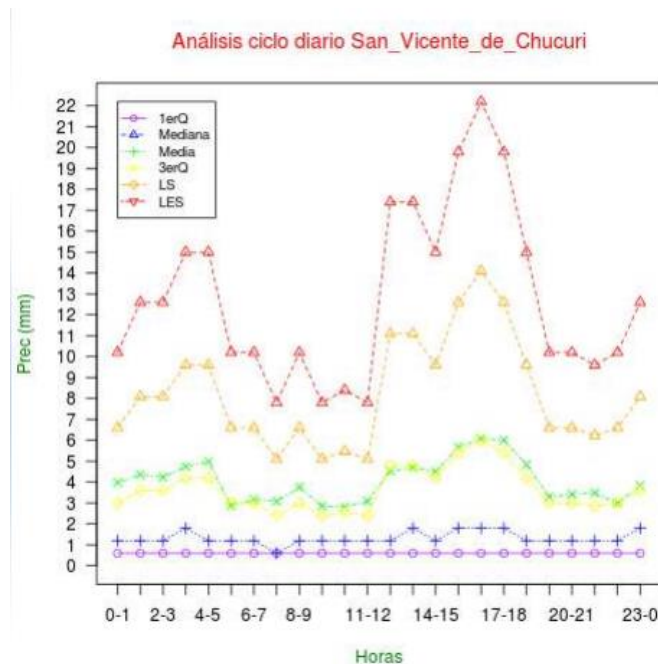
- Alerta Amarilla, todo valor que sea igual o supere el valor medio de la serie pero que no sea mayor que el límite superior (LS).
- Alerta Naranja, todo valor que sea igual o superior al límite superior (LS) e inferior al límite extremo superior (LES).
- Alerta Roja, todo valor que sea igual o superior al límite extremo superior (LES) de la serie.

De esta manera se realiza la estimación de dichos umbrales sin embargo para el presente trabajo los umbrales fueron establecidos directamente por el IDEAM partiendo del análisis de frecuencias generados para cada estación seleccionada.

Los umbrales que se estiman obedecen a un nivel del río, y las proyecciones se realizaron con los caudales, la relación que permite establecer dichos niveles es el conocimiento del área de la sección transversal del río y su velocidad, así el caudal se puede asociar a una altura de la lamina de agua de dicho río.

¹⁴ IDEAM. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). Estimación preliminar de umbrales de precipitación a partir del inicio de la misma para un sistema de alerta temprana. Melo, J.; Ruíz, J. F - Oficina del Servicio de Pronósticos y Alertas – Grupo de Modelamiento de Tiempo y Clima, Subdirección de Meteorología Bogotá: Imprenta Nacional.,2008. p. 18. [en línea] <<http://modelos.ideam.gov.co/media/dynamic/tiempo/otros/nota-tecnica-umbral-de-precipitacion.pdf>> [citado el 20 de octubre de 2017]

Ilustración 9 Resultado del diagrama BoxPlot



Fuente: IDEAM. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). Estimación preliminar de umbrales de precipitación a partir del inicio de la misma para un sistema de alerta temprana. Melo, J.; Ruíz, J. F - Oficina del Servicio de Pronósticos y Alertas – Grupo de Modelamiento de Tiempo y Clima, Subdirección de Meteorología Bogotá: Imprenta Nacional.,2008. p. 20. [en línea] <<http://modelos.ideam.gov.co/media/dynamic/tiempo/otros/nota-tecnica-umbral-de-precipitacion.pdf>> [citado el 20 de octubre de 2017]

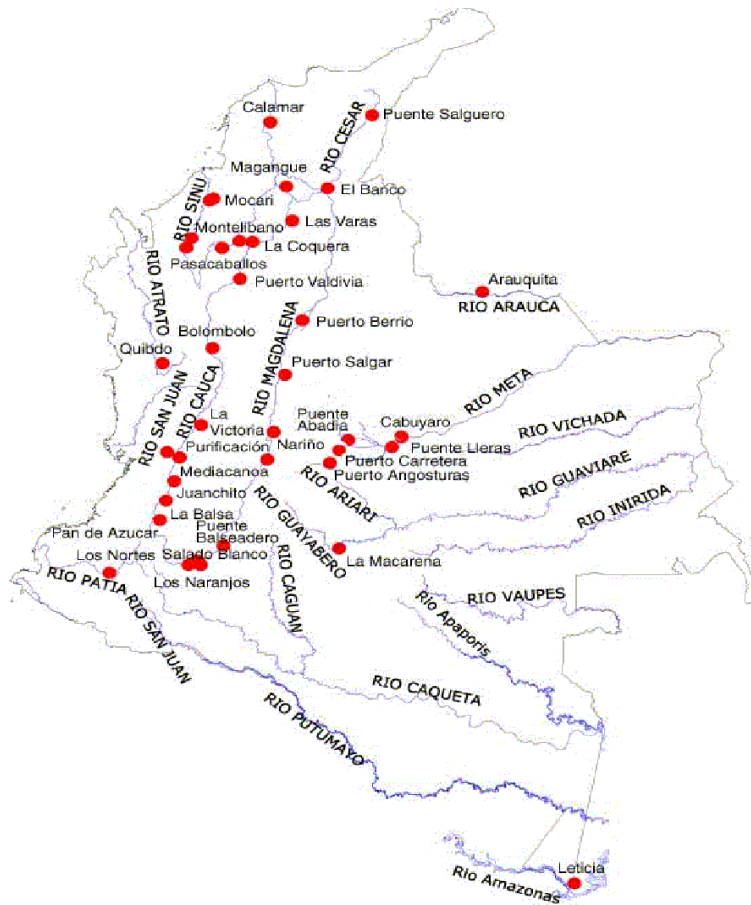
1.6.6 ESTRATEGIAS DE LOS SAT EN COLOMBIA

1.6.6.1 SAT en Colombia. Recuento histórico (comienzo de los SAT en el HIMAT - IDEAM).

- Comenzó a finales de los 70's con la misión canadiense ACDI.
- Creación de la ONAD - DGUPAD Organismos Nacionales de Prevención y Atención de Desastres en 1985.
- En los 90's se implementaron las plataformas automáticas PCBASE2 SUTRON.

En la ilustración 9 se presenta la ubicación general de las estaciones de monitoreo para la generación de los SAT en 1999.

Ilustración 10 Ubicación de la red básica de estaciones para SAT del IDEAM



Fuente: Fidel Alberto Pardo Ojeda. Coordinador de Pronósticos y Alertas (IDEAM, 2013).

1.6.6.2 Diseño de la red

Al comienzo de la red de monitoreo del IDEAM se tuvieron en cuenta las siguientes características:

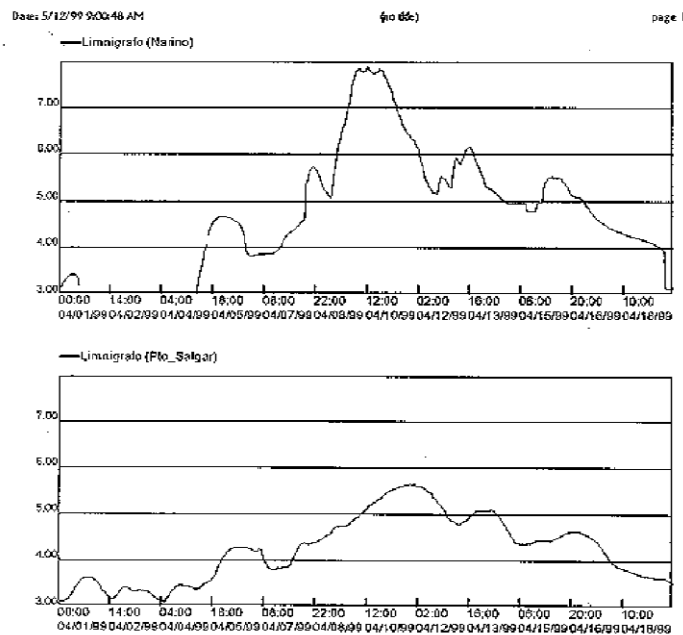
- Red de alertas diseñada para cobertura nacional.
- Las CAR´S Departamentales, Municipales, Empresas del Sector Eléctrico, Empresas Privadas deberían contar con Redes Regionales y Locales
- Como objetivo principal, se tiene que los SAT deben dar aviso oportuno y en tiempo real sobre eventos hidrológicos extremos.
- Se deben involucrar a las siguientes organizaciones: Dirección Nacional de Desastres, Defensa Civil, Cruz Roja, Comités Locales de Emergencia, población civil.

1.6.6.3 Recepción de información

Para la recepción de datos se empleó la siguiente metodología:

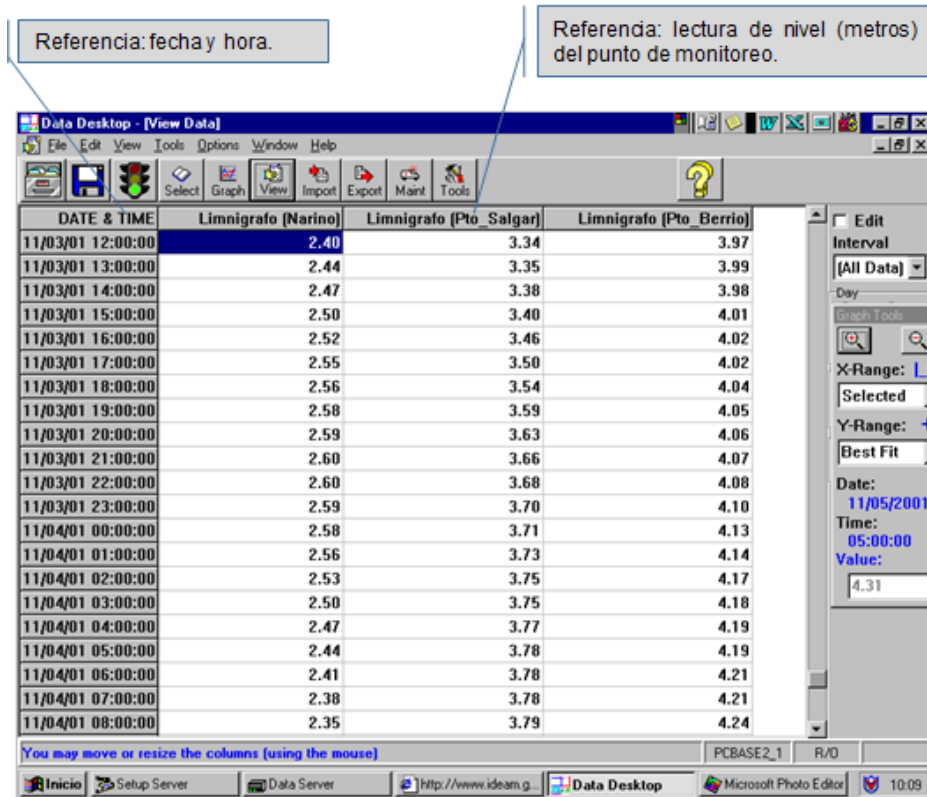
- **PCBASE2 plataformas SUTRON:** la información contenida desde la plataforma (ilustración 11), representa el tipo de información la cual era de tipo cuasi real, esto es, que reporta con *time-lag* (o retraso en el tiempo) aproximado a dos horas.
- **Información numérica:** la información contenida en el archivo de datos generado por cada estación de monitoreo de alertas hidrológicas era de tipo “archivo plano”, la cual se debía convertir en convertir en hojas electrónicas.
- **Información gráfica:** la ilustración 10 se presenta la representación de los niveles variados en función del tiempo.

Ilustración 11 Referencia gráfica de variación de niveles



Fuente: Fidel Alberto Pardo Ojeda. Coordinador de Pronósticos y Alertas (IDEAM, 1999).

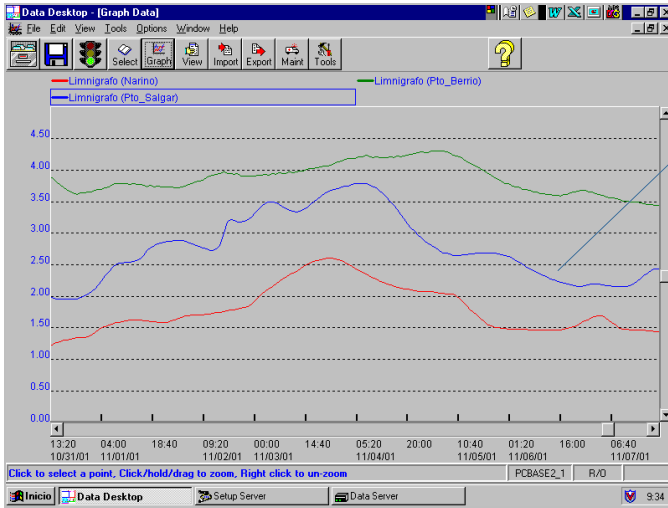
Ilustración 12 Referencia de recepción de datos



Fuente: Fidel Alberto Pardo Ojeda. Coordinador de Pronósticos y Alertas (IDEAM, 1999).

Combinando datos numéricos y salidas gráficas, se emplea la información de estaciones con ubicadas AA y aa de diferentes centros poblados, y de esta manera se determina la potencialidad de la inundación, e igualmente las zonas con alta vulnerabilidad y susceptibilidad de inundaciones. En la ilustración 12 se presenta un ejemplo de superposición de eventos para tres puntos distintos en la cuenca alta del río Magdalena.

Ilustración 12 Superposición de eventos para diferentes puntos de monitoreo



CRECIENTES LENTAS. Se establece la prioridad de monitoreo y de emisión de alertas, de acuerdo con los siguientes parámetros:

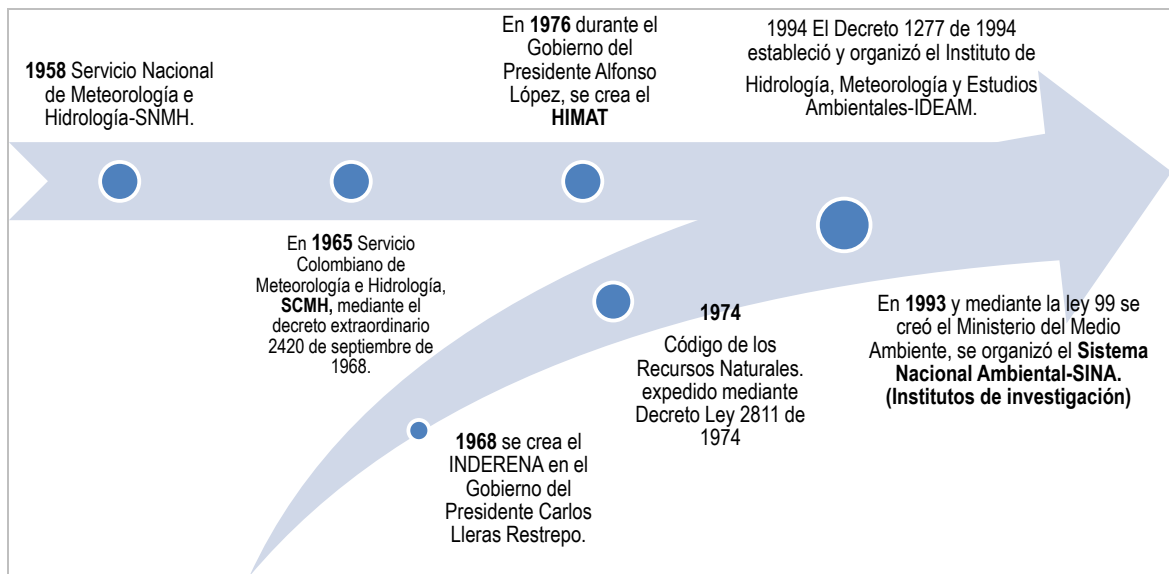
- Los ríos de régimen fluvial fluyen en cauces anchos y con caudales de estiaje permanentes.
- Cuencas extensas, lluvia prolongada y generalizada exceden la capacidad de los cauces produciendo desbordamientos.
- Para crecientes lentas, específicamente: incremento de niveles en centímetros. Tiempos de concentración (horas) y viaje (días).

Fuente: Fidel Alberto Pardo Ojeda. Coordinador de Pronósticos y Alertas (IDEAM, 1999).

1.6.6.4 Evolución de las redes de monitoreo

Con el paso del tiempo y la modernización, hecho ante el cual el HIMAT y posteriormente el IDEAM, siempre atento a estos cambios, se fue modernizando, mostrando su desarrollo en el tiempo un amplio espectro de metodología estándar internacional y la aplicación de tecnologías apropiadas. En la ilustración 13 se presenta el cambio en el tiempo desde el comienzo hasta lo que hoy es el IDEAM.

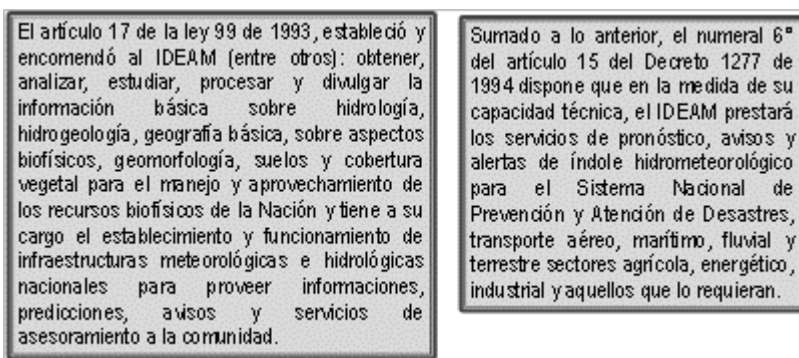
Ilustración 13 Evolución del IDEAM



Fuente: Fidel Alberto Pardo Ojeda. Coordinador de Pronósticos y Alertas (IDEAM, 2016).

Con la creación del Ministerio del Medio Ambiente, producto y acto administrativo contemplado en la reforma constitucional de 1991, se creó el IDEAM cuyas funciones fundamentales se presentan en la ilustración 14.

Ilustración 14 Marco de referencia institucional IDEAM



Fuente: www.ideam.gov.co

Desde su creación el IDEAM se ha enfocado en la modernización de los equipos de trabajo hidrometeorológico, los cuales originalmente eran de tipo convencional (mecanismo semiautomático con alto requerimiento de mantenimiento preventivo y aún más el correctivo) y paulatinamente se han ido modificando por estaciones de monitoreo automático (sistema de datos en tiempo real con bajo requerimiento de mantenimiento preventivo pero alto requerimiento de mantenimiento correctivo). En la ilustración 15 se presenta el cambio y migración de estaciones convencionales a automáticas. Es muy importante anotar, que a pesar de que el IDEAM tiene bastantes estaciones automáticas, ha querido mantener en el mismo sitio y en operación varias estaciones de registro convencional, solamente para efectos de seguimiento, las cuales funcionan como fuente de respaldo de información. En esencia los equipos de registro y monitoreo son los siguientes:

- Equipos de aforo con captura de datos en tiempo real (permite hacer líneas de aforo de hasta 1.56 Km. de ancho de río en 18 minutos).
- Estaciones de monitoreo de ríos (niveles y precipitación en el mismo sitio) con captura de datos de tiempo real y esto es, que reporta con *time-lag* (o retraso en el tiempo) aproximado a 4 minutos (mínimo) hasta 45 minutos (máximo).

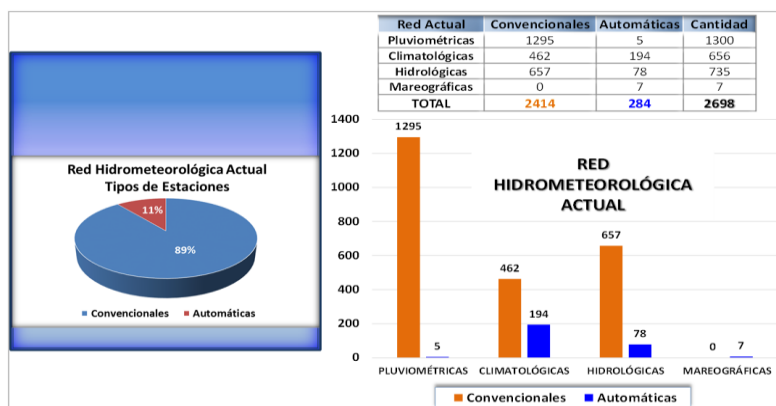
Ilustración 15 Evolución de los tipos de registros para puntos de monitoreo



Fuente: Fidel Alberto Pardo Ojeda. Coordinador de Pronósticos y Alertas (IDEAM, 2016).

Actualmente el IDEAM cuenta con un número importante de estaciones de monitoreo, y próximamente (en menos de un año) instalará tres radares meteorológicos, los cuales aumentarán considerablemente la cobertura en el país, con relación a datos de precipitación y otras variables meteorológicas, las cuales son insumo importante para la emisión de pronósticos y para implementar los SAT (tanto los instalados como los futuros); en la gráfica 1 se presenta el consolidado de estaciones en Colombia.

Gráfica 1 Resumen y consolidado de estaciones del IDEAM involucradas en el SAT. IDEAM



Fuente: Fidel Alberto Pardo Ojeda. Coordinador de Pronósticos y Alertas (IDEAM, 2016).

Al tener mayor cubrimiento sobre amplios sectores del país, es mayor la información hidrometeorológica no solamente transmitida en tiempo real sino igualmente la que debe ser depurada, verificada y publicada. En la ilustración 16 se presenta el consolidado de secuencia, esto es, la manera con la cual se

generan las alertas y sobre lo que se basa la implementación del SAT; el proceso ordenado es el siguiente:

Oportunidad: consiste en emitir toda la información generada en forma veraz, oportuna y eficiente. La premisa es la de salvar vidas.

Cobertura: consiste en tener no solamente más información, sino que su cubrimiento sirva para los tomadores de decisiones se enfoque en las acciones a tomar y sobre la organización de la comunidad, identificando riesgo, vulnerabilidad y mitigación. Generalmente esta información es para trabajar sobre escalas cartográficas en el rango de 1:5,000 hasta 1:20,000. Es el elemento fundamental para procedimientos de enfoques para el POT.

Escala nacional: es el elemento fundamental para procedimientos de enfoques a nivel regional y nacional. Generalmente esta información es para trabajar sobre escalas cartográficas en el rango de 1:25,000 hasta 1:100,000.

Ilustración 16 Referencia para dinámica de trabajo



Fuente: Fidel Alberto Pardo Ojeda. Coordinador de Pronósticos y Alertas (IDEAM, 2011).

1.6.6.5 Actualidad de los sistemas SAT en Colombia:

Actualmente existe un proyecto denominado FEWS-Colombia¹⁵, el cual pretende tener información en tiempo real o cuasi real (time lag's muy cortos) acerca de los niveles de los ríos, cuyo propósito es informar a los interesados ante eventos que puedan provocar crecientes súbitas e inundaciones.

El proyecto está desarrollado en asocio por DELTARES, UNESCO-IHE, DNP, IDEAM, CAR y CVC, e implementado en tres cuencas piloto:

- Cuenca alta del río Cauca hasta La Virginia.
- Cuenca alta del río Bogotá hasta Puente La Virgen.

¹⁵ IDEAM. Plataforma FEWS-Colombia, Sistema de pronósticos y alertas tempranas de Colombia. [en línea]. < <http://fews.ideam.gov.co> > [citado el 25 de octubre de 2017]

- Cuenca media del río Magdalena entre Puerto Salgar y El Barrancabermeja.

Aunque la información recolectada está en tiempo real, carece de verificación por parte de la entidad, es decir que de existir un daño en la estación o en la comunicación, esta arrojará valores en la plataforma que serán representados como alertas amarillas, naranja, roja o niveles inusuales.

La interfaz está abierta a diferentes públicos, pero principalmente para las autoridades de la gestión del riesgo en las diversas poblaciones de las cuencas piloto, en la ilustración 17 se observa la interfaz web del sistema en mención.

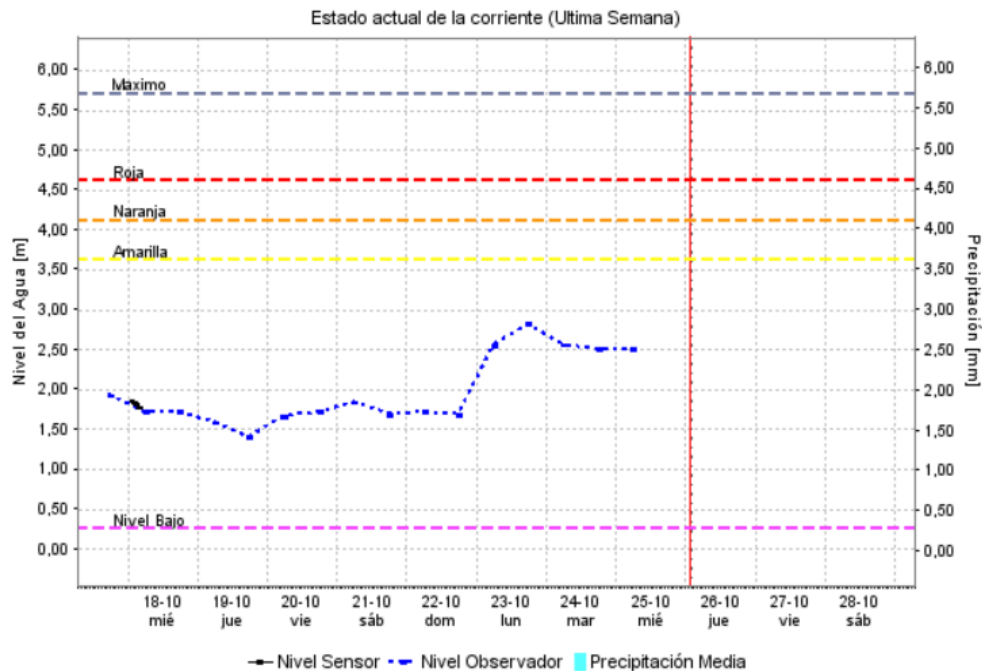
Ilustración 17 Plataforma FEWS-Colombia



Fuente: IDEAM. Plataforma FEWS-Colombia, Sistema de pronósticos y alertas tempranas de Colombia. [en línea]. < <http://fews.ideam.gov.co> > [citado el 25 de octubre de 2017]

En la aplicación se puede acceder a la información de las estaciones como se observa en la ilustración 18.

Ilustración 18 Niveles del río



Fuente: IDEAM. Plataforma FEWS-Colombia, Sistema de pronósticos y alertas tempranas de Colombia. [en línea]. < <http://fews.ideam.gov.co> > [citado el 25 de octubre de 2017].

Para llegar a definir estos límites o umbrales para cada estación es necesario realizar los análisis de frecuencia para cada una de las estaciones involucradas.

1.6.7 Características generales de la zona de estudio

La cuenca hidrográfica del Río Cauca¹⁶ se destaca en el contexto nacional como un lugar estratégico, pues en ella se localizan la industria azucarera, buena parte de la zona cafetera, las zonas de desarrollo minero y agropecuario de Antioquia y el Bajo Cauca, un sector significativo de la industria manufacturera del Occidente colombiano, dos de las ciudades más pobladas del país y tres de las consideradas intermedias, permitiendo contabilizar fácilmente cerca de unos 10'000,000 de habitantes, lo cual representa aproximadamente el 25 % de la población total del país. El Río Cauca, principal afluente del río Magdalena, tiene una longitud de 1,350 Km y una hoya hidrográfica de unos 63,300 Km². Se puede dividir en cuatro tramos: Alto Cauca, Valle del Cauca, Cauca Medio y Bajo Cauca.

¹⁶ Universidad del Valle. Caracterización del río Cauca y sus tributarios., 2003.

Ilustración 19 Cuencas hidrográficas tributarias del río Cauca

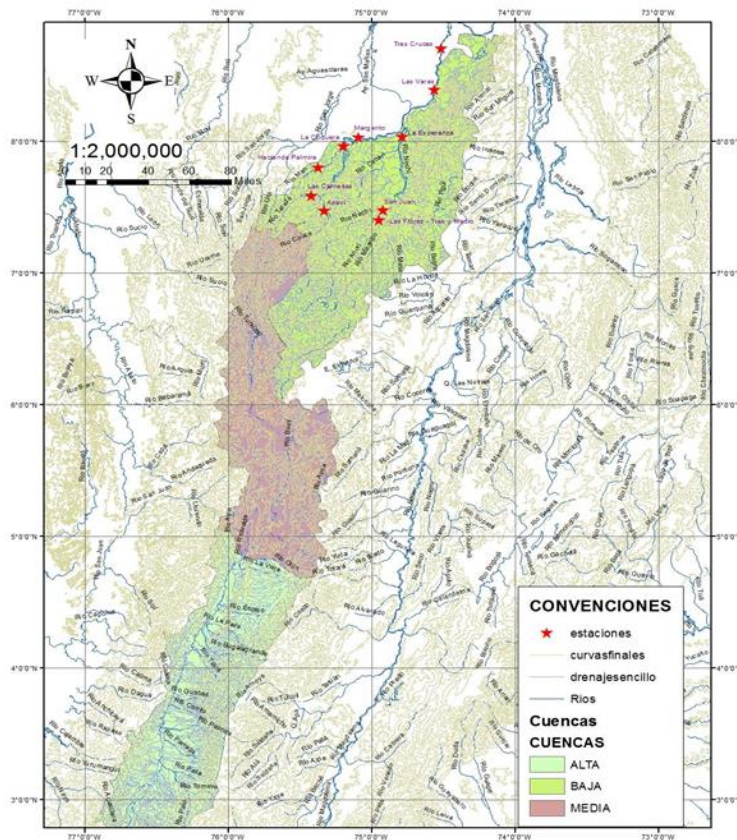
Zona	Area Parcial (Km ²)	Area Acumulada (Km ²)
Alto Cauca	5451	5451
Valle del Cauca	19349	24800
Cauca Medio	19750	44550
Bajo Cauca	18750	63300

Fuente: Caracterización del río Cauca y sus tributarios. Universidad del Valle, 2003.

El tramo correspondiente a la zona del bajo cauca comprende las 10 estaciones en las que se encuentran sectorizadas sobre el río cauca abarcando un área de 22,115 Km² aproximadamente, para el tramo de estudio iniciamos en la estación Apaví, el cual se extiende desde el municipio de Tarazá en el departamento de Antioquia hasta la estación Tres Cruces en el municipio de Achí en el departamento de Bolívar, con una longitud aproximada de 210 km.

La planicie en la que el río discurre en estas estaciones presenta una altura que varía entre 120 y 14 msnm, En el recorrido los afluentes más importantes, son los ríos Nechí, Man y Tarazá.

Ilustración 20 Cuenca básica del río Cauca y estaciones de la cuenca baja



Fuente: autores.

1.6.8 MARCO LEGAL

A nivel nacional la Ley 1523 de 2012 en el Artículo 2º sobre la responsabilidad de la gestión del riesgo, indica que corresponde esta tarea a todas las autoridades y a todos los habitantes del territorio colombiano.

El artículo 17 de la ley 99 de 1993, estableció y encomendó al IDEAM (entre otros): obtener, analizar, estudiar, procesar y divulgar la información básica sobre hidrología, hidrogeología, geografía básica, sobre aspectos biofísicos, geomorfología, suelos y cobertura vegetal para el manejo y aprovechamiento de los recursos biofísicos de la Nación y tiene a su cargo el establecimiento y funcionamiento de infraestructuras meteorológicas e hidrológicas nacionales para proveer informaciones, predicciones, avisos y servicios de asesoramiento a la comunidad.

2 DETERMINACIÓN DE UMBRALES

Para el desarrollo del presente proyecto se debe tener en cuenta que se trata del análisis de información recolectada a través de la historia en los puntos de monitoreo con el fin de establecer tendencias, realizar predicciones de ocurrencia de eventos similares o de mayor impacto. Esta información deriva en umbrales que sirven de guía para informar a la comunidad de posibles casos de inundaciones y sequías, de manera oportuna para evitar afectaciones y tragedias.

Cabe resaltar que a continuación se hará énfasis en una sola de las estaciones de los 10 puntos de monitoreo, con el fin de dar a conocer el tratamiento de los datos para la determinación de los umbrales, procedimiento que se lleva a cabo con cada una de las estaciones para verificar y analizar lo propuesto por el trabajo realizado.

2.1 Estación Las Varas

La información con que se realizan las proyecciones de caudal son los datos históricos recolectados en las estaciones de monitoreo del Río Cauca y sus tributarios principales. Los datos son suministrados por el IDEAM.

2.1.1 Registro de datos para la estación Las Varas.

Correspondiente al caudal en m³/s, los datos obtenidos en esta estación comprenden los 12 meses del año, iniciando en enero y culminado en diciembre respectivamente, de igual forma presenta la información de los años establecidos entre 1965 y 2015. Datos que soportan lo acontecido en un periodo de tiempo extenso, aportando más información para los análisis estadísticos y generando una curva de tendencia y resultados más confiables. Para ver en detalle los datos correspondientes ver el **anexo 1**.

Tabla 3 Registros caudales estación Las Varas

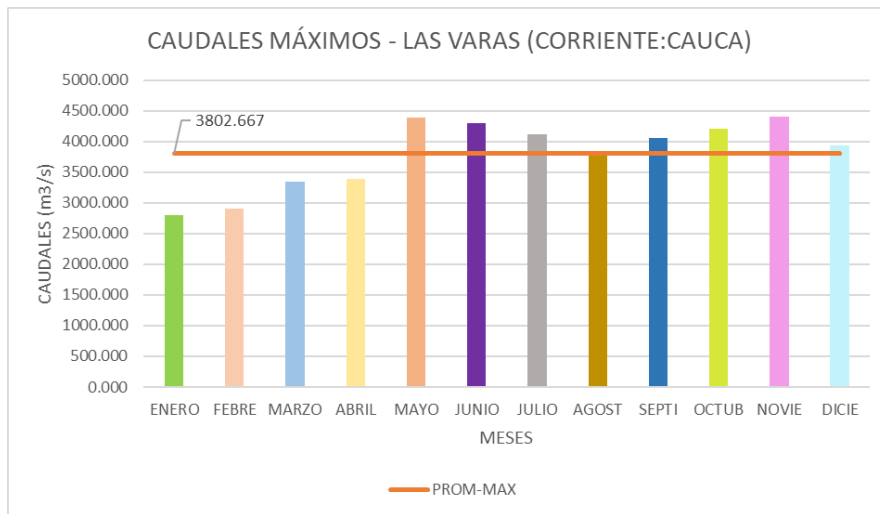
estacion: Varas Las corriente: Cauca												
código: 25027200												
variable: medios mensuales de caudales (m3/s)												
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
1965	1879	1414	1353	1814	3067	2281	2339	2397	2567	3013	3921	3053
1966	1898	1438	1304	1643	2666	3046	2959	2278	2177	2721	3198	3455
1967	1002	715.5	1310	821.3	1196	1684	2140	1954	2289	2232	2295	1507
1968	1668	1356	956.1	1804	2654	2967	2363	2484	2449	3200	2195	2451
1969	1314	1107	931.6	1956	2823	2719	1562	2282	2072	3622	3354	2846
1998	812	843	743	1672	2939	3070	3184	2758	3140	3121	3465	3543
1999	2714	2904	3350	3382	3823	3610	3573	3191	3396	3744	3566	3558
2000	2746	2264	2666	2549	3489	4033	3223	3068	3425	3183	2947	2446
2001	1829	1317	1632	1722	2395	2878	2634	2251	2699	3102	3472	3284
2002	2024	1418	1321	2253	2606	2793	2098	1958	2248	2281	3074	1975
2003	1298	1093	1152	1968	2666	3210	2759	3015	2707	3379	3813	2974
2004	1973	1388	1199 *		2270	2225	2073	2040	2414	2947	3771	2303
2005	1564	1317	1185	2028	3019	3089	2587	2200	2109	2815	2973	2024
2006	1713	1442	1684	2538	3761	3377	1985	2310	2645	2466	2728	1990
2007	1505	878.8	922	2651	3544	3705	2456	3192	3003	3213	3206	2414
2008	1900	1838	2099	2219	3496	3825	3930	3479	3314	3524	3902	3274
2009	2152	1935	1978	2446	2878	2730	1871	1855	1706	1860	2851	1762
2010	1128	799.5	1101	1818	2916	3447	4121	3680	3263	2816	3214	2833
2015	1215	1160	972.7	1667	1711	2214	1752	1952	1858	1864	2252	1357
MEDIO	1695	1409	1438	1886	2731	2859	2544	2514	2665	3058	3236	2521
MAXIM	2797	2904	3350	3382	4385	4292	4121	3812	4058	4202	4396	3933
MINIM	812	715.5	645.2	821.3	1196	1684	1562	1685	1570	1860	2117	1357

Fuente: Banco de datos IDEAM

De cada tabla se establecen los máximos y mínimos caudales para los años en que se encuentren registros. En este caso los máximos caudales determinaran los umbrales de inundación y los mínimos los umbrales de sequía.

Además de esta tabla de datos se grafican histogramas de caudales máximos y mínimos como los siguientes:

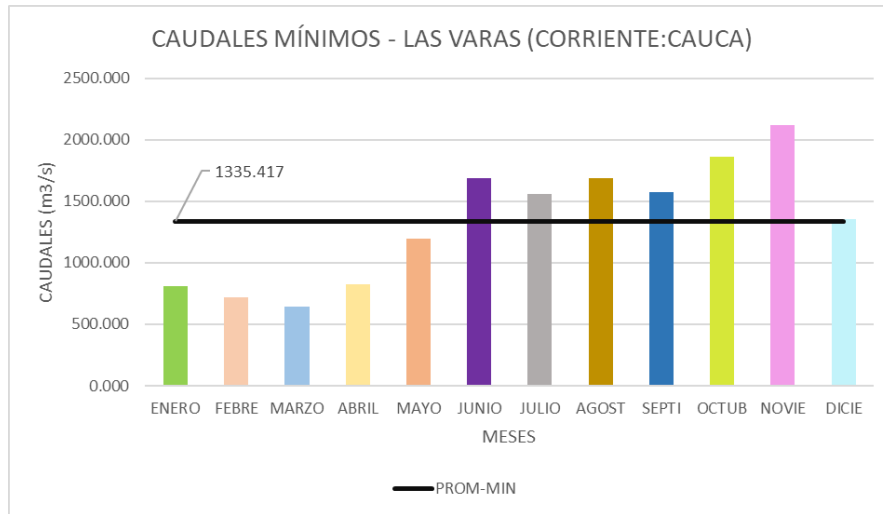
Gráfica 2 Caudales Máximos Las Varas



Fuente: Autores

Por medio del histograma se puede encontrar una bi-modalidad en los máximos de los caudales, lo que refleja mayores lluvias entre los meses de mayo a junio y de octubre a noviembre, en estas épocas es en las cuales se debe contar con el adecuado mantenimiento de las redes de alcantarillado, se debe contar con el buen estado de los equipos meteorológicos encargados de sensar los niveles de los ríos y del optimo estado de los canales de comunicación de alertas. Todos estos preparativos hacen parte de la efectividad de la operación de los SAT.

Gráfica 3 Caudales Mínimos Las Varas



Fuente: Autores

El histograma de los registros mínimos también sirve para prepararse ante eventos de sequía como el que se evidencia en los meses de enero a abril, estas sequias generan que las bocatomas queden por debajo de los niveles del rio en esas épocas y causan racionamiento del servicio de suministro de agua, también se utilizan para restringir la navegación de embarcaciones de gran calado, con el fin de prevenir accidentes y desabastecimiento del recurso. Los histogramas de cada una de las estaciones se encuentran en el **anexo 1** de este trabajo.

2.1.2 Procesamiento de los datos:

El software utilizado (modelo *HYFA*), permite la determinación exacta de diferentes variables estadísticas de generación de caudales en función de períodos de recurrencia (o retorno); es de gran utilidad por considerarse como una normatividad en protocolos ISO (9000 a 9002) y que además se ajustan a estándares de control de calidad según lo exige la Organización Meteorológica Mundial. Como software de análisis alterno y comparativo se empleó el software *SMADA*, el cual permite también la evaluación de caudales proyectados, con una precisión ligeramente inferior.

Estas series mensuales de máximos y mínimos se proyectan por medio de software para diferentes periodos de retorno, en nuestro caso los periodos de retorno escogidos son 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años.

El procesamiento mediante el software *HYFA* tiene dos métodos:

- Método de los máximos momentos (MM)
- Método de la máxima verosimilitud (MV)

El procesamiento mediante el software SMADA tiene un único método.

Dentro del tipo de distribución probabilística que se utiliza para modelar la probabilidad de ocurrencia de este tipo de eventos se usa la distribución Gumbel, debido a que este método realiza una proyección extrema que corresponde a la ocurrencia de eventos extremos o que superan los máximos registrados, lo cual es lo común en estos eventos hidrometeorológicos.

2.1.2.1 Resultados para los datos procesados por software HYFA.

Para los máximos caudales de la estación Las Varas se obtienen los siguientes resultados en los periodos de retorno ya mencionados:

Tabla 4: Método de los momentos caudal máximo para estación Las Varas

---method of moments---							
Return per. Years (T=1/p)	Probab. Exc. (p)	Probab. Non.Exc. (1-p)	Est. value X T	St.Error ----- S T	Conf. lim. of Est. lower-----upper (X -t.S) (X +t.S)		
					T	T	T
1.01010	.990	.010	2880.539	234.635	2334.276		3426.802
1.02564	.975	.025	2977.759	211.360	2485.683		3469.834
1.05263	.950	.050	3068.964	191.076	2624.114		3513.815
1.11111	.900	.100	3184.281	168.440	2792.129		3576.432
1.25000	.800	.200	3341.223	145.647	3002.135		3680.311
2.00000	.500	.500	3710.366	148.919	3363.662		4057.071
5.00000	.200	.800	4207.041	250.785	3623.179		4790.902
10.00000	.100	.900	4535.882	338.725	3747.283		5324.481
20.00000	.050	.950	4851.315	427.892	3855.123		5847.507
25.00000	.040	.960	4951.375	456.712	3888.084		6014.665
50.00000	.020	.980	5259.610	546.497	3987.288		6531.932
100.00000	.010	.990	5565.570	636.627	4083.414		7047.726
alpha = .22820E-02				u = .35498E+04			
---maximum likelihood---							
REMARK : MAX.LIKELIHOOD DOES NOT CONVERGE IN ALPHA							

Fuente: Autores

Uno de los resultados se interpreta como: *para un periodo de retorno de 5 años, existe la probabilidad debido a las tendencias analizadas, que el caudal máximo para ese año este cercano a los 4207 m³/s.*

De manera similar se realiza para los caudales mínimos del río.

Tabla 5 Método de los momentos caudal mínimo para estación Las Varas

---method of moments---							
Return per. Years (T=1/p)	Probab. Exc. (p)	Probab. Non.Exc. (1-p)	Est. value X T	St.Error ----- S T	Conf. lim. of Est.		
					lower-----	-----upper	
					(X -t.S) T T	(X +t.S) T T	
1.01010	.990	.010	529.336	205.107	51.818	1006.853	
1.02564	.975	.025	614.320	184.761	184.170	1044.470	
1.05263	.950	.050	694.048	167.029	305.180	1082.916	
1.11111	.900	.100	794.852	147.242	452.052	1137.653	
1.25000	.800	.200	932.044	127.318	635.629	1228.459	
2.00000	.500	.500	1254.732	130.178	951.659	1557.805	
5.00000	.200	.800	1688.901	219.224	1178.517	2199.286	
10.00000	.100	.900	1976.359	296.098	1287.003	2665.716	
20.00000	.050	.950	2252.096	374.043	1381.271	3122.921	
25.00000	.040	.960	2339.563	399.237	1410.085	3269.042	
50.00000	.020	.980	2609.009	477.723	1496.804	3721.214	
100.00000	.010	.990	2876.465	556.509	1580.833	4172.097	
alpha = .26105E-02				u = .11143E+04			

Fuente: Autores

Para ver en detalle cada uno de los resultados obtenidos en las estaciones correspondientes ver **anexo 2** del presente trabajo.

2.1.2.2 Resultados para los datos procesados por software SMADA.

De forma similar los resultados del programa SMADA son los siguientes:

Tabla 6 Caudales máximos SMADA estación Las Varas

----- Predictions -----			
Exceedence Probability	Return Period	Calculated Value	Standard Deviation
0.9950	200.0	6588.4700	906.4916
0.9900	100.0	6184.0770	791.2093
0.9800	50.0	5778.2030	676.0074
0.9500	20.0	5236.5730	523.6327
0.9000	10.0	4818.1330	407.9816
0.8000	5.0	4381.9050	291.8836
0.6670	3.0	4035.4540	207.9949
0.5000	2.0	3723.0360	150.3348

Fuente: Autores

Uno de los resultados se leería como: *para un periodo de retorno de 5 años, existe la probabilidad debido a las tendencias analizadas, que el caudal máximo para ese año este cercano a los 4381 m³/s.*

Y para el caudal mínimo se tiene:

Tabla 7 Caudales mínimos SMADA estación Las Varas

Predictions			
Exceedence Probability	Return Period	Calculated Value	Standard Deviation
0.9950	200.0	3770.6370	792.4129
0.9900	100.0	3417.1350	691.6384
0.9800	50.0	3062.3380	590.9343
0.9500	20.0	2588.8710	457.7354
0.9000	10.0	2223.0900	356.6385
0.8000	5.0	1841.7600	255.1511
0.6670	3.0	1538.9090	181.8195
0.5000	2.0	1265.8080	131.4157

Fuente: Autores

Para ver en detalle cada uno de los resultados obtenidos en las estaciones correspondientes ver **anexo 3** del presente trabajo.

2.1.3 Comparación de los resultados, cálculo del error y umbrales.

Tabla 8 Caudales máximos y umbrales de inundación estación Las Varas

ESTACIÓN 1							
estación de monitoreo		corriente		variable analizada		serie histórica analizada	
LAS VARAS				CAUDAL (m³/S)			
T _R (años)	DATOS ANALITICOS			COMPARACIÓN		COTAS DE REFERENCIA PARA GENERACIÓN DE ALERTAS (m)	
	PROTOCOLO			ERROR RELATIVO DE EVALUACIÓN			
	HYFA		SMADA	HYFA			
	MM	MV	ÚNICO	MM	MV		
	Q (m³/S)	Q (m³/S)	Q (m³/S)	(%)	(%)	MÍNIMOS	MÁXIMOS
2	3,710.366	N.C	3,723.036	-0.341	#¡VALOR!		98.00
5	4,207.041	N.C	4,381.905	-4.156	#¡VALOR!		
10	4,535.882	N.C	4,818.133	-6.223	#¡VALOR!		99.04
20	4,851.315	N.C	5,236.573	-7.941	#¡VALOR!		101.15
50	5,259.610	N.C	5,778.203	-9.860	#¡VALOR!		
100	5,565.570	N.C	6,184.470	-11.120	#¡VALOR!		
N.C= NO CONVERGE							

Fuente: Autores

Tabla 9 Caudales mínimos y umbrales de sequía estación Las Varas

ESTACIÓN 1							
estación de monitoreo		corriente		variable analizada		serie histórica analizada	
LAS VARAS				CAUDAL (m³/S)			
T _R (años)	DATOS ANALITICOS			COMPARACIÓN		COTAS DE REFERENCIA PARA GENERACIÓN DE ALERTAS (m)	
	PROTOCOLO			ERROR RELATIVO DE EVALUACIÓN			
	HYFA		SMADA				
	MM	MV	ÚNICO	HYFA			
Q (m³/S)	Q (m³/S)	Q (m³/S)	MM (%)	MV (%)	MÍNIMOS	MÁXIMOS	
2	1,254.732	1,255.765	1,265.808	-0.883	-0.800	95.00	
5	1,688.901	1,740.369	1,841.760	-9.051	-5.826	94.00	
10	1,976.359	2,061.219	2,223.090	-12.484	-7.853	93.87	
20	2,252.096	2,368.986	2,588.871	-14.954	-9.282		
50	2,609.009	2,767.358	3,062.338	-17.376	-10.659		
100	2,876.465	3,065.883	3,417.135	-18.796	-11.457		

Fuente: Autores

En la tabla 8 y 9 se observan los datos de origen estadístico, de los diferentes modelos de procesamiento, por un lado, el MM y por otro el de la MV, se hace la comparación de los datos con el modelo SMADA y se determina que se tenga un límite de confiabilidad del 95%; para ello es que se determina el rango de validez (RV), que corresponde a los períodos de retorno en años presentados en cada tabla correspondiente. Los datos correspondientes al cálculo del error relativo y las cotas de referencia para generación de alertas en cada una de las estaciones se ven reflejadas en los **anexos 4 y 5** del presente proyecto.

Se hace una comparación para hallar el error relativo de evaluación de los datos, dicho error está calculado por medio de la siguiente expresión:

$$Error(\%) = \left[\frac{HYFA(\text{metodo de los momentos}) - SMADA}{HYFA(\text{metodo de los momentos})} \right] * 100$$

Del mismo modo para el método de la máxima verosimilitud

$$Error(\%) = \left[\frac{HYFA(\text{metodo de la máxima verosimilitud}) - SMADA}{HYFA(\text{metodo de la maxima verosimilitud})} \right] * 100$$

2.1.4 Determinación del Umbral.

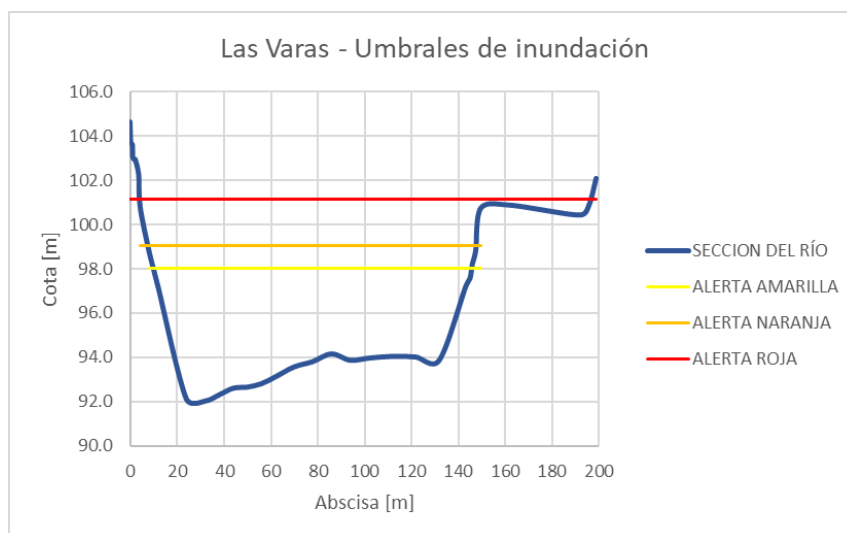
Cada estación de monitoreo cuando se instala se hace su emplazamiento con unas cotas (reales o arbitrarias) sobre las cuales en su sección transversal se indican las cotas que generaría alertas (tanto para inundaciones como para desabastecimiento). Con los caudales obtenidos, los cuales se referencian con los niveles; se proyectan para diferentes períodos de retorno, ya que a menor período de retorno se presenta menor caudal (y por lo tanto menor nivel), y cuando

incrementa el caudal, obviamente se incrementan los niveles. Ésta es la metodología que se llama de balance, con la cual se identifican estos procesos. Adicionalmente y aunque no se analizó, se observa que en época de lluvias los niveles se incrementan, y en época de estiaje se incrementan las sequías. Los anteriores procesos también se ven asociados con los fenómenos de variabilidad climática, como son El Niño y La Niña.

Graficas de los umbrales

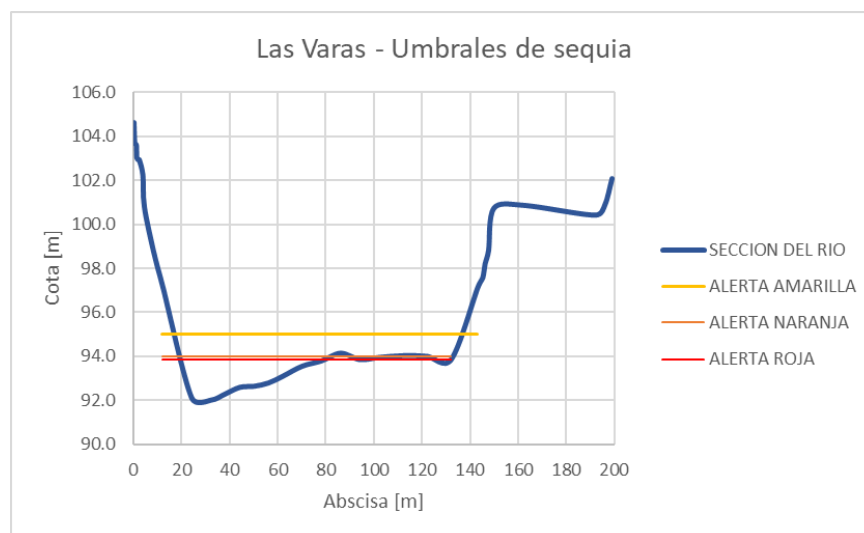
Con los datos de la sección transversal, se dibuja la sección del río y se ubican los umbrales.

Gráfica 4 Umbrales de Inundación Las Varas



Fuente: Autores

Gráfica 5 Umbrales de Sequía Las Varas



Fuente: Autores

En las gráficas 8 y 9 se observan los umbrales de la estación las Varas donde se identifica los valores correspondientes a las cotas de referencia para la determinación de las alertas, con estos datos se recomendará la implementación de un SAT, el cual al tener referidos los rangos de los umbrales, permita determinar en qué caso serían superados para inundaciones o en qué caso se presentarán niveles muy bajos los cuales podrían generar desabastecimientos para los acueductos.

Los gráficos de umbrales son realizados en cada una de las estaciones de monitoreo, donde la información de la sección del río en cada uno de los puntos es suministrada por el IDEAM (cotas y abscisa), sobre estas secciones y con los datos suministrados correspondientes a los umbrales, se generan las cotas de referencia para la generación de las alertas, en las que podemos identificar las alertas: amarilla, naranja y roja. Para la verificación de los umbrales obtenidos en cada estación de este proyecto ver **anexo 4 y 5**.

2.1.5 Determinación del tiempo de recorrido de la ola.

El tiempo de viaje según la metodología propuesta corresponde al cálculo de t (en horas) en función de la velocidad (W); a mayor pendiente se obtendrá mayor velocidad y por lo tanto menor tiempo de viaje. La idea del SAT es que de un aviso oportuno con el fin de que se tomen las medidas de ayuda y socorro.

$$t(\text{horas}) = \frac{\text{Espacio (s)}}{\text{Velocidad (W)}}$$

Los tiempos de viaje sirven para alertar aguas abajo con la presencia de la crecida; éstos no corresponden necesariamente a una población, ya que son zonas rurales, y aunque son de gran importancia no causaría mayor afectación; cuando se encuentra un centro poblado la afectación es mayor.

Se empleó la metodología recomendada por el estudio IDEAM-JICA, el cual se basa en la ecuación de Rzhiha (fórmula de Rzhiha presentada en la siguiente figura 22), en la cual H es la altura de referencia (metros) desde la cual se evaluará el tránsito de la onda de crecida y L (en metros) es la longitud del tránsito del sector. Con lo cual se obtiene la velocidad de paso (metros/segundo, m/S).

Ilustración 21 Metodología recomendada por el IDEAM para determinar los tiempos de tránsito de onda de crecidas

Cálculo de velocidad de propagación de olas de inundación con fórmula empírica

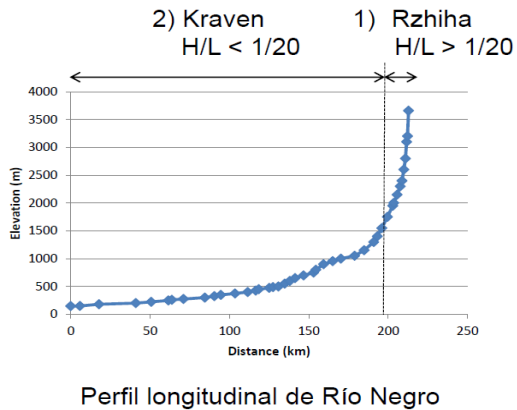
Fórmula empírica para calcular W : velocidad de propagación de olas de inundación

- 1) Fórmula Rzhiha
(en caso de $H/L > 1/20$)

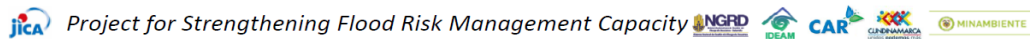
$$W = 20 \left(\frac{H}{L} \right)^{0.6} \text{ (m/s)}$$

- 2) Fórmula Kraven
(en caso de $H/L < 1/20$)

H/L	W (m/s)
>1/100	3.5
1/100 ~ 1/200	3.0
<1/200	2.1



5



Fuente: Proyecto IDEAM – JICA.

Para la estación Las Varas se calculó un tiempo de recorrido de **1.83 horas** al lugar de mayor afectación aguas abajo.

Tabla 10 Tiempo de recorrido estación Las Varas

RÍO CAUCA - CUENCA BAJA						
CUENCA BAJA		H (m)	L (m)	W (m/S)	S (m)	T (horas)
ESTACIÓN	CORRIENTE			AA		
Las Varas	Río Cauca	58.01	4,367.98	1.496	9,879.54	1.83

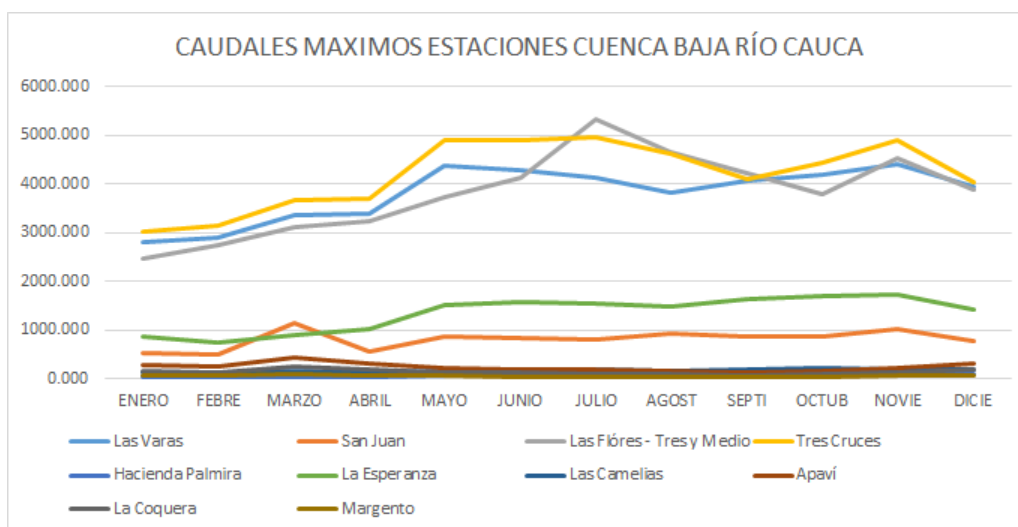
Fuente: Autores.

El lugar de afectación para la estación Las Varas corresponde al pueblo llamado Caimital el cual se encuentra en una distancia correspondiente a 4.4 km aproximadamente de dicha estación, por medio de los datos obtenidos se establece el tiempo de reacción para ejecutar la estrategia de aviso más conveniente.

Las otras nueve estaciones se analizaron de la misma forma y la información se puede encontrar en el **anexo 6**.

A continuación, se encuentran las gráficas y cuadros resumen de las estaciones analizadas.

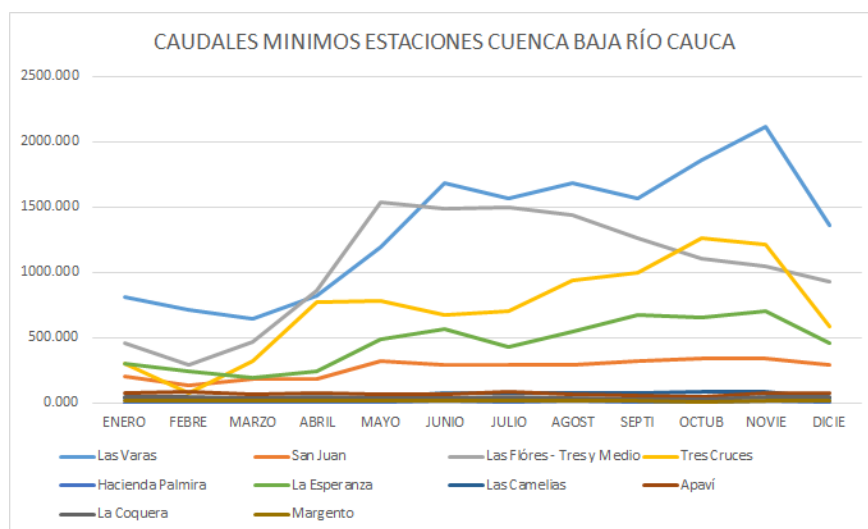
Gráfica 6 Caudales Máximos de las estaciones Analizadas para la Cuenca Baja del Río Cauca



Fuente: Autores

En general los datos calculados y representados en la gráfica 4, permiten visualizar y entender el comportamiento que tiene cada punto de estudio para determinar la información referente a las crecientes que se puedan presentar en los diferentes meses, siguiendo una tendencia que es constantemente actualizada año tras año por las diferentes estaciones, se observa que en la cuenca baja del río cauca en los diferentes años de datos recolectados, presenta mayor época de lluvia en los meses de Mayo, Julio y Noviembre, es decir que en estos meses se pueden presentar con gran probabilidad problemas relacionados con fuertes lluvias.

Gráfica 7 Caudales Mínimos de las estaciones Analizadas para la Cuenca Baja del Río Cauca



Fuente: Autores

En lo referente a los caudales mínimos que presentan los puntos de monitoreo para las diferentes estaciones de trabajo, se determina en la gráfica 5, que los eventos de sequía notables están dados en el mes de febrero en general, pero algunas de las estaciones están limitadas debido al constante nivel bajo de los caudales durante todo el año, y de estos dependen las poblaciones para el abastecimiento y en ocasiones el transporte por los afluentes cercanos a las zonas de estudio.

Tabla 11 Presentación de datos analizados para estaciones de trabajo

DATOS SUMINISTRADOS POR EL IDEAM					DATOS PROCESADOS Y ANALITICOS							
N°	ESTACIÓN	H (m)	L (m)	W (m/S)	COTAS DE REFERENCIA PARA GENERACIÓN DE ALERTAS (m) UMBRALES DE SEQUIA			COTAS DE REFERENCIA PARA GENERACIÓN DE ALERTAS (m) UMBRALES DE INUNDACIÓN			TIEMPOS DE REACCIÓN MÁXIMOS O TIEMPOS DE VIAJE DE LA ONDA DE CRECIDA	
					ALERTA AMARILLA	ALERTA NARANJA	ALERTA ROJA	ALERTA AMARILLA	ALERTA NARANJA	ALERTA ROJA	S (m)	T (horas)
					TR(AÑOS)=2	TR(AÑOS)=5	TR(AÑOS)=10	TR(AÑOS)=2	TR(AÑOS)=10	TR(AÑOS)=20		
1	Las Varas	58.012	4,367.975	1.496	95.00	94.00	93.87	98.00	99.04	101.15	9879.54	1.83
2	San Juan	101.976	3,987.090	2.217	95.00	94.10	93.50	98.00	99.57	100.21	16987.79	2.13
3	Las Flores - Tres y Medio	96.087	8,978.157	1.314	86.00	85.54	84.00	87.00	88.00	90.15	10987.97	2.32
4	Tres Cruces	94.978	7,939.067	1.405	1,206.50	1,206.00	1,205.40	1,206.00	1,207.00	1,208.12	18979.01	3.75
5	Hacienda Palmira	101.008	3,978.127	2.207	1,273.00	1,272.80	1,272.50	1,274.00	1,275.10	1,276.00	23079.21	2.90
6	La Esperanza	89.079	5,979.018	1.603	1,506.00	1,505.00	1,504.38	1,507.00	1,508.00	1,509.00	19297.69	3.34
7	Las Camelias	99.069	4,159.087	2.124	1,067.00	1,066.82	1,066.50	1,068.00	1,068.50	1,069.00	28978.01	3.79
8	Apavi	87.079	5,649.017	1.64	1,088.78	1,087.90	1,087.21	1,089.00	1,090.00	1,090.38	98979.17	16.81
9	La Coquera	78.067	8,897.017	1.17	905.24	904.86	904.00	905.00	906.80	907.12	11297.87	2.69
10	Margento	79.097	9,876.017	1.10	1,850.70	1,850.60	1,849.60	1,851.00	1,851.82	1,852.00	30000.00	7.54

Fuente: Autores

El proceso de la información del trabajo, conduce a obtener datos de referencia que permiten analizar y cuantificar cada situación de probabilidad que puede presentarse conforme a las proyecciones que se decidan por analizar, en nuestro caso las 10 estaciones de monitoreo con información primordial, permiten dar una aproximación a los posibles sucesos que relacionan cada uno de los criterios por evaluar, en el caso del trabajo realizado la tabla 11 identifica los periodos de retorno correspondientes para el análisis de los umbrales de sequía y umbrales de inundación, que permiten identificar las alertas en cada zona específica cuando en ocasiones se presentan periodos de lluvias intensas o por el contrario sequía que conlleva a dificultades propias de cada situación. De igual manera se ve identificado los datos correspondientes a los tiempos de reacción que permiten

con la generación de las alertas, el actuar de forma debida para que no se presenten dificultades graves en las poblaciones que se encuentren muy cerca de los cauces.

3 CONCLUSIONES

Del análisis de la información conceptual, de los estudios abordados como referencia para la elaboración del presente trabajo se puede concluir que los países mas afectados con este tipo de sucesos naturales son los que se encuentran en vías de desarrollo, debido a que los costos que generan la atención y recuperación del desastre llega a estar entre la decima parte de su PIB, generando mayor atraso frente a Naciones que implementan SAT y planes de gestión de riesgo con el fin de prevenir estos acontecimientos.

Como resultado del presente trabajo se obtuvieron los niveles de referencia, también denominados umbrales para los periodos de lluvias intensas los cuales generan mayor probabilidad de crecientes súbitas y desbordamientos de los cauces, de igual forma se determinaron los umbrales para los periodos de estiaje en las diez estaciones distribuidas en la cuenca baja del Río Cauca. Estos resultados se encuentran evidenciados a manera de resumen en la tabla 11.

Los resultados de los tiempos estimados de recorrido de la onda, desde el momento en el cual se genera hasta cuándo encuentra el principal punto de afectación, se denomina tiempo de tránsito y se encuentran en la tabla 11, este parámetro indica la duración o lapso en el cual se presentaría la crecida, expresado en horas; dicho lapso debe ser previsto y sobredimensionado apropiadamente por los tomadores de decisiones, quienes deben dar aviso de evacuación.

En general se evidencia para los 10 puntos de monitoreo que el tiempo de reacción más crítico se encuentra en 1.83 horas, este tiempo puede ser demasiado corto si no se cuenta con la tecnología adecuada para difundir la alerta, puesto que a este tiempo se le deben restar factores como la propagación de la señal, la evaluación de la situación, el tiempo de toma de decisión de las unidades de gestión del riesgo y el tiempo de reacción de los habitantes. De este análisis se deriva la importancia en los planes de contingencia, el conocimiento del riesgo en las zonas de alto impacto y la necesidad de realizar simulacros, para estar preparados ante la adversidad.

4 RECOMENDACIONES

Los umbrales y tiempos de gestión del riesgo determinados son parte vital para la implementación de un SAT, más no son el SAT en su totalidad, como se explicó en el desarrollo del documento, para complementar su utilidad los gobiernos nacional y local deben trabajar en la conformación de las unidades de la gestión del riesgo para las poblaciones en riesgo de la cuenca baja del río Cauca, aportando los medios de divulgación de la información y los planes de gestión ante eventos como lo son las inundaciones y las sequías.

Uno de los mayores problemas en la implementación de los SAT es la divulgación de las alarmas, sin embargo, en la actualidad existen redes celulares y satelitales que cubren gran parte del territorio colombiano y que deben ser aprovechadas por el gobierno para la difusión de las alertas en las ciudades y casos que sean necesarios.

El gobierno actual y los venideros deben apostarle a la prevención de los riesgos más que a la reparación de los daños por la falta de gestión del riesgo, por ello es importante invertir en infraestructura de monitoreo en los ríos de Colombia o por lo menos los que representen mayor riesgo, así como apostar por la creación de cuerpos competentes que diseñen y ejecuten los SAT de manera efectiva.

El Sistema de Información Nacional Ambiental (SINA), debe ser actualizado permanentemente por las diferentes entidades que operan la red hidrometeorológica del país, con el fin de mejorar la experiencia del usuario, de tal forma que pueda acceder a información completa y confiable en el momento de ser consultada. Para cumplir con este propósito, se hace necesario involucrar más elementos de confrontación, verificación, confirmación y validación de datos dentro del sistema encargado de manejar la información hidrometeorológica en el IDEAM.

- Es necesario instalar puestos de monitoreo hidrológicos de alta tecnología en las cuencas del territorio nacional con el fin de implementar sistemas de alerta temprana (SAT).
- Es ineludible la obligación con la comunidad de mantenerlos informados acerca del comportamiento cíclico que tienen los cuerpos hídricos que colindan con sus hogares, por esto se recomienda mantener la recolección de datos históricos de manera constate.
- Crear un sistema de atención a desastres para los eventos que se pueden determinar estadísticamente, de esta forma, dar aviso lo más pronto posible a las autoridades y tomar las medidas pertinentes.

5 BIBLIOGRAFÍA

Muñoz, Hernán. Jiménez, Henry. (1986). HIDROLOGÍA BÁSICA. Cali: Universidad del Valle.

Linsley, Koller, Paulus. (1977). HIDROLOGÍA PARA INGENIEROS. Bogotá: Editorial Mc Graw Hill segunda edición.

Monsalve, Germán. (2000). HIDROLOGÍA EN INGENIERÍA. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Ven Te Chow, David R. Maidment y Larry W. Mays. (1994). HIDROLOGÍA APLICADA PARA INGENIEROS. Editorial Mc Graw Hill

Torres, Andrés Eduardo. (2004). APUNTES DE CLASE SOBRE HIDROLOGÍA URBANA. Bogotá. Javegraf.

Banco de datos del IDEAM.

International Federation of Red Cross. (2008). Sistemas de alerta temprana de inundaciones en cuencas menores. Centro Regional de Referencia en Educación Comunitaria. Costa Rica.

International Federation of Red Cross. (2012). Sistemas comunitarios de alerta temprana: Principios rectores. Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja. Costa Rica. Ministerio de Educación. (2011).

Manual sistemas de alerta temprana: 10 preguntas, 10 respuestas. Panamá.

Apuntes de Hidrología General. F. A. Pardo Ojeda. HIMAT, 1992
Guía de Referencia para Sistemas de Alerta Temprana de Inundaciones Repentinas Servicio Nacional de Meteorología (National Weather Service, NWS) de EE. UU. (Flash Flood Early Warning Systems Reference Guide).

Guía para la Implementación de Sistemas de Alerta Temprana. Caja de herramientas. Subdirección para el Manejo de Desastres. Colombia.

Tercera Conferencia Internacional sobre Alerta Temprana (EWC III), organizada por el Gobierno Alemán bajo los auspicios de Naciones Unidas del 27 al 29 de marzo de 2006 en Bonn, Alemania.

Sistemas de Alerta Temprana. Fotografía Actual y Retos Futuros. Jacobo Ocharan. Especialista en Gestión de Riesgos. Oxfam América.

National Oceanic and Atmospheric Administration. (2012). Guía de referencia para sistemas de alerta temprana de crecidas repentinas. University Corporation for Atmospheric Research. Estados Unidos.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2015). Guía para la Implementación de Sistemas de Alerta Temprana. Caja de herramientas. Subdirección para el Manejo de Desastres. Colombia.

United Nations International Strategy for Disaster Reduction. (2015). Marco de acción de Sendai. Japón.

United Nations International Strategy for Disaster Reduction. (2006). Desarrollo de Sistemas de Alerta Temprana: Lista de comprobación. Tercera conferencia internacional sobre Alerta Temprana. Alemania.

ISDR. EWC III. Tercera Conferencia Internacional sobre Alerta Temprana. Desarrollo de Sistemas de Alerta temprana, 2006.

NOAA (National Weather Service International Activities Office) - COMET. Guía de referencia para sistemas de alerta temprana de crecidas repentinas. 2012.

USAID CARE – INDECI. Análisis, lecciones aprendidas y propuestas para la implementación de los SATMC en el Perú. Lima, junio 2013.

Bases de datos de la CVC.

University Corporation for Atmospheric Research. Estados Unidos.
Visor de estaciones HYDRAS3.

<http://www.dicc.hegoa.ehu.es/listar/mostrar/177> Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de NN.UU.

<http://www.eird.org/esp/terminologia-esp.htm> Cuadernos internacionales de tecnología para el desarrollo humano

Glosario de la Estrategia <http://www.eird.org/esp/terminologia-esp.htm>

LANDSTAR CONSULTORIAS & INSPECCIONES SAT`S PANAMA
SATCA web, Sistema de Alerta Temprana para Centroamérica
Gobierno de la Ciudad de Santa Fe. Dirección de Gestión de Riesgos.
Página oficial:
<http://www.wmo.int/pages/prog/drr/events/MHEWSCITIEScentralamerica/Sessions/Session-3/Argentina.pdf>

<http://santafeciudad.gov.ar/blogs/gestionderiesgos/>
Implementación del Sistema de Alerta Temprana Comunitario.

<http://herramientas.cridlac.org/www/content/implementaci-n-del-sistema-de-alerta-tempranacomunitario>

6 ANEXOS

- **ANEXO 1:** Datos de Medias Mensuales Multianuales de caudal para las diez estaciones de monitoreo e Histogramas.
- **ANEXO 2:** Resultados análisis de estimación de caudal para periodos de retorno mediante software HYFA.
- **ANEXO 3:** Resultados análisis de estimación de caudal para periodos de retorno mediante software SMADA.
- **ANEXO 4:** Secciones de los ríos en los puntos de monitoreo y sus respectivos umbrales para análisis de estiaje.
- **ANEXO 5:** Secciones de los ríos en los puntos de monitoreo y sus respectivos umbrales para análisis de inundaciones.
- **ANEXO 6:** Determinación de los tiempos de reacción máximos.
- **ANEXO 7:** Caracterización y localización de las estaciones de monitoreo sobre cuenca baja Río Cauca.
- **ANEXO 8:** Perfil del río cauca en su cuenca baja.
- **ANEXO 9:** Shape arcgis cuenca del Río Cauca

Firma
John Alexander Gómez
Código: 505174

Firma
Julián Andrés Galindo
Códigos: 504793

Firma Asesor del Trabajo de Grado
Fidel Alberto Pardo Ojeda
FECHA (26/10/2017)