

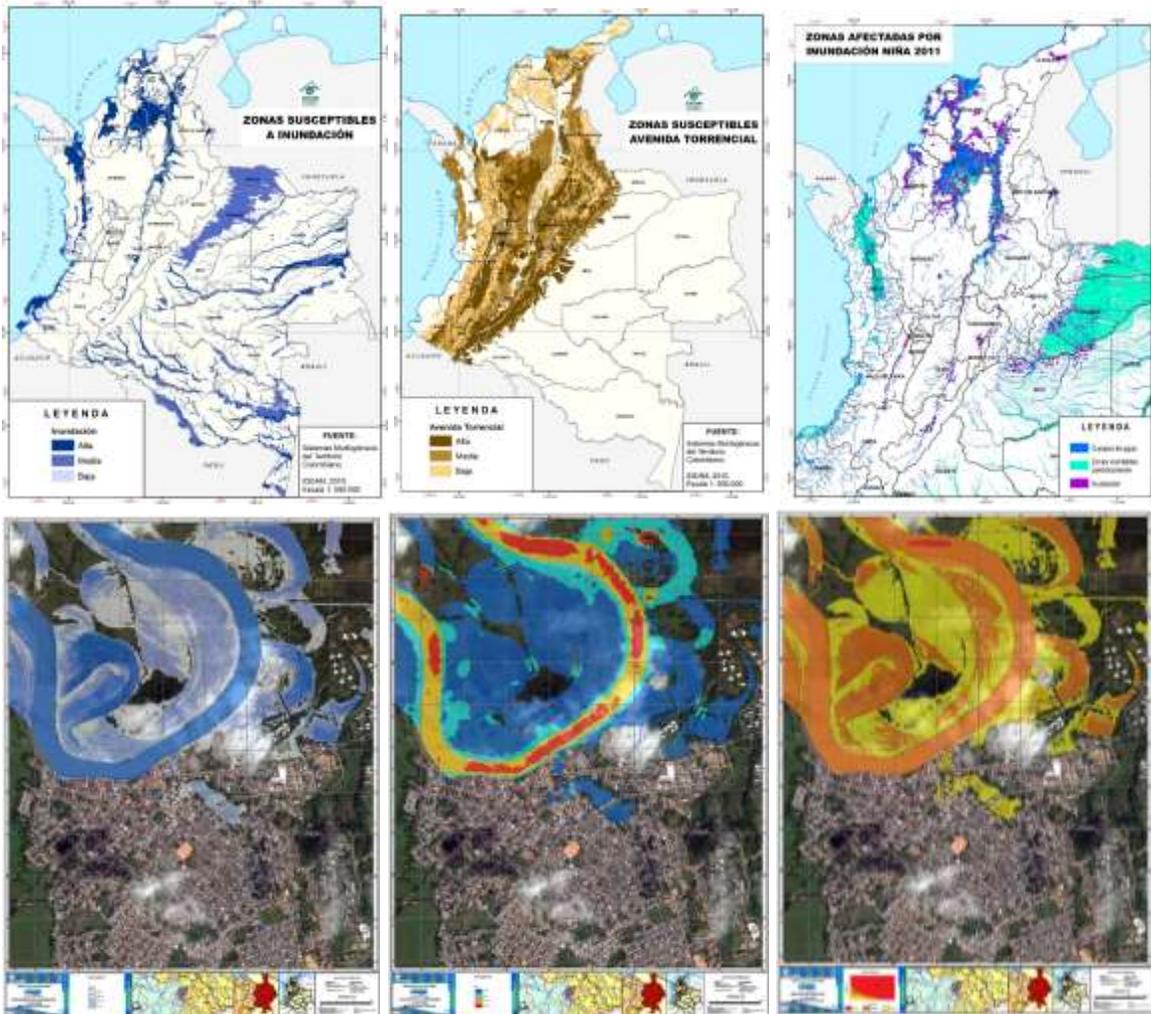


Instituto de Hidrología,  
Meteorología y  
Estudios Ambientales



Centro Nacional de Modelación

# GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE INUNDACIÓN



JUAN MANUEL SANTOS CALDERÓN  
Presidente de la República de Colombia

LUIS GILBERTO MURILLO  
Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

WILLER GUEVARA HURTADO  
Viceministro de Regulación y Normalización

OMAR FRANCO TORRES  
Director General  
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM

NELSON OMAR VARGAS MARTÍNEZ  
Subdirector de Hidrología – IDEAM

PRODUCCIÓN EDITORIAL  
Nelson Omar Vargas Martínez

AUTORES  
NELSON OMAR VARGAS MARTÍNEZ  
NELSY VERDUGO RODRIGUEZ  
JULIÁN DARIO ARBELAEZ SALAZAR  
FABIAN MAURICIO CAICEDO CARRASCAL  
JOSE VILLE TRIANA GARCÍA

DISEÑO PORTADA Y DIAGRAMACIÓN  
DIEGO CASTAÑEDA PÁEZ

CÍTESE COMO  
IDEAM, GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE INUNDACIÓN. Bogotá, D.C., 2017.  
110 páginas.

2017, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Todos los derechos reservados.  
Los textos pueden ser usados parcial o totalmente citando la fuente. Su reproducción total o parcial debe ser autorizada por el IDEAM.  
Publicación aprobada por el IDEAM Diciembre de 2017, Bogotá D.C., Colombia - Distribución Gratuita.

ISBN: 978-958-8067-98-8

---

**INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM**

OMAR FRANCO TORRES  
Director General - IDEAM

ADRIANA PORTILLO TRUJILLO  
Secretaria General – IDEAM

**CONSEJO DIRECTIVO**

LUIS GILBERTO MURILLO  
Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

GERMAN CARDONA GUTIERREZ  
Ministro de Transporte

LUIS FERNANDO MEJIA  
Director, Departamento Nacional de Planeación- DNP

MAURICIO PERFETTI DEL CORRAL  
Director, Departamento Administrativo Nacional De Estadísticas-DANE

JUAN PABLO RUIZ SOTO  
Delegado, Presidencia de La República

RAMÓN LEAL LEAL  
Director Ejecutivo, Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible – ASOCARS

CESAR OCAMPO RODRIGUEZ  
Directora General, Departamento Administrativo de Ciencia Tecnología e Innovación - Colciencias

**DIRECTIVAS**

OMAR FRANCO TORRES  
Director General - IDEAM  
ADRIANA PORTILLO TRUJILLO  
Secretaria General

DIANA MARCELA VARGAS GALVIS  
Subdirectora de Estudios Ambientales

DIANA QUIMBAY VALENCIA  
Jefe Oficina Cooperación Internacional

MARIA TERESA BECERRA RAMIREZ  
Subdirectora de Ecosistemas e Información  
Ambiental

IVONNE MARITZA VARGAS PADILLA  
Coordinadora Grupo De Comunicaciones

NELSON OMAR VARGAS MARTÍNEZ  
Subdirector de Hidrología

SANDRA MILENA SANJUAN ACERO  
Coordinadora Grupo de Contabilidad

JOSÉ FRANKLYN RUIZ  
Subdirector (E) de Meteorología

JANNETH ANDREA SABOGAL PORTILLA  
Coordinadora Grupo de Presupuesto

---

CHRISTIAN EUSCÁTEGUI COLLAZOS  
Jefe Oficina Pronósticos y Alertas

MÓNICA YOLANDA ALAYÓN MADERO  
Coordinadora Grupo De Tesorería

JUAN CARLOS ARTURO LOBO  
Jefe Oficina Asesora de Planeación

TERESITA DE JESÚS PABA LIZARAZO  
Coordinadora Grupo de Control Disciplinario Interno

IVONNE MARITZA VARGAS PADILLA  
Coordinador Grupo de Comunicaciones

BIBIANA LISSETTE SANDOVAL BÁEZ  
Coordinadora Grupo de Atención al Ciudadano

LEONARDO CÁRDENAS CHITIVA  
Jefe Oficina de Informática

JOSÉ ALBERTO CHAPARRO MARTÍNEZ  
Coordinador Grupo de Servicios Administrativos

GILBERTO ANTONIO RAMOS SUAREZ  
Jefe Oficina Asesora Jurídica

NUBIA TRASLAVIÑA SAAVEDRA  
Coordinadora grupo de gestión documental y centro  
de Documentación

MARÍA EUGENIA PATIÑO JURADO  
Jefe Oficina Control Interno

## TABLA DE CONTENIDO

1	MARCO NORMATIVO E INSTITUCIONAL .....	9
2	OBJETIVO DE LA GUIA .....	13
3	LAS INUNDACIONES .....	14
3.1	LAS INUNDACIONES COMO RECURSO .....	14
3.2	LAS INUNDACIONES COMO AMENAZA .....	16
3.3	TIPOS DE INUNDACIONES .....	20
4	TIPOS DE MAPAS DE INUNDACIÓN .....	22
5	METODOLOGÍA PARA ELABORACIÓN DE MAPAS INUNDACIÓN .....	30
5.1	SELECCIÓN DEL TIPO DE MAPA .....	30
5.2	MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD DE INUNDACIÓN .....	31
5.3	MAPAS DE EVENTO DE INUNDACIÓN .....	32
5.3.1	Características de los insumos básicos: sensores remotos .....	32
5.4	MAPAS DE AMENAZA POR INUNDACIÓN .....	36
5.4.1	Metodología para elaboración de los mapas de amenaza por inundación .....	38
5.4.2	Integración, calibración y validación de métodos de análisis de inundaciones .....	51
5.5	MAPAS DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN .....	52
5.5.1	Criterios de Zonificación de Amenaza de Inundación .....	52
6	BIBLIOGRAFÍA .....	59
A.	ANEXO 1 FUENTES DE INFORMACIÓN PARA ELABORACIÓN DE MAPAS DE INUNDACIÓN	
	61	
	CARTOGRAFÍA .....	61
	DATOS ALFANUMÉRICOS .....	75
B.	ANEXO 2. CASO DE ESTUDIO MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD .....	79
C.	ANEXO 3 CASO DE ESTUDIO MAPA DE EVENTO DE INUNDACIÓN .....	88
D.	ANEXO 4 OFICIALIZACIÓN DE LOS MAPAS EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE COLOMBIA SIAC .....	101

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1	El territorio Zenú. Valles del río Sinú, San Jorge, Cauca y el Nechí .....	15
Figura 3-2	Canales de la cultura Zenu .....	16
Figura 3-3	Mapas ilustrativos de las anomalías de lluvia mensual en el año 2010 .....	17
Figura 3-4	Mapas ilustrativos de las anomalías de lluvia mensual en el año 2011 .....	18
Figura 3-5	Porcentaje de la precipitación con respecto al promedio en capitales del país .....	19
Figura 3-6	Personas, hogares y viviendas registrados por departamento .....	19
Figura 3-7	Clasificación básica de las inundaciones .....	20
Figura 5-1	Diagrama de flujo e información necesaria para la elaboración de los mapas de inundación .....	31

Figura 5-2 Metodología análisis de inundaciones.....	38
Figura 5-3 Diagrama de flujo metodología de modelación hidráulica de inundaciones. ....	45
Figura 5-4 Representaciones con DEM.....	46
Figura 5-5, Digitalización de cartografía .....	47
Figura 5-6 Levantamiento topográfico .....	47
Figura 5-7 Fotogrametría con métodos de estereoscopia .....	47
Figura 5-8 Comparación de MDE obtenido por LIDAR y por Fotogrametría.....	48
Figura 5-9, Misión SRTM (Radar – Interferometría) .....	48
Figura 5-10 Curvas de nivel con Google Earth .....	49
Figura 5-11 Batimetría .....	49
Figura 5-12 Equipos empleados para levantamientos batimétricos y topográficos realizados por IDEAM .....	50
Figura 5-13 Resultados integrados de levamientos batimétricos y topográficos en el Lago de Tota. IDEAM 2012 .....	50
Figura 5-14 amenaza en términos de profundidad y velocidad del flujo .....	53
Figura 5-15 Categorías de Amenaza por inundación tomado del Manual de Desarrollo para Llanuras Inundables Estado de Nueva Gales Australia 2005.....	54
Figura 5-16 Ejemplo de categorización de la amenaza .....	55
Figura 5-17 Downstream Hazard Classification Guidelines .....	56
Figura 5-18 Categorización de la amenaza en función de los elementos expuestos .....	57
Figura 5-19 Categorización de la Amenaza-Australia.....	57
Figura 5-20 Categorización de la amenaza - España.....	58
Figura 5-21 Categorización de la amenaza-IDEAM 2010.....	58
Figura A1-6-1 Imágenes Landsat 7 ETM.....	66
Figura A1-6-2 Gaps imágenes Landsat 7 ETM .....	67
Figura A1-6-3 Imágenes Spot 5.....	69
Figura A1-6-4 Imágenes UK-DMC 2.....	70
Figura A1-6-5 Imágenes Radarsat-2 .....	71
Figura A1-6-6 Ortofotomosaico de Bucaramanga .....	73
Figura A1-6-7 Ortoimagen Canal del Dique 2010.....	73
Figura A1-6-8 Ortoimagen Lidar de Caimito (Sucre) .....	74
Figura A1-6-9 Ortoimagen Montelíbano (Córdoba) .....	74
Figura A1-6-10 Ortoimagen Tunja (Boyacá).....	75
Figura A1-6-11 Solicitud de información al IDEAM.....	76
Figura A1-6-12 Portal de solicitud de información al IDEAM .....	76
Figura A1-6-13 Rugosidades características de algunos canales naturales .....	78
Figura A2-6-14 Sistemas morfogénicos del Territorio Colombiano.....	79
Figura A2-6-15 Zonas susceptibles a inundación en Colombia .....	85
Figura A2-6-16 Zonas Susceptibles a Avenidas Torrenciales en Colombia .....	86
Figura A2-6-17 Zonas Susceptibles a Inundaciones y Avenidas Torrenciales en Colombia .....	87
Figura A3-6-18 Área Interpretada con sensores remotos .....	89
Figura A3-6-19 Línea Base Inundaciones Colombia 2001 .....	94
Figura A3-6-20 Imágenes Landsat 4TM Niña 1988 .....	95
Figura A3-6-21 Mancha inundación Niña 1988 .....	96
Figura A3-6-22 Áreas Afectadas por Inundaciones 1988 .....	97
Figura A3-6-23 Imágenes Radarsat Niña 2011 .....	98

Figura A3-6-24 Mancha inundación Niña 2011 .....	99
Figura A3-6-25 Áreas Afectadas por Inundaciones 2011 .....	100
Figura A4-6-26 Formato de entrega de información – Lista De Chequeo .....	102
Figura A4-6-27 Validación Información SIAC. ....	104
Figura A4-6-28 Modelo de almacenamiento.....	105
Figura A4-6-29 Flujo de datos para publicación en el visor SIAC.....	106
Figura A4-6-30 Portal Web del SIAC.....	110

### LISTA DE TABLAS

Tabla 1-1 Incorporación de la gestión del riesgo en los Planes de Ordenamiento Territorial. ....	12
Tabla 5-1 Resumen comparativo de las fortalezas y debilidades de diferentes enfoques de modelación (Teng , y otros, 2017) .....	37
Tabla 5-2 Software para modelación hidrológica.....	41
<b>Tabla 5-3 Descripción general de los tipos de modelos hidráulicos existentes</b> .....	43
Tabla 5-4 Recomendaciones para medir el desempeño del modelo (A = área húmeda en la imagen y en el modelo, B= área húmeda en el modelo pero seca en la imagen , C = área húmeda en la imagen pero seca en el modelo, D = área seca en ambos)(Hunter 2005) citado por Mason, Schumann y Bates en “Data utilisation in flood inundation modelling”.....	51
Tabla 5-5 Criterios para definir la amenaza de una inundación.....	52
Tabla 5-6 Categorización simplificada de la amenaza como el producto de la velocidad por la profundidad.....	55
Tabla A1-6-1. Características Landsat 7 ETM.....	67
Tabla A1-6-2. Características Landsat 8 OLI – TIRS.....	68
Tabla A1-6-3. Características SPOT .....	69
Tabla A1-6-4. Características UK-DMC 2.....	70
Tabla A1-6-5 Características Radarsat-2 .....	72
Tabla A3-6-6 Porcentaje interpretado por departamento.....	90
Tabla A3-6-7. Eventos La Niña e Intensidades asociadas .....	91
Tabla A3-6-8. Distribución de cuerpos de agua y zona inundable periódicamente por departamento .....	93

## INTRODUCCIÓN

Durante los años 2010, 2011 y 2012 Colombia experimentó unas condiciones de inundación asociadas con la ocurrencia del evento La Niña. Este evento aceleró el proceso de promulgación de la Ley 1523 en el mes de abril de 2012, por la cual se adoptó la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se estableció el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, en donde el IDEAM hace parte del Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo, el cual es una instancia interinstitucional del sistema nacional que asesora y planifica la implementación permanente del proceso de conocimiento del riesgo.

Es así como el Gobierno Colombiano a través del Departamento Nacional de Planeación (DNP) definió una serie de lineamientos y acciones estratégicas con el fin de garantizar una adecuada Gestión del riesgo de desastres en el marco de una política de “buen gobierno para comunidades seguras” (Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, Cap. VI, Título B, numeral 2). Dentro de estos lineamientos se consideró “fundamental identificar los escenarios de riesgo para la previsión, control y reducción del riesgo de desastres, por tanto, se requiere mejorar el conocimiento del riesgo en el país”, y por tanto el IDEAM ha venido haciendo parte de las siguientes acciones estratégicas:

“Ampliar, por parte del IDEAM y el Ingeominas, las redes de monitoreo y alerta temprana y actualizar los mapas de amenaza a escalas regionales y locales” y “Diseñar e implementar instrumentos metodológicos para la zonificación de las amenazas, la vulnerabilidad y el riesgo en el ámbito municipal, con el fin de generar técnicas idóneas de evaluación y análisis del riesgo, a cargo de la DGR-MIJ y en coordinación con MAVDT, IDEAM e Ingeominas.”

En este contexto se ha desarrollado la presente guía, la cual contiene algunos enfoques metodológicos para el análisis de inundaciones, con el fin de suministrar una herramienta útil para investigadores, entidades responsables del manejo de las emergencias, entidades encargadas de la gestión integral del recurso hídrico y en general para todas aquellas personas o entidades encargadas de la planeación y administración territorial.

Dado lo anterior en esta guía se incluyen los métodos y/o modelos para el análisis de inundaciones orientado a proveer los resultados específicos para el mapa de inundación requerido, así como los datos disponibles, a partir de un enfoque multimodelo y multidisciplinario, con el fin de que el mapa así elaborado, se convierta en una herramienta fundamental para los usuarios finales en los diferentes campos de aplicación, tanto en medidas predictivas (diseño de redes y sistemas de alerta temprana e información hidro-meteorológica), preventivas (diseño de obras, ordenación del territorio, sistemas de aseguramiento, protección civil, educación en el riesgo) y correctivas (planificación de atención de emergencias, implementación de sistemas de ayuda a los damnificados, declaración de zonas de desastre).

## 1 MARCO NORMATIVO E INSTITUCIONAL

Tomando en cuenta que el escenario territorial de análisis para las condiciones de amenaza por inundación está directamente relacionado con los centros urbanos, se ha considerado pertinente explorar los referentes de planeación urbana promulgados en la normatividad colombiana y su grado de aplicación en el ámbito de competencia de las entidades territoriales. Por tanto se hace énfasis en la incorporación temprana de información sobre amenazas, particularmente asociadas con inundaciones, como determinante del proceso de ocupación del espacio urbano y por ello se presenta una síntesis de los desarrollos normativos en gestión de riesgos y su articulación con las acciones de protección ambiental.

La Ley 88 de 1947 es el antecedente legal más relevante del sistema de planeación urbana contemporánea<sup>1</sup>. Esta ley expresa la obligación de los municipios, con rentas mayores a 200.000 pesos, para levantar un plano regulador que permita la planeación de las futuras urbanizaciones y la localización de equipamientos y espacios colectivos. Esto implica que se debe disponer de un mecanismo de ordenamiento espacial del área urbana.

Posteriormente se expide la Ley 61 de 1978, promulgada como Ley Orgánica de Desarrollo Urbano. El instrumento establecido por esta ley es el Plan Integral de Desarrollo, aplicable a municipios con población mayor a 20.000 habitantes.

Las anteriores dos leyes citadas conforman un sistema nacional de planeamiento urbano en que se resalta el carácter municipal, tendencia que se consolida en la década de los ochenta con la Ley 9 de 1989 que establece políticas y herramientas para permitir la viabilidad de varias políticas de gestión de suelo en un contexto de descentralización y aumento de competencias a los municipios, con la obligatoriedad de presentar planes de desarrollo físico, que complementaran las acciones que se venían considerando como la planeación del municipio.

Con la expedición de la Constitución Política Nacional en 1991, aspectos como la obligatoriedad de la planeación, la facultad de los municipios para regular el uso del suelo y la función social de la propiedad adquieren rango constitucional, que se desarrolla mediante varias leyes y documentos de política nacional, destacándose la ley 388 de 1997 por la creación de los Planes de Ordenamiento Territorial y los instrumentos para regular el uso del suelo y orientar las acciones públicas y privadas en materia de desarrollo urbano.

En la Constitución Política de Colombia de 1991 se establecen los principios orientadores de las acciones de los ciudadanos y las instituciones en el territorio colombiano. Particularmente se destaca que en su artículo primero se resalte la autonomía de las entidades territoriales así como la prevalencia del interés general. Igualmente que se consagre en forma explícita el derecho a un ambiente sano.

La Ley 99 de 1993, la cual crea el Sistema Nacional Ambiental establece como uno de los principios generales ambientales “La prevención de desastres será materia de interés colectivo y las medidas tomadas para evitar o mitigar los efectos de su ocurrencia serán de obligatorio cumplimiento”. Específicamente en el artículo 17 encarga al IDEAM del levantamiento y manejo de la información científica y técnica sobre los ecosistemas que forman parte del patrimonio ambiental del país, así como

---

<sup>1</sup> DNP, Econometría Consultores, 2013, “Evaluación del Impacto de la Ley 388 de 1997 y sus Instrumentos Sobre el Mercado del Suelo en las Principales Ciudades del País”

de establecer las bases técnicas para clasificar y zonificar el uso del territorio nacional para los fines de la planificación y el ordenamiento del territorio.

El artículo 31 de la misma norma establece como función de las Corporaciones Autónomas Regionales entre otras “Promover y ejecutar obras de irrigación, avenamiento, **defensa contra las inundaciones**, regulación de cauces y corrientes de agua, y de recuperación de tierras que sean necesarias para la defensa, protección y adecuado manejo de las cuencas hidrográficas del territorio de su jurisdicción, en coordinación con los organismos directores y ejecutores del Sistema Nacional de Adecuación de Tierras, conforme a las disposiciones legales y a las previsiones técnicas correspondientes; ... Realizar actividades de **análisis, seguimiento, prevención y control de desastres**, en coordinación con las demás autoridades competentes, y asistirles en los aspectos medioambientales en la prevención y atención de emergencias y desastres; adelantar con las administraciones municipales o distritales programas de adecuación de áreas urbanas en zonas de alto riesgo, tales como control de erosión, manejo de cauces y reforestación;”

El decreto 1277 de 1994 por el cual se organiza y establece el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM define en su artículo primero entre otros que es objeto del IDEAM “Establecer las bases técnicas para clasificar y zonificar el uso del territorio nacional para los fines de la planificación y el ordenamiento ambiental del territorio” y en su artículo 15 como una de sus funciones “Suministrar al Ministerio del Medio Ambiente, a las Corporaciones y entidades territoriales, los criterios para clasificar y zonificar el uso del territorio nacional para los fines de la planificación y el ordenamiento del territorio” y “Prestar, en la medida de su capacidad técnica, los servicios de pronósticos, avisos y alertas de índole hidrometeorológico para el Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres, transporte aéreo, marítimo, fluvial y terrestre, sectores agrícola, energético, industrial y aquellos que lo requieran”.

La Ley 388 de 1997 sobre ordenamiento territorial que se promulgó con los objetivos de:

1. Armonizar y actualizar las disposiciones contenidas en la Ley 9a. de 1989 con las nuevas normas establecidas en la Constitución Política, la Ley Orgánica del Plan de Desarrollo, la Ley Orgánica de Áreas Metropolitanas y la Ley por la que se crea el Sistema Nacional Ambiental.
2. Establecer los mecanismos que permitan al municipio, en ejercicio de su autonomía, promover el ordenamiento de su territorio, el uso equitativo y racional del suelo, la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural localizado en su ámbito territorial y la **prevención de desastres en asentamientos de alto riesgo**, así como la ejecución de acciones urbanísticas eficientes.
3. Garantizar que la utilización del suelo por parte de sus propietarios se ajuste a la función social de la propiedad y permita hacer efectivos los derechos constitucionales a la vivienda y a los servicios públicos domiciliarios, y velar por la creación y la defensa del espacio público, así como por la protección del medio ambiente y la **prevención de desastres**.
4. Promover la armoniosa concurrencia de la Nación, las entidades territoriales, las autoridades ambientales y las instancias y autoridades administrativas y de planificación, en el cumplimiento de las obligaciones constitucionales y legales que prescriben al Estado el ordenamiento del territorio, para lograr el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes.

5. Facilitar la ejecución de actuaciones urbanas integrales, en las cuales confluyan en forma coordinada la iniciativa, la organización y la gestión municipales con la política urbana nacional, así como con los esfuerzos y recursos de las entidades encargadas del desarrollo de dicha política.

En su artículo 8 la Ley 388 de 1997 establece que el ordenamiento territorial se ejerce a través de acciones urbanísticas que comprenden entre otras las correspondientes a los numerales

5. “Determinar las zonas no urbanizables que presenten riesgos para la localización de asentamientos humanos, por amenazas naturales, o que de otra forma presenten condiciones insalubres para la vivienda” y

11. “Localizar las áreas críticas de recuperación y control para la prevención de desastres, así como las áreas con fines de conservación y recuperación paisajística.”

El artículo 10 de la Ley 388 de 1997 relacionado con los determinantes de los Planes de Ordenamiento Territorial especifica en el literal d. “Las políticas, directrices y regulaciones sobre prevención de amenazas y riesgos naturales, el señalamiento y localización de las áreas de riesgo para asentamientos humanos, así como las estrategias de manejo de zonas expuestas a amenazas y riesgos naturales”.

Tanto el artículo 12 de la Ley 388 de 1997 como el decreto 1807 de 2014 establecen los elementos mínimos que es preciso incorporar para la determinación y ubicación de las zonas que presenten alto riesgo para la localización de asentamientos humanos y destaca particularmente aquellos bajo la influencia de amenazas o riesgos naturales (Ver Tabla 1-1).

La Ley 1523 de 2012, mediante el cual se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de desastres – SNGR, en el artículo 20 indica que el IDEAM hace parte del Comité Nacional de Conocimiento del Riesgo y en particular son funciones de este comité:

- Propender por la articulación entre el proceso de conocimiento del riesgo con el proceso de reducción del riesgo y el de manejo de desastres.
- Propender por la armonización y la articulación de las acciones de gestión ambiental, adaptación al cambio climático y gestión del riesgo.
- Formular lineamientos para el manejo y transferencia de información y para el diseño y la operación del Sistema Nacional de Información para la Gestión del Riesgo.

Particularmente en el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (2015-2025) es responsabilidad del IDEAM “**Desarrollar metodologías de evaluación de la amenaza por inundación para los procesos de ordenamiento territorial y de cuencas**” y en ese contexto se ha elaborado la presente guía.

COMPONENTE	CONTENIDO
GENERAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir objetivos y estrategias a mediano y largo plazo, garantizando la incorporación de la gestión del riesgo en el plan de ordenamiento territorial y la definición de medidas para el conocimiento y la reducción.</li> </ul> <p>En el contenido estructural se deben ubicar y especificar en planos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas con condición de riesgo y por restricción con amenazas y su priorización para elaboración de estudios detallados.</li> <li>• Zonas de alto riesgo para la localización de asentamientos humanos, de acuerdo con estudio de detalle.</li> <li>• En la categoría de suelo deben considerarse las áreas que tienen restringida la posibilidad de urbanizarse y que cumplan las siguientes condiciones:             <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Áreas sin ocupar zonificadas en los estudios básicos como amenaza alta, en la que la información sobre intensidad y recurrencia o registros históricos evidencian que las medidas de reducción son insuficientes en el tiempo para garantizar el desarrollo de procesos de urbanización.</li> <li>◦ Las áreas zonificadas como riesgo alto no mitigable en suelo urbano, de expansión urbana y rural, de acuerdo con los estudios detallados.</li> </ul> </li> </ul>
URBANO	<p><b>Para las zonas con condición de amenaza:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asignación de usos y tratamientos teniendo en cuenta las restricciones por amenazas.</li> <li>• El desarrollo de estas áreas se condiciona a la elaboración de los estudios de detalle.</li> </ul> <p><b>Para las áreas de amenaza media ocupadas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deben establecer acciones o medidas de mitigación y realizar seguimiento y monitoreo a las mismas.</li> </ul> <p><b>Para las áreas con condición de riesgo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definición de las condiciones técnicas que deben cumplir los estudios detallados para categorizar el riesgo (alto, medio o bajo).</li> <li>• La asignación del régimen general de usos y tratamientos, y normas de densidades, ocupación y edificabilidad que se podrán desarrollar condicionados a los resultados de los estudios detallados.</li> </ul> <p><b>Para áreas de riesgo que cuenten con estudios detallados:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se debe dar la delimitación en el mapa de zonificación de riesgo, definiendo en las zonas de alto riesgo, lo que es mitigable y lo que no es mitigable.</li> <li>• Definición de medidas de intervención para el desarrollo de zonas de riesgo mitigables e igualmente las normas urbanísticas generales (uso, intensidad, densidad, edificabilidad).</li> <li>• Para zonas de riesgo alto no mitigables, definir las acciones para su manejo y para evitar su ocupación. (suelo de protección).</li> </ul> <p>En el POT o en los instrumentos que lo desarrollen y complementen, si es del caso, fijar criterios diferenciales para la caracterización y redelimitación de las unidades de análisis en las áreas objeto de los estudios detallados, esto es, establecer bajo que parámetros se realizará dicha redefinición de límites, acudiendo a elementos diferenciadores que presenten las áreas de estudio.</p>

Tabla 1-1 Incorporación de la gestión del riesgo en los Planes de Ordenamiento Territorial<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Fuente: Tomado de Castrillón y Galvis (2015) Especialización en Gestión Territorial. Universidad San Buenaventura.

---

## 2 OBJETIVO DE LA GUIA

Para elaborar los mapas de inundación se requiere un proceso sistemático en el cual se deben especificar los conjuntos de datos en los que se basarán los mapas y la metodología que se utilizará, por tanto, el objetivo de esta guía es: dar una orientación para llevar a cabo ejercicios de mapeo de inundaciones para los diversos procesos de planificación a nivel nacional, regional y local.

El objetivo principal de esta guía metodológica de elaboración de mapas de inundación, es servir de referencia a las personas y entidades encargadas de la elaboración, revisión, aprobación, o interpretación de este tipo de cartografía, para los múltiples campos de aplicación a los que se enfoque y particularmente para orientar las acciones en reglamentación de uso de suelo y gestión territorial.

Cabe aclarar que esta guía no es un tratado o compendio exhaustivo de todas las metodologías y técnicas de análisis y representación de la amenaza por inundación, sino más bien una selección práctica de aquellas más útiles y frecuentemente empleadas a nivel mundial, abordadas desde una perspectiva técnica y no científica. Tampoco pretende ser un recetario que dirige al usuario a un procedimiento fijo e inamovible, sino una recopilación que permite tener múltiples opciones y alternativas de métodos y técnicas.

Por tanto la presente guía es una base para uniformizar la práctica de elaboración de mapas de inundación, pero no pretende resolver todos los problemas asociados con la modelación hidrológica e hidráulica de inundaciones y la elaboración de los mapas de resultados, ya que no se debe reemplazar la aplicación del conocimiento profesional individual en el área. Por tanto los usuarios de la presente guía deberán tener un buen conocimiento de los principios hidrológicos, hidráulicos y cartográficos contenidos en ella y emplear el mejor juicio profesional en cada caso.

El presente documento aborda el análisis de las inundaciones con fines de elaboración de mapas de inundación a través de las siguientes temáticas:

- Definición de inundación y tipos de inundaciones.
- Clasificación de mapas de inundación.
- Metodologías y fuentes de información disponibles para la elaboración de los mapas de susceptibilidad, evento, amenaza y zonificación de la amenaza por inundación
- Casos de estudio para mapas de susceptibilidad, de evento, de amenaza y zonificación de amenaza por inundación.

### 3 LAS INUNDACIONES

Inundación (*del latín inundatio-onis*) según el Diccionario de la Real Academia Española, es la acción y efecto de inundar, esto es, cubrir los terrenos y a veces las poblaciones. En el Glosario Hidrológico Internacional (OMM N°385 2012) se define inundación como el desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río o cualquier masa de agua y/o la acumulación de agua procedente de drenajes en zonas que normalmente no se encuentran anegadas.

La Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones en España (MIJ, 1995), define inundación como la sumersión temporal de terrenos normalmente secos, como consecuencia de la aportación inusual y más o menos repentina de una cantidad de agua superior a la que es habitual en una zona determinada. La Agencia Federal de Gestión de Emergencias de los Estados Unidos (FEMA) cuantifica incluso la superficie anegable para que se considere inundación: una condición temporal y general de inundación completa o parcial de dos o más acres (0.81 Ha) de terrenos normalmente secos.

Por su parte la Directiva Europea de Inundaciones (2007/60/EC) define inundación como el “anegamiento temporal de terrenos que no están normalmente cubiertos por agua” (artículo 2.1).

A pesar de la definición de términos como “normalmente secos” o “no están normalmente cubiertos por el agua”, en lo que todo el mundo está de acuerdo, es en el carácter excepcional de las inundaciones desde el punto de vista de las actividades humanas cotidianas, probablemente sea el desastre natural más devastador, extendido y frecuente para las sociedades humanas.

Cabe aclarar, que el impacto de las inundaciones no siempre es negativo, ya que normalmente forma parte de un ciclo natural y puede tener grandes beneficios medioambientales y sociales, especialmente en las zonas que han sufrido una sequía prolongada o en lugares en donde las inundaciones son periódicas y por tanto son cruciales para los ecosistemas en la mayoría de los humedales ribereños y costeros (Teng , y otros, 2017).

#### 3.1 LAS INUNDACIONES COMO RECURSO

Desde tiempos remotos, las primeras civilizaciones ligadas a los valles fértiles (Éufrates, Tigris, Nilo, Ganges) eran conscientes y utilizaban los aspectos beneficiosos de las inundaciones, principalmente para la fertilización natural de los campos agrícolas (Instituto Geológico y Minero de España, 2008).

En el caso colombiano existió una sociedad anfibia: la Zenú, la cual se asentó en los valles de los ríos San Jorge, Sinú y Cauca. El territorio del Gran Zenú (Ver Figura 3-1) estaba compuesto por tres provincias: el valle del río San Jorge albergó el asentamiento Panzenú; el río Cauca, a Zenufaná; y el río Sinú, a Finzenú.

Las tres provincias cumplían actividades económicas específicas y complementarias, por lo cual el comercio fue una actividad sumamente importante. Panzenú era la región productora de alimentos, la despensa agrícola de los Zenues, donde la agricultura representó la principal actividad económica. La labor de Zenufana consistía en la minería y la producción aurífera, pues se localizaba en el bajo Cauca, una de las zonas auríferas más ricas de lo que actualmente es Colombia. Finzenú se ubicaba en el valle del río Sinú y era el principal centro religioso y político de los Zenues. Allí predominaban la orfebrería y la elaboración de textiles y artesanías.

La riqueza de la cultura Zenú se basaba en su capacidad para adaptarse a su entorno y beneficiarse del mismo, pues fueron capaces de aprovechar las inundaciones periódicas de su territorio para favorecer la producción agrícola, sin que dichas inundaciones perjudicaran a la población, lo cual se logró mediante la construcción de un extenso sistema hidráulico compuesto por canales de drenaje para controlar las inundaciones, camellones para la pesca y los cultivos y campos y plataformas elevadas en las cuales construían sus viviendas.

Este sistema cumplía dos funciones esenciales. En primer lugar, les permitía regular el manejo del agua, amortiguando el régimen de inundaciones, de tal forma que los Zenues podían vivir en esa zona sin que la creciente del agua representara una amenaza. Además, el sistema también estaba compuesto por plataformas elevadas donde se adecuaban las viviendas, lo que representaba otra forma de protección. En segundo lugar, les permitía favorecer la productividad agrícola, ya que los camellones quedaban depositados con sedimentos, ricos en nutrientes, que posteriormente eran utilizados para abonar y fertilizar la tierra, aumentando la producción agrícola y al mismo tiempo permitiendo su práctica, incluso durante la temporada seca. Precisamente, esta fue una de las ventajas que le permitió a Panzenú convertirse en la principal productora de alimentos de la región.



Figura 3-1 El territorio Zenú. Valles del río Sinú, San Jorge, Cauca y el Nechí<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Fuente: De Jan Arkesteijn - Trabajo propio based on File:Mapa de Colombia (relieve-ríos).svg, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9650674>

El sistema hidráulico alcanzó a cubrir 500.000 y 150.000 hectáreas en las cuencas de los ríos San Jorge y Sinú, respectivamente. Este sistema de control de aguas estuvo en funcionamiento durante 2.000 años, específicamente entre el 800 A.C. y el 1.200 D.C.

El mecanismo principal del sistema consistió en mantener estables los cursos de los ríos y caños. Perpendiculares a estos cursos. Los Zenues cavaron canales hasta de cuatro kilómetros de largo con 10 metros de separación entre sí, por donde el agua de la creciente se vertía hacia ciénagas más bajas. Allí la corriente era frenada con canales cortos y entrecruzados, de 30 a 70 metros de largo, para cubrir grandes áreas dedicadas al cultivo.



Figura 3-2 Canales de la cultura Zenu<sup>4</sup>

### 3.2 LAS INUNDACIONES COMO AMENAZA<sup>5</sup>

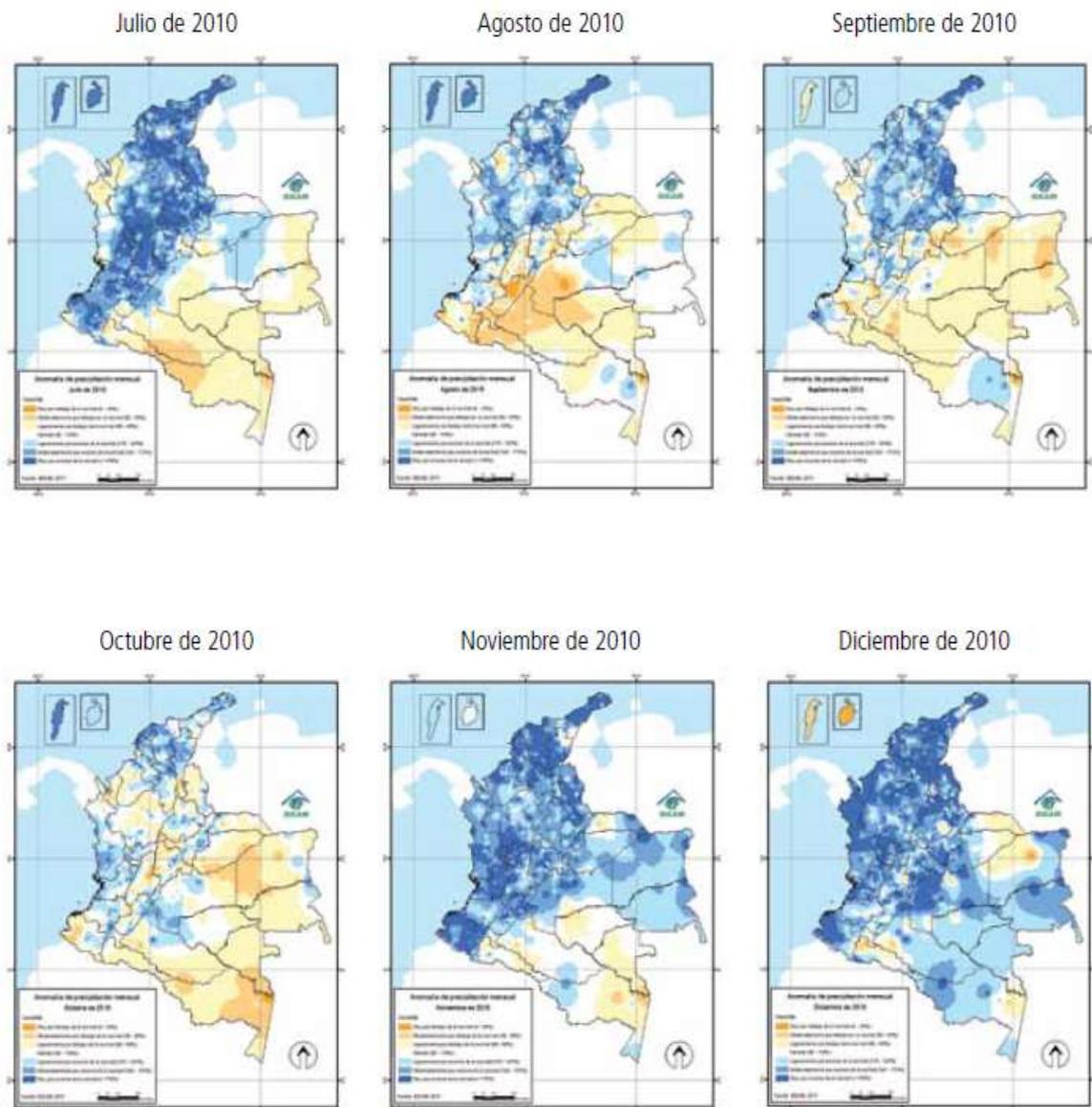
Los procesos de inundación se manifiestan en extensas zonas del territorio colombiano; no obstante la ocupación indiscriminada de las áreas ribereñas de los principales ríos y quebradas, con las intervenciones en las márgenes de estos drenajes, así como el crecimiento de las poblaciones con las actividades socioeconómicas asociadas han acentuado los efectos negativos que ocasionan los incrementos periódicos en los niveles de los ríos, siendo ésta una condición propia de la dinámica hidrológica correspondiente a épocas de aguas altas y aguas bajas así como la transición entre estos dos estados.

<sup>4</sup> Fuente: (Banco de la República, 2013) y animación del Museo MAPUKA de la Universidad del Norte <https://www.youtube.com/watch?v=cysf7QC7s7Q>.

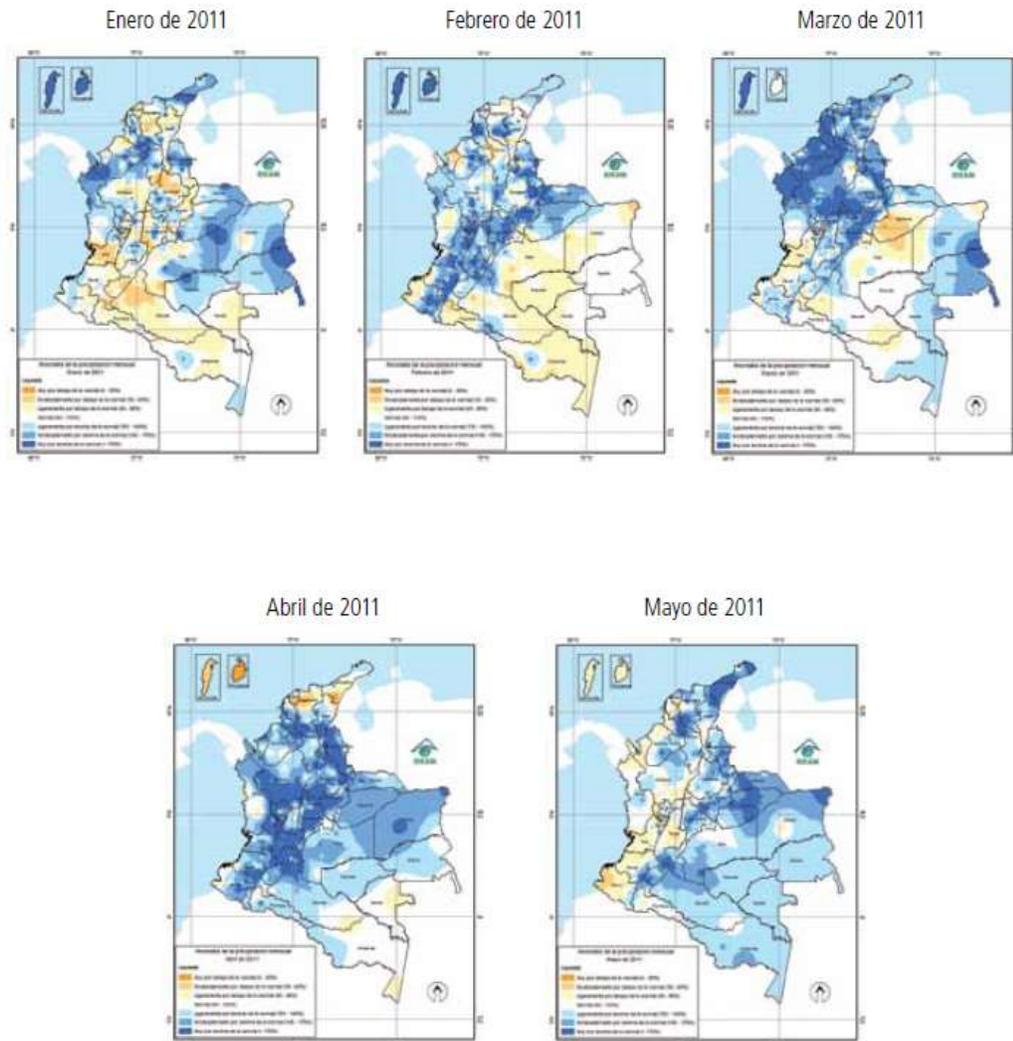
<sup>5</sup> Fuente: (IDEAM, 2011) y (Misión BID - CEPAL, 2012)

Particularmente durante los años 2010 a 2012 Colombia experimentó unas condiciones de inundación asociadas con la ocurrencia del evento La Niña, que se caracterizó por anomalías marcadas en el régimen de precipitaciones particularmente en las regiones Andina, Caribe y Pacífica, lo cual aunado a la falla y rompimiento de diques ocasionó inundaciones con una magnitud superior a los registros históricos recientes. Esta emergencia afectó amplias zonas del país, y tuvo consecuencias económicas, sociales y ambientales severas.

Desde abril de 2010 se presentaron cantidades de precipitación que en forma generalizada estuvieron muy por encima de los promedios históricos, en particular en julio, noviembre y diciembre de 2010, y marzo y mayo de 2011 (Ver Figura 3-3 y Figura 3-4). Esta anomalía se reflejó también en el exceso de precipitación observada en las principales ciudades del país, en particular en los meses de noviembre y diciembre de 2010, y abril y mayo de 2011 (Ver Figura 3-5).



**Figura 3-3 Mapas ilustrativos de las anomalías de lluvia mensual en el año 2010**



**Figura 3-4 Mapas ilustrativos de las anomalías de lluvia mensual en el año 2011**

La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (NOAA, por su sigla en inglés) ha calificado el fenómeno de la Niña para el periodo julio 2010 a febrero de 2011 en categoría fuerte, lo cual lo ubica entre los seis eventos más importantes de este tipo desde 1950.

Una de las consecuencias más graves de esta continuada, inusitada y elevada precipitación ocurrida de manera generalizada en amplias zonas del país, fue el desborde de ríos y cuerpos de agua, que inundaron en forma extensa y prolongada regiones que en condiciones típicas de aguas altas no se habrían inundado. Durante esa temporada de altas lluvias, entre septiembre de 2010 y mayo de 2011, el número de emergencias se elevó a 2.219, conformadas por 1.233 inundaciones (55,6% del total de emergencias), 778 deslizamientos (35,1%), 174 vendavales y 24 avalanchas.

El total de personas damnificadas o afectadas a partir del Registro Único de Damnificados (RUD) por la emergencia invernal 2010-2011 fue de 3.219.23914, 73% (2.350.207) son damnificados y el restante 27% (869.032) afectados, que significa el 7,0% de la población nacional.

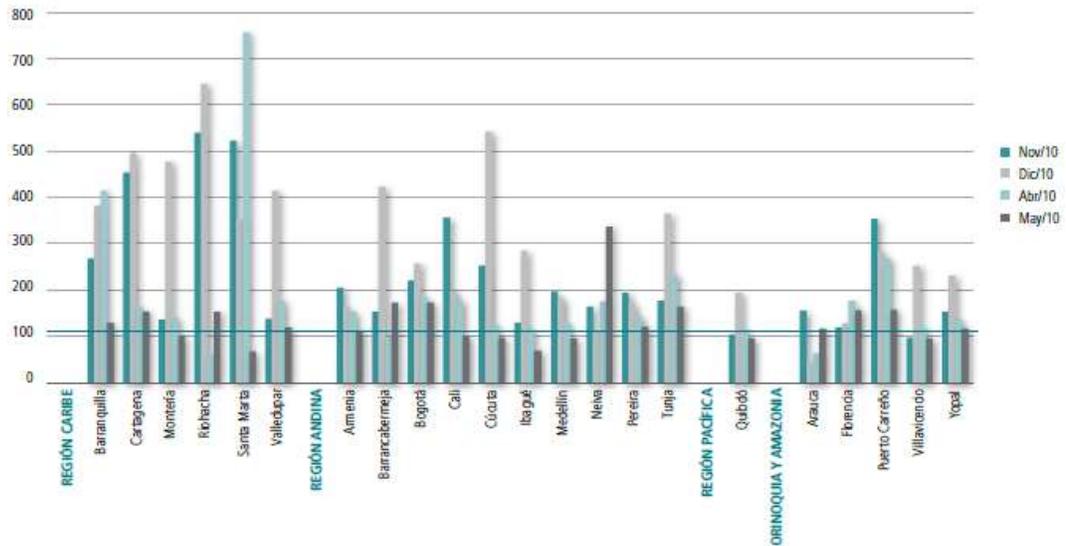


Figura 3-5 Porcentaje de la precipitación con respecto al promedio en capitales del país

Bolívar y Magdalena, con Cauca y Córdoba, en su orden, fueron los departamentos con mayor número de personas registradas (29% del total) (Figura 3-6). Otros departamentos que presentaron alto número de afectados fueron Atlántico, Nariño, Antioquia, La Guajira, Valle del Cauca, Chocó, Sucre, Cesar y Tolima.

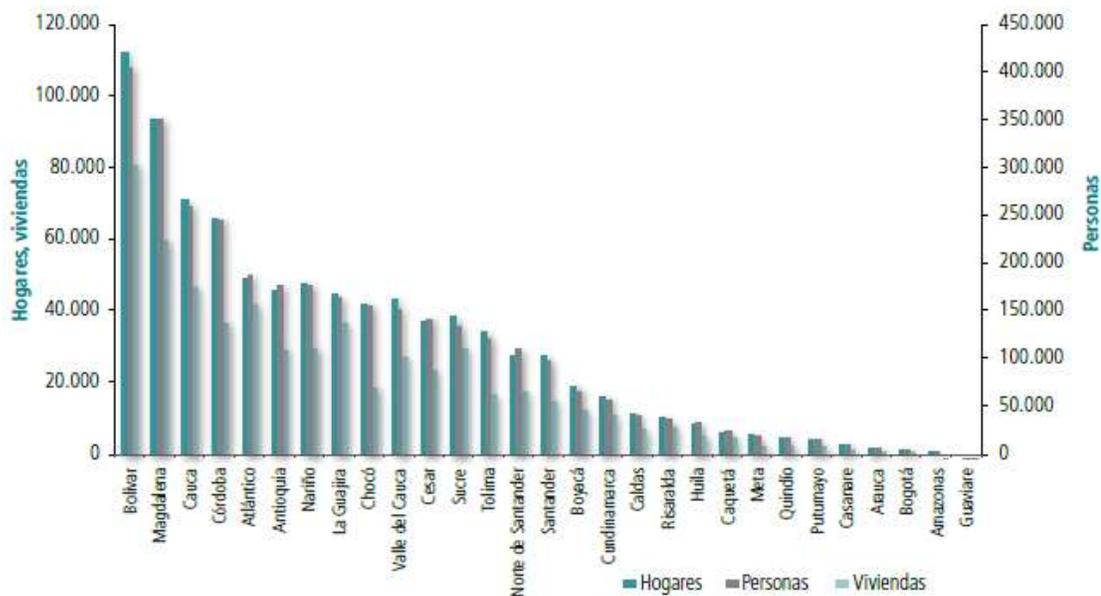


Figura 3-6 Personas, hogares y viviendas registrados por departamento

Dado lo anterior el evento ocurrido en 2010-2011 ha dejado en evidencia que, lejos de haberse reducido, ha aumentado de manera considerable la situación de **vulnerabilidad** del territorio nacional frente a amenazas de origen hidrometeorológico. Este fenómeno comprende varias dimensiones. En primer lugar, queda palpable la de los ecosistemas estratégicos, por la intensa, persistente y creciente deforestación y posterior quema en laderas, cambios de usos del suelo en todo el territorio nacional,

deseccación de humedales y alteraciones a los cursos de los ríos (en la región Caribe, la Sabana de Bogotá y los valles geográficos de los ríos Cauca, Magdalena, Sinú y otros). Segundo, la de comunidades, en muchos casos agravadas con hechos como el desplazamiento forzado que ha incrementado los riesgos en las zonas urbanas, en donde se ocupan terrenos no aptos para la vivienda. Finalmente, ha resultado vulnerable la institucionalidad, en sus distintos niveles.

Una forma relevante de asumirlo es el propósito de reducir vulnerabilidades frente a este tipo de fenómenos, transformar la experiencia en oportunidad para incorporar más aún la reducción de riesgos en los procesos nacionales y locales de desarrollo, lo cual implica, **conocerlo, protegerse y evitar producirlo**.

### 3.3 TIPOS DE INUNDACIONES<sup>6</sup>

En general existen tres tipos de inundaciones: **Naturales, Inducidas y Antrópicas** (Ver Figura 3-7). Las inundaciones naturales son básicamente de dos tipos: terrestres, las cuales se presentan cuando las aguas dulces anegan territorios del interior de los continentes; y litorales o costeras, en las que las aguas marinas o lacustre-palustres invaden los sectores limítrofes con el dominio terrestre.

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

Figura 3-7 Clasificación básica de las inundaciones

El origen de las **inundaciones terrestres** puede ser debido al desbordamiento de corrientes fluviales o bien por el encharcamiento de zonas planas o endorreicas sin vinculación con la red fluvial, tanto por acumulación de la precipitación sin que circule sobre la superficie terrestre (precipitación in situ, sobrealimentación de un lago) como de origen hidrogeológico asociado a la elevación de la superficie freática sobre la superficie del terreno.

En cuanto a las **inundaciones litorales o costeras**, las causas pueden relacionarse con aumentos del nivel del agua de mares y lagos durante tormentas, fenómenos ciclónicos atípicos (huracanes, tifones, tormentas tropicales, ciclones, tornados), fuertes variaciones mareales y barométricas, o como

<sup>6</sup> Fuente: (Instituto Geológico y Minero de España, 2008)

consecuencia de tsunamis. En ocasiones, estos fenómenos costeros se producen combinados, ayudados o acelerados por el hundimiento progresivo de las zonas costeras, bien de forma natural (subsistencia) o artificial (sobrepeso de construcciones, sobreexplotación de acuíferos, aprovechamiento de recursos minerales, como hidrocarburos, diapiros salinos, etc.).

Por último, muchas inundaciones en zonas litorales son una combinación o sucesión de orígenes terrestres o costeros, de forma que los ríos, con altos caudales no pueden desembocar en el mar con normalidad por encontrarse con altos niveles de temporales o mareas vivas en situación de pleamar.

## 4 TIPOS DE MAPAS DE INUNDACIÓN<sup>7</sup>.

El objetivo general de los mapas de inundación es proveer información de eventos pasados o la extensión probable o potencial de inundación y sus respectivos impactos, lo cual ayuda a los tomadores de decisiones en los distintos aspectos de la gestión integrada de las inundaciones.

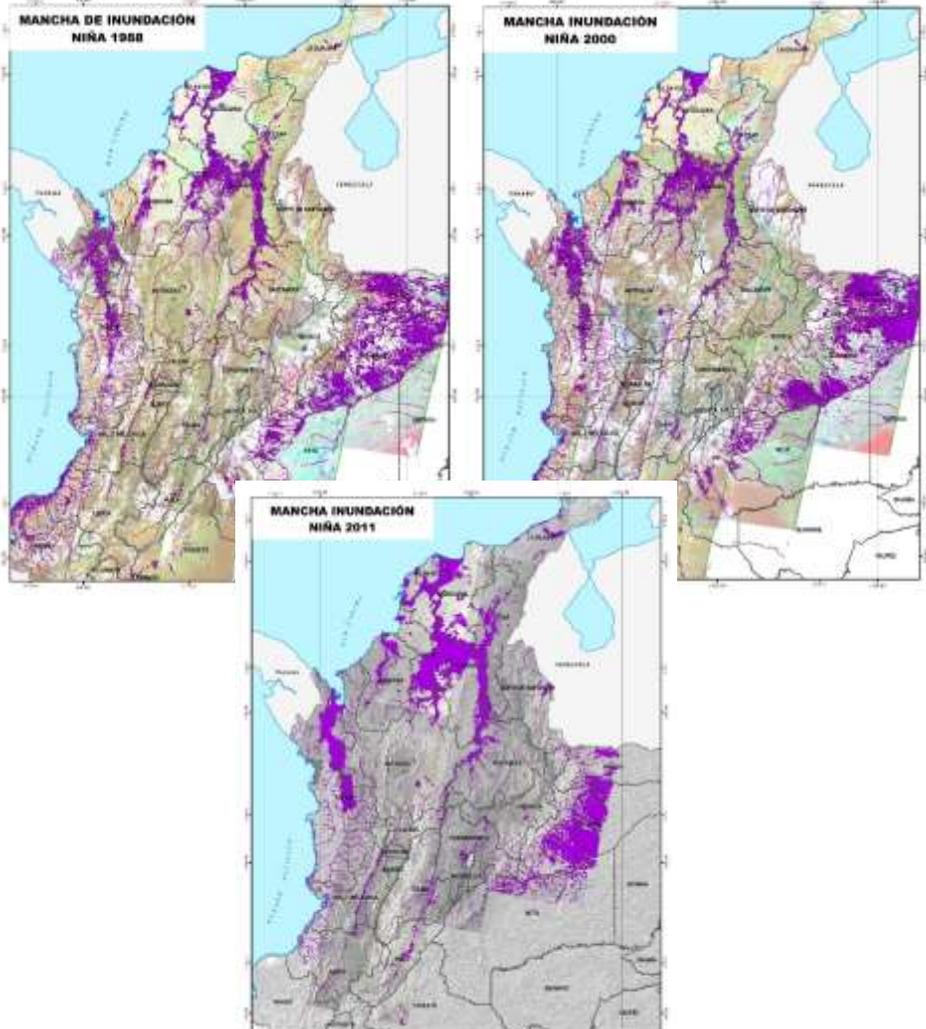
Dado lo anterior es posible elaborar distintos tipos de mapas de inundación dependiendo de la información disponible, de la escala de trabajo y del objetivo del mapa:

- Mapa de Susceptibilidad de Inundación
- Mapa de Evento de Inundación
- Mapa de Amenaza de Inundación
- Mapa de Zonificación de Amenaza por Inundación
- Mapa de Vulnerabilidad de Inundación
- Mapa de Riesgo de Inundación
- Mapa de Emergencia de Inundación

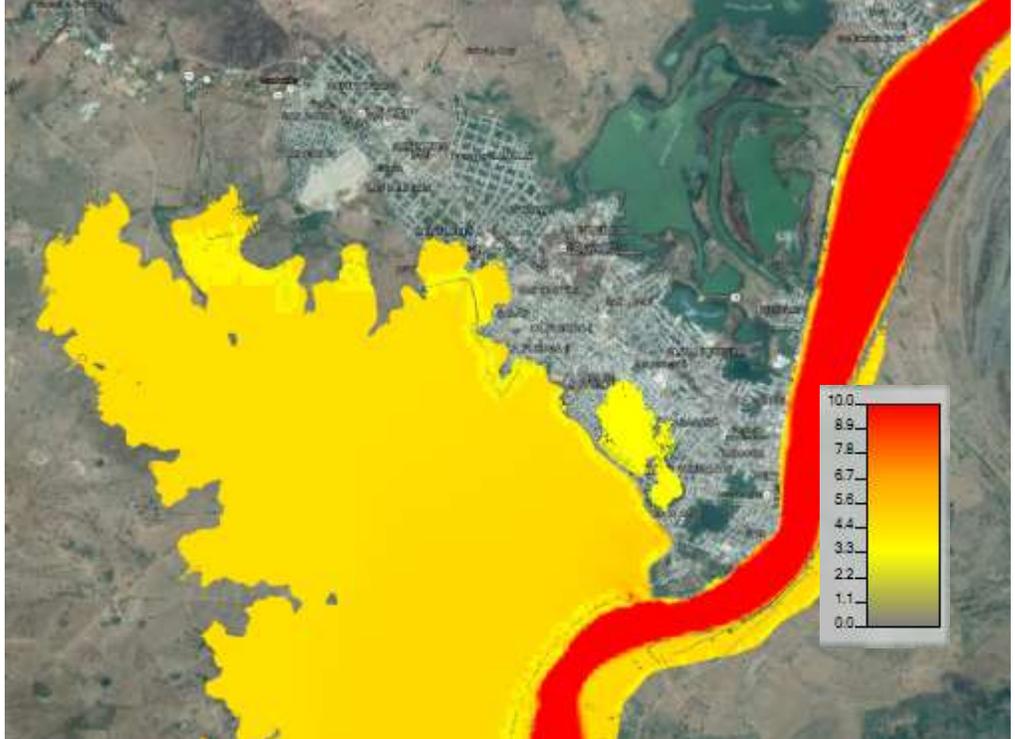
A continuación se hace una descripción resumida de cada uno de ellos acompañados de un ejemplo.

TIPO DE MAPA	MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DE INUNDACIÓN
DEFINICIÓN	Son mapas elaborados a baja escala. Estos mapas son el primer paso para los mapas más detallados.
CONTENIDO	Indica el tipo de inundación (lenta o súbita) y los límites externos para un evento extremo elaborado por la superposición de áreas potencialmente inundables y los usos del suelo u otros parámetros que representen daño potencial. Por tanto, la zona afectada es una superposición de mapas topográficos, imágenes de satélite o mapas de uso del suelo.
ESCALA	1:500.000 a 1:100.000
PROPÓSITO Y USO	El principal objetivo es para planeación estratégica, tal como: -Programa de inventario de inundaciones -Planeación nacional o regional -Planificación de emergencias y gestión de riesgos.
EJEMPLO	

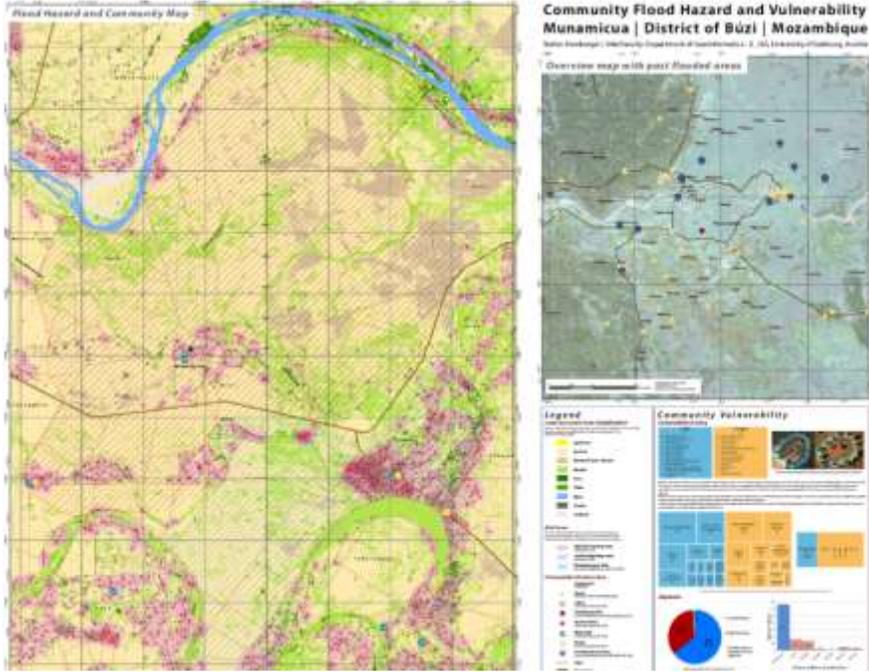
<sup>7</sup> Adaptado de: Integrated flood management tools series. Flood Mapping. World Meteorological Organization, 2013.

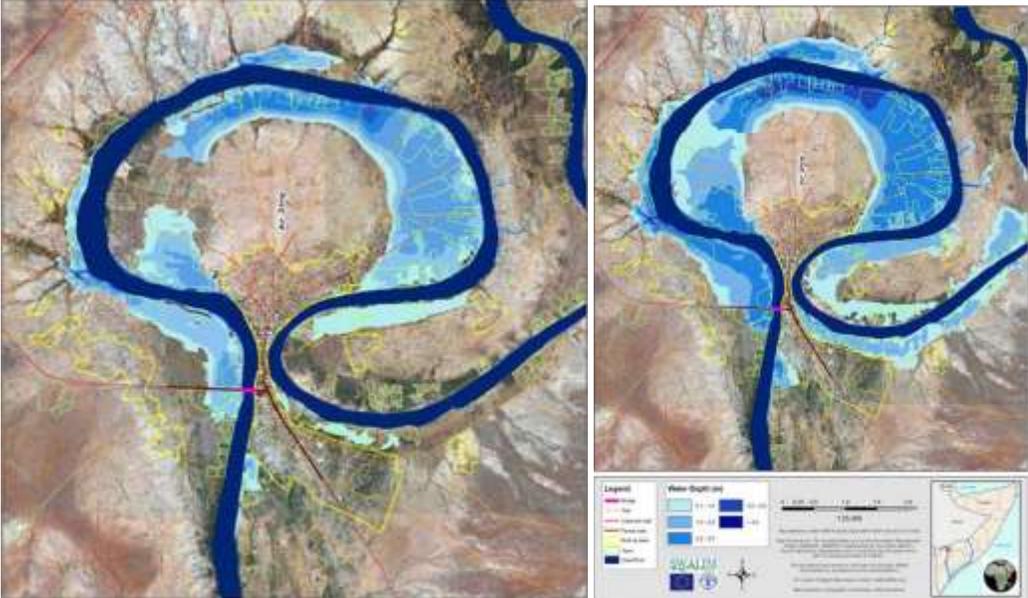
TIPO DE MAPA	MAPA DE EVENTO DE INUNDACIÓN
<b>DEFINICIÓN</b>	Estos mapas muestran eventos de inundaciones observadas con su respectiva extensión de la inundación registrada por diferentes medios.
<b>CONTENIDO</b>	Están basados en eventos recientes o pasados, cuya información del evento puede ser obtenida de varios tipos de fuentes, tales como documentos históricos o imágenes de satélite debidamente interpretadas y verificadas. Dichos mapas incluyen límites de la inundación, nivel de inundación registrado, caudales, profundidades y secciones transversales.
<b>ESCALA</b>	La escala de un mapa de evento de inundación puede variar considerablemente entre 1:5.000 a 1:100.000, dependiendo del tamaño de la cuenca y la información disponible del evento de inundación.
<b>PROPÓSITO Y USO</b>	-Validación de modelos hidrológicos e hidráulicos para mapas de amenaza de inundación. -Concientización: los eventos pasados pueden ser usados para concientizar a la población, ya que al presentarlos junto con los mapas de amenaza (áreas de inundación pronosticadas), se recalca en la amenaza de inundación prevaleciente.
<b>APLICACIÓN ESPECÍFICA</b>	Los esquemas de mitigación de inundaciones pueden haber sido implementados después del evento de inundación lo cual habrá reducido significativamente la probabilidad de futuras inundaciones en las áreas inundadas anteriores.
<b>EJEMPLO</b>	

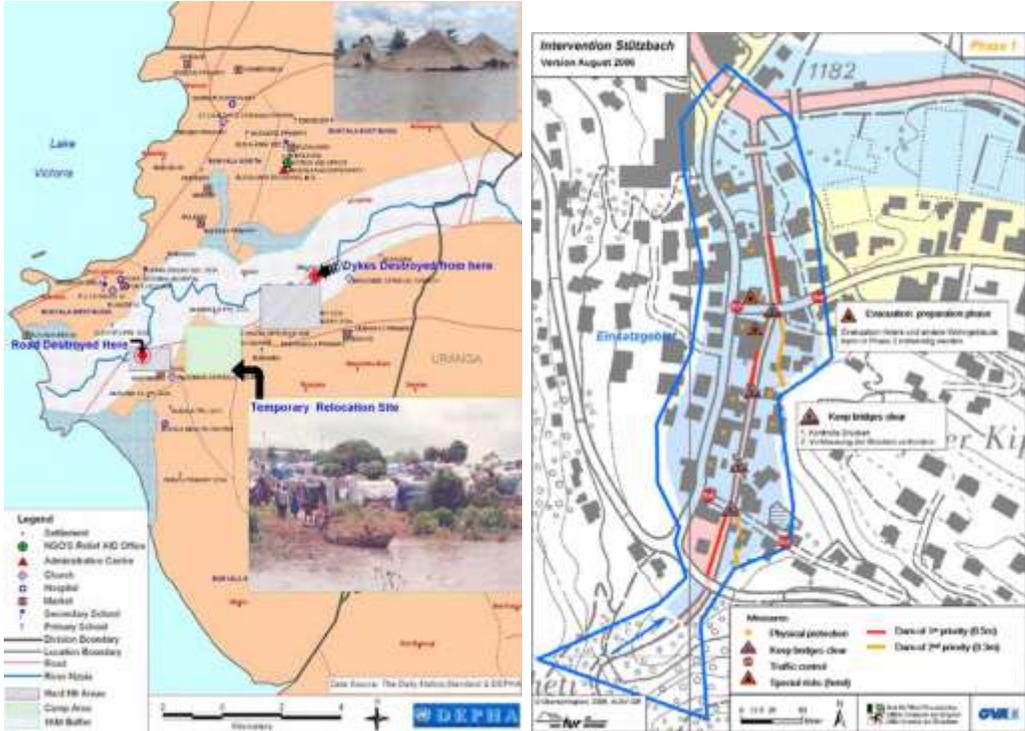
TIPO DE MAPA	MAPA DE AMENAZA DE INUNDACIÓN
<b>DEFINICIÓN</b>	Provee información gráfica de la inundación esperada (profundidades, extensión, velocidad del flujo, etc.) para un evento de probabilidad dada o varias probabilidades
<b>CONTENIDO</b>	<p>La información incorporada en un mapa de amenaza de inundación para una probabilidad de ocurrencia dada es:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Extensión de la inundación (áreas cubiertas por el agua)</li> <li>-Velocidad del flujo (m/s)</li> <li>-Profundidad del agua (m)</li> </ul> <p>Otros parámetros de amenaza representados en el mapa tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Propagación de la inundación (Km/h)</li> <li>-Profundidad * Velocidad (m*m/s), el cual es un indicador del grado de amenaza.</li> </ul>
<b>ESCALA</b>	La escala estándar de los mapas de amenaza es de 1:2.000 a 1:25.000. Una escala de 1:10.000 es una buena escala de planeación con el fin de identificar estructuras que pueden ser inundadas. Los mapas cubren principalmente áreas pobladas, desarrolladas o en desarrollo, así como rutas de tráfico.
<b>PROPÓSITO Y USO</b>	<p>Los mapas de amenaza de inundación proporcionan información básica para desarrollar la orientación técnica sobre varios problemas de manejo de llanuras de inundación y ayudan a las diferentes partes interesadas, incluyendo los gobiernos locales a tomar decisiones en la gestión de inundaciones. Por tanto, son importantes para la evaluación del riesgo de inundación, el desarrollo de planes de mitigación de inundaciones, la preparación de esquemas de manejo integral del riesgo de inundación y en particular para la planificación urbana local.</p> <p>Los mapas de amenaza de inundación forman la base para los mapas de riesgo de inundación, mapas de emergencia de inundación y otros mapas relacionados.</p>
<b>EJEMPLO</b>	 <p><i>Mapa de profundidades de lámina de agua (m) para un período de retorno de 2.33 años del Municipio de Magangué</i></p>

TIPO DE MAPA	MAPA DE AMENAZA DE INUNDACIÓN
	 <p><i>Mapa de velocidades de flujo (m/s) para un período de retorno de 2.33 años del Municipio de Magangué</i></p>  <p><i>Mapa de Profundidad * Velocidad (m*m/s) para un período de retorno de 2.33 años del Municipio de Magangué</i></p>

TIPO DE MAPA	MAPA DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN
DEFINICIÓN	Los mapas de zonificación de inundaciones pueden considerarse mapas de amenaza de inundación "adaptados" con fines de planificación. Las zonas muestran las amenazas existentes, clasificadas como amenaza baja, media o alta.
CONTENIDO	Los planificadores se ocupan de localizar áreas con una exposición limitada a los peligros para diversos usos, tales como, los asentamientos humanos, las industrias, la infraestructura y la agricultura. La planificación del uso de la tierra no influye en los riesgos existentes, pero se pueden inducir cambios en el uso de la tierra. Esto es normalmente muy difícil ya que los derechos existentes deben ser compensados. Sin embargo, es la medida más efectiva para frenar el actual aumento continuo del riesgo y el potencial de daño. Los códigos de construcción deben estar vinculados a las zonas de amenaza. El requisito previo es que la construcción se adapte a la situación de amenaza.
EJEMPLO	 <p><i>Mapa de zonificación de amenaza por inundación para un período de retorno de 2.33 años para el municipio de Magangué.</i></p>

TIPO DE MAPA	MAPA DE VULNERABILIDAD DE INUNDACIÓN
<b>DEFINICIÓN</b>	Un mapa de vulnerabilidad de inundaciones indica el daño potencial a personas, bienes, infraestructura y actividades económicas expuestas a inundaciones, directa o indirectamente. Se puede presentar en términos cuantitativos o cualitativos a través de indicadores.
<b>CONTENIDO</b>	La vulnerabilidad a las inundaciones depende de las personas expuestas, los activos y la infraestructura, por un lado, y la magnitud del peligro por el otro (lo más relevante son la profundidad del agua, la velocidad del flujo y la duración de la inundación). Los mapas de vulnerabilidad pueden contener todos los grupos de información anteriores o crear cada uno como una capa independiente. Dependiendo de la escala, el contenido puede ser generalizado usando indicadores o detallado con prioridad a la exposición de grupos particulares de personas (por ejemplo, ancianos, discapacitados, etc.).
<b>ESCALA</b>	Las escalas entre 1:100.000 y 1:25.000 son apropiadas para obtener una visión general del daño potencial. Se necesitan escalas mayores (1:5.000 a 1:25.000) para la planificación de emergencia, mostrando, por ejemplo, población vulnerable, incluidas las personas de edad y los discapacitados, así como la infraestructura de la línea de vida.
<b>PROPÓSITO Y USO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los mapas de vulnerabilidad proporcionan la base para mapas de riesgo de inundación que apoyan las decisiones de gestión de riesgo de inundación y son la entrada necesaria para la planificación de emergencia.</li> <li>- Los mapas de vulnerabilidad son una base para la planificación de las contramedidas, pero no conducen directamente a la acción. Muestran las posibles consecuencias de un evento de inundación en la actividad humana.</li> <li>- Para desarrollar mapas de seguro, la vulnerabilidad de un área en términos monetarios es necesaria para evaluar sus riesgos.</li> </ul>
<b>APLICACIÓN ESPECÍFICA</b>	Los parámetros de vulnerabilidad pueden variar rápidamente con el tiempo. Por lo tanto, se debe construir una base de datos para permitir una actualización regular. Esto es de particular importancia para los mapas de vulnerabilidad que sirven de base para la planificación de emergencias.
<b>EJEMPLO</b>	 <p><i>Mapa de comunidad vulnerable. Muchenessa, Mozambique. Evaluación de la vulnerabilidad basada en la puntuación de la vulnerabilidad, tanto por los efectos de las inundaciones como por las sequías.</i></p>

TIPO DE MAPA	MAPA DE RIESGO DE INUNDACIÓN
<b>DEFINICIÓN</b>	Los mapas de riesgo de inundación integran las amenazas potenciales con las vulnerabilidades de actividades económicas cuando se exponen a inundaciones de un rango de probabilidades. El término "mapa de riesgo de inundación" se utiliza con frecuencia, pero a menudo no en su sentido estricto.
<b>CONTENIDO</b>	Los mapas de riesgo son una integración de mapas de amenazas y mapas de vulnerabilidad, mostrando el daño medio por unidad de área, a menudo expresado en términos monetarios (pérdida potencial por unidad de área y tiempo). El riesgo es el único parámetro que permite una comparación de los diferentes riesgos y es una necesidad en la evaluación económica. Aunque la pérdida de vidas se expresa a veces en términos monetarios, el riesgo para las personas se debe mostrar por separado, porque la aceptación difiere considerablemente para los diferentes usuarios del mapa.
<b>ESCALA</b>	Dado que el riesgo es un parámetro agrupado, los detalles son menos importantes y la escala puede variar de 1:25.000 a 1:2.000. Las diferencias pueden hacerse de acuerdo con su finalidad: el uso del suelo (asentamientos urbanos, industriales, agrícolas) o el tipo de daños (monetarios, ambientales y social).
<b>PROPÓSITO Y USO</b>	<p>Los mapas de riesgos en sentido estricto son un instrumento de evaluación. La comparación de los riesgos con y sin medidas se utiliza para demostrar la eficacia y la justificación económica, por lo tanto, apoyan el establecimiento de prioridades para las medidas de reducción de riesgos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestión de inundaciones: Al comparar diferentes mapas de riesgo (basados en escenarios con y sin contramedidas), el efecto global de las medidas puede evaluarse, tal como el análisis costo-beneficio.</li> <li>- Planificación del uso de la tierra: se ocupa del desarrollo futuro y, por lo tanto, necesita mapas de riesgos. En los mapas de riesgo, pueden verse las consecuencias de los errores del pasado.</li> <li>- Seguros: Los mapas de riesgo proporcionan información sobre el valor de los activos expuestos y ayudan a las compañías de seguros a fijar las primas para los contratos individuales.</li> </ul>
<b>EJEMPLO</b>	 <p><i>Mapa de riesgo de inundación para un período de retorno de 50 años (Izq.) y para 100 años (Der.) para Luuq, Somalia</i></p>

TIPO DE MAPA	MAPA DE EMERGENCIA DE INUNDACIÓN
DEFINICIÓN	Este mapa se basa en mapas de riesgo, vulnerabilidad y riesgo, dependiendo del propósito. La respuesta a las inundaciones necesita una preparación cuidadosa, ya que el tiempo para responder es un factor limitante. Los planes de preparación para emergencias se basan en varios escenarios probables que podrían desarrollarse durante las inundaciones, incluyendo los peores escenarios.
CONTENIDO	Advertencia, la planificación de emergencia y las operaciones de rescate están estrechamente vinculados. La previsión y la alerta son elementos esenciales en la gestión del riesgo para evitar la pérdida de vidas. Los mapas de inundación pueden definir la región o las ubicaciones para las cuales el pronóstico debe ser establecido y las rutas de la evacuación y la ubicación de los refugios seguros. Los mapas de emergencia de inundación se desarrollan sobre una base de necesidades. Sin embargo, el mapa de base adecuado y la información adicional son relevantes para una emergencia.
EJEMPLO	 <p><i>Mapa de emergencia de inundación en Budagalandi, Kenia (Izq.) y Mapa de preparación y gestión de emergencias Davos, Suiza.</i></p>

Dada la misión del IDEAM y el objetivo de la presente guía, a continuación se detalla la metodología de elaboración de los mapas de susceptibilidad, mapas de evento, mapas de amenaza y mapas de zonificación de la amenaza por inundación.

## 5 METODOLOGÍA PARA ELABORACIÓN DE MAPAS INUNDACIÓN

Tal como se presentó en el numeral anterior existen distintos tipos de mapa en función de la información disponible y de su objetivo, por tanto, antes de iniciar con un proceso de elaboración de un mapa de inundación se debe tener claro el objetivo y los recursos económicos y de personal disponibles. Dado lo anterior existen distintas etapas en el proceso de elaboración de un mapa de inundación: definición del objetivo del mapa, información necesaria para su elaboración, selección del método de elaboración y productos o salidas gráficas.

En el presente capítulo se profundizará en la metodología de elaboración de cuatro tipos de mapas: los mapas de susceptibilidad, mapas de evento, mapas de amenaza y mapas de zonificación de amenaza por inundación, teniendo en cuenta el objetivo principal de la presente guía.

### 5.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE MAPA

En la Figura 5-1 se presenta el diagrama de flujo donde se presentan los pasos a seguir y la información necesaria para la elaboración de los distintos tipos de mapa tal como se describe a continuación.

La primera etapa para la elaboración del mapa de inundación tiene que ver con definir el objetivo del mapa, lo cual debe dar respuesta a preguntas tales como:

- ¿Para qué se necesita el mapa?
- ¿Quién usará el mapa?
- Cuál es la cobertura espacial del mapa? (una zona de inundación particular, toda la corriente desde su nacimiento, solo la zona urbana, etc.)

La selección de los parámetros que van a ser representados en el mapa dependerá de la respuesta a estas y otras preguntas, de la información disponible, de los recursos económicos disponibles y de los potenciales beneficios que se pueden lograr con la elaboración del mapa.

Luego de definir el objetivo del mapa y a quién va dirigido se procede a seleccionar el tipo de mapa para posteriormente determinar la información necesaria para su elaboración, y en función de esta información disponible y los recursos económicos se define la metodología a partir de la cual se elaborará el mapa de inundación.

Por último los productos también varían en función del tipo de mapa y su calidad y resolución espacial y temporal dependen de la información a partir de la cual se produjo dicho mapa.

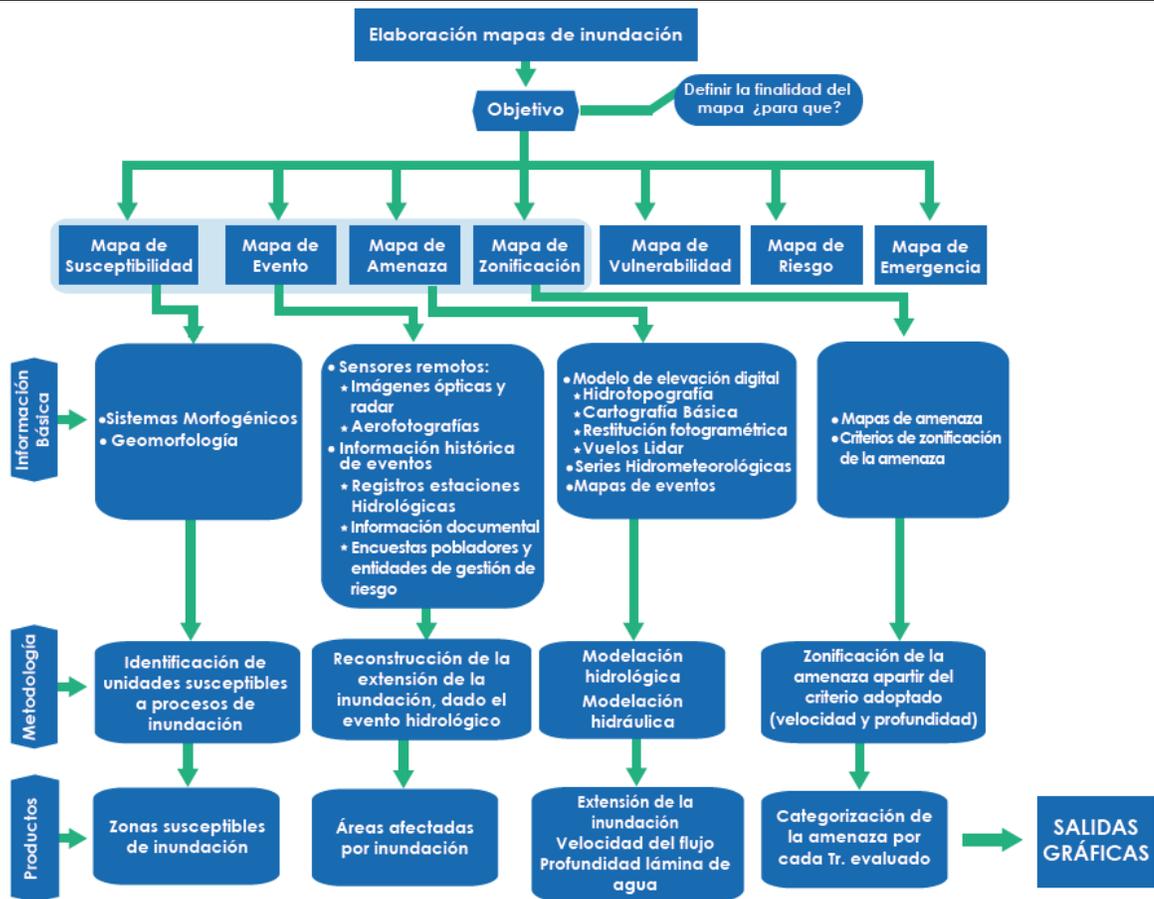


Figura 5-1 Diagrama de flujo e información necesaria para la elaboración de los mapas de inundación

## 5.2 MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD DE INUNDACIÓN

Para establecer la susceptibilidad a los procesos de inundación se partió de la información a escala nacional de los Sistemas Morfogénicos del Territorio Colombiano, (IDEAM 2010; escala 1:500.000). En particular se seleccionaron las unidades identificadas que se presentan en forma detallada en el Anexo 1, dado que para éstas se cuenta con información sobre los procesos dominantes y el tipo de amenaza con lo cual se seleccionan aquellas en que pueden presentarse inundaciones.

Se destacan las llanuras aluviales (incluyendo la Depresión Momposina) del sistema Magdalena-Cauca-San Jorge-Sinú en la vertiente del Atlántico, las de los ríos Atrato, San Juan, Patía y Micay en el Pacífico, las llanuras aluviales de los Llanos Orientales, las de los ríos Zulia y Catatumbo y el altiplano Cundiboyacense. Algunos municipios como Arauca y Montería (entre otros ejemplos) se establecieron inicialmente sobre los diques aluviales, geofoma en la que la dinámica aluvial implica amenazas por desborde y socavamiento y en el proceso de crecimiento, la construcción urbana se expande hacia las cubetas inundables. (IDEAM, 2010).

Dado que las crecientes súbitas son fenómenos de respuesta rápida detonados por lluvias intensas de corta duración o por la persistencia de lluvias en las cuencas de aporte, se identifican a las unidades denominados piedemontes como de alta susceptibilidad para que este fenómeno se presente de forma muy frecuente. (IDEAM, 2010).

Para las zonas en que se cuente con información geomorfológica y fisiográfica a escala más detallada (1:100.000, 1:25.000), se pueden utilizar unos criterios similares de selección de unidades que presentan procesos dominantes de inundación y desborde tanto en llanuras sometidas a régimen fluvial como en zonas de ladera y alta pendiente, en las cuales predomina régimen torrencial.

Particularmente en las cuencas de los ríos Atrato, Sinú y en la cuenca baja del río Magdalena se realizó una aproximación a los entornos geomorfológicos para la escala 1:100.000 a partir del procesamiento de información del modelo digital de terreno y con la aplicación de un índice de relieve relativo a la red de drenaje para integrarlo con información de cobertura del terreno y de esta forma establecer los mecanismos de inundación predominantes y algunos atributos de esos procesos de inundación en particular tipo de flujo, tiempo de arribo, extensión y duración del evento.

La información que se presenta en estos mapas es indicativa y se constituye en un referente para identificar zonas en las cuales se precisan análisis más detallados que permitan caracterizar de forma más precisa la dinámica de las inundaciones.

### 5.3 MAPAS DE EVENTO DE INUNDACIÓN

Para elaborar los mapas de evento de inundación se integra información proveniente de sensores remotos que permite identificar la extensión de la inundación a partir del procesamiento y análisis de las imágenes disponibles con las mediciones realizadas en campo para establecer otros atributos de alto interés para la caracterización del evento de inundación como altura de lámina de agua, tanto en estaciones hidrométricas de control como en sitios de interés (centros poblados, edificaciones, infraestructura para el suministro de servicios básicos, zonas de producción agrícola, entre otros) así como velocidad del flujo de agua y tiempo de arribo en los casos que las características del evento lo permitan.

También se pueden reconstruir eventos históricos a partir de la consolidación de imágenes de soporte para el periodo de análisis y establecer la extensión de la inundación asociada, aunque en estos casos es un poco más difícil caracterizar otros atributos del flujo, se pueden analizar los registros de las series de nivel y caudal con el ánimo de asociarlos en zonas que cuenten con información de las planicies de desborde y su relación con los sitios de medición existentes.

#### 5.3.1 Características de los insumos básicos: sensores remotos

La técnica de sensores remotos se fundamenta en la adquisición de información de la superficie terrestre sin tener un contacto directo con ella, gracias al análisis e interpretación de la energía reflejada de los diversos componentes que conforman la superficie terrestre.

Las imágenes provenientes de sensores remotos, son un insumo importante para la identificación y monitoreo de emergencias naturales (inundaciones, deslizamientos, incendios forestales, etc). Una imagen satelital se puede definir como la representación visual de la información capturada por un sensor montado en un satélite artificial. Estos sensores recogen la información reflejada por la superficie de la Tierra que luego es enviada de regreso a ésta y es procesada convenientemente<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen\\_satelital](http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen_satelital)

Los satélites pueden clasificarse según su finalidad específica y según el tipo de órbita que describan. De acuerdo a la finalidad es posible identificar

- (a) Satélites de comunicaciones: empleados para realizar telecomunicación (radio, televisión, telefonía),
- (b) Satélites meteorológicos: utilizados para la observación de variables meteorológicas principalmente el tiempo atmosférico y el clima de la Tierra,
- (c) Satélites de navegación: utilizan señales para conocer la posición exacta del receptor en la tierra, como los sistemas GPS, GLONASS y Galileo,
- (d) Satélites de reconocimiento: denominados “espía” son satélites de observación o comunicaciones utilizados por militares u organizaciones de inteligencia.
- (e) Satélites de observación de la tierra: incluyen todos aquellos que recopilan datos y envían esos datos a la tierra para su uso.
- (f) Satélites astronómicos: utilizados para la observación de planetas, galaxias y otros objetos astronómicos,
- (g) Satélites de energía solar, son una propuesta para satélites en órbita excéntrica que envíen la energía solar recogida hasta antenas en la Tierra como una fuente de alimentación,
- (h) Estaciones espaciales: estructuras diseñadas para que los seres humanos puedan vivir en el espacio exterior. Una estación espacial se distingue de otras naves espaciales tripuladas en que no dispone de propulsión o capacidad de aterrizar, utilizando otros vehículos como transporte hacia y desde la estación.

Los satélites de observación de la tierra se clasifican según la órbita y se dividen según su altura en<sup>9</sup>:

- Órbita baja terrestre (**LEO**): Son satélites de órbita baja están a una altura de 700 a 1400 km y tienen un período orbital de 80 a 150 minutos.
- Órbita media terrestre (**MEO**): Es de órbita mediana rota de 9 000 a 20 000 km y tiene un período orbital de 10 a 14 horas. También se la conoce como órbita circular intermedia.
- Órbita geoestacionaria (**GEO**): Es una órbita a una altura de 35 786 km sobre el ecuador terrestre. Tiene un período orbital de 24 horas permaneciendo siempre sobre el mismo lugar de la tierra.

Dentro de los satélites de observación de la tierra los sensores se clasifican en pasivos y activos, por esta razón las imágenes de satélite pueden ser ópticas o de radar. A continuación se presentan las principales características de cada una de estas imágenes, con una

### 5.3.1.1 Imágenes Ópticas

Son las imágenes que suministran los sensores pasivos y se caracterizan por recibir radiación emitida o reflejada por la Tierra, estas imágenes se ven afectadas por las condiciones meteorológicas especialmente la presencia de nubes. Dentro de las características importantes a tener en cuenta para las diferentes imágenes ópticas, se encuentran:

---

<sup>9</sup> <http://gabnav.coolinc.info/p3.htm>

**Resolución Temporal:** Frecuencia de paso del satélite por un mismo punto de la superficie de la tierra.

**Resolución Espacial:** Objeto más pequeño que se puede distinguir en la imagen. Está determinada por el tamaño del píxel.

**Resolución Espectral:** Los sensores están diseñados para captar imágenes en determinados rangos de longitudes de onda denominados bandas o canales. La resolución espectral se refiere al número y ancho de las bandas espectrales registradas por un sensor. Cuanto más estrechas sean estas bandas mayor será la resolución espectral.

Dentro de las más utilizados en Colombia, se tienen las provenientes de Landsat, Aster, Cibers, con resolución espacial de 30 m, UK DMC con 22 m de resolución y SPOT con resoluciones entre 20 y 10 m, RapidEye con 5m de resolución y la constelación de Digital Globe (EarlyBird-1, Ikonos, QuickBird, GeoEye-1 y WorldView 1,2,3,4); entre otras.

### 5.3.1.2 Imágenes de Radar

El Radar es el sensor activo de teledetección más difundido. La palabra radar es un acrónimo de Radio Detection And Range, que más explícitamente podría traducirse como “detección y medida de distancias por ondas de radio”. Un sistema de radar posee tres funciones primarias: (1) Emite señales de microondas (en sus principios fueron de radio, de ahí su nombre) hacia una escena. (2) Recibe la fracción de energía reflejada por la escena en su misma dirección y (3) Observa la intensidad (detección) y el retardo de tiempo (distancia) de las señales o eco de retorno.

Los satélites de tipo activo generan su propia radiación y reciben la rebotada, con lo cual aportan nuevos datos que complementan la información captada por los radiómetros y otros sensores de tipo pasivo<sup>10</sup>.

Los satélites más modernos basados en tecnología radar son: Radarsat, Envisat y ERS-2. Otro ejemplo de las aplicaciones del radar es la misión topográfica SRTM.

El sistema radar posee una antena que alternadamente transmite y recibe pulsos de microondas de longitudes de onda definidas comprendidas en el rango de 1 cm a 1m y polarizadas en un plano vertical u horizontal. Aproximadamente se emiten 1500 pulsos de alta energía por segundo y cada pulso tiene una duración de típicamente 10 a 50 microsegundos. Cuando el pulso de radar alcanza la superficie terrestre su energía se dispersa en todas direcciones, y parte de ella se refleja hacia la antena. Este eco o “backscatter” retorna al sensor de radar y es recibido por la antena con una polarización específica (horizontal o vertical, pero no necesariamente la misma del pulso emitido). Los ecos recibidos son digitalizados y registrados para su posterior procesamiento y conversión en una imagen. Dado que los pulsos de radar se propagan con la velocidad de la luz es evidente que midiendo el tiempo necesario para su viaje de ida y vuelta podrá calcularse la distancia al objeto reflector.

En el caso de los sensores de radar podremos hablar de dos tipos de resolución. El pulso usualmente cubre una pequeña banda de frecuencias (ancho de banda) centrada en la frecuencia seleccionada por el sistema de radar. Este ancho de banda determina la resolución en la dirección del objeto iluminado. Mayores anchos de banda condicionan resoluciones más finas en dicha dirección. Por otra

---

<sup>10</sup> Fernández-Coppel, 2001, p49

parte, la longitud de la antena de radar determina la resolución en la dirección del trayecto del satélite: cuanto más larga es la antena más fina es la resolución en dicha dimensión. Es así que se desarrolló una técnica, denominada radar de apertura sintética (Synthetic Aperture Radar – SAR), que consiste en sintetizar una antena muy larga combinando señales recibidas por el radar a medida que recorre su trayecto.

Las imágenes de radar están compuestas por píxeles, cada uno de los cuales representa el eco proveniente de un área correspondiente sobre el terreno: zonas oscuras en la imagen representan bajo retorno de energía hacia el radar, zonas brillantes corresponden a alto retorno. Dicho retorno está condicionado por una serie de factores, algunos dependientes de los parámetros del sistema, otros dependientes de los parámetros del área de interés y finalmente otros resultantes de las interacciones entre los anteriores.

Las principales características de un sistema de RADAR son<sup>11</sup>:

- **Rango de Resolución:** El rango de resolución está limitado fundamentalmente por el ancho de banda del pulso transmitido. Un ancho de banda puede ser obtenido por un pulso de corta duración. Sin embargo, entre más corto sea el pulso, menor será la energía transmitida y más pobre su resolución radiométrica.
- **Longitud de Onda:** Las ondas de radio es la región del espectro electromagnético que tienen longitudes de onda mucho más largas que las de la luz visible, es decir, están en el dominio de un centímetro. La penetración es el factor clave para la selección de la longitud de onda. Cuanto mayor sea la longitud de onda (la frecuencia más corta), el más fuerte es la penetración en la vegetación y el suelo. Las longitudes de onda más utilizadas en general son:
  - Banda P- = ~ 65 cm AIRSAR
  - Banda L = ~ 23 cm JERS-1 SAR, ALOS PALSAR
  - Banda S = ~ 10 cm Almaz-1
  - Banda C = ~ 5 cm ERS-1/2 SAR, RADARSAT-1/2, ENVISAT ASAR, RISAT-1
  - Banda X = ~ 3 cm TerraSAR-X-1, COSMO-SkyMed
  - Banda K = ~ 1.2 cm Dominio Militar
- **Polarización:** Es la orientación del campo. Los radares pueden transmitir y recibir señales en polarización horizontal (H) o polarización vertical (V).
  - HH – Transmite horizontal y recibe horizontal
  - VV – Transmite vertical y recibe vertical
  - HV – Transmite horizontal y recibe vertical
  - VH – Transmite vertical y recibe horizontal
- **Angulo de incidencia.** Se define como el ángulo formado por el haz de luz del radar, y una línea perpendicular a la superficie del terreno. Las interacciones entre las microondas con la superficie son complejas y las reflexiones diferenciales pueden ocurrir en diferentes regiones angulares. Esta dependencia angular de la retrodispersión del radar puede ser aprovechada al elegir una configuración óptima para diversos usos.

<sup>11</sup> RED, 2011, p21-24

En particular para la evaluación de las afectaciones por inundaciones asociadas al evento La Niña 2010-2011 se emplearon las imágenes que se detallan en el anexo 1 como fuente de datos básicos para elaborar el análisis.

## 5.4 MAPAS DE AMENAZA POR INUNDACIÓN

Los mapas de amenaza de inundación hacen parte de las medidas preventivas de tipo no estructural para la gestión integral del riesgo de inundaciones (Instituto Geológico y Minero de España, 2008). Tal como se describió anteriormente un mapa de amenaza de inundación provee información gráfica de la inundación esperada, tal como, alturas de la lámina de agua, profundidades, velocidades del flujo, extensión de la inundación y tiempo de permanencia, ya sea para un evento de una probabilidad dada o varias probabilidades.

Método	Fortaleza	Limitación	Oportunidad
<b>Método empírico</b>	Relativamente fácil y rápido de implementar	No es predictivo	Monitoreo de inundaciones
	Basado en observaciones	No se puede ligar a la hidrología (difícilmente se puede usar en modelación de escenarios)	Evaluación de daños por inundación
	La estimación derivada de la inundación es independiente	Resolución espacial y temporal gruesa (Aunque mejorando)	Sirve como observaciones para apoyar la calibración, validación y asimilación de datos para otros métodos.
	La tecnología está mejorando rápidamente	Limitaciones ingenieriles (sensores, aviones, dispositivos de transmisión)	
		Limitaciones ambientales (nubes, viento, condiciones climáticas peligrosas, otras restricciones ambientales)	
		Limitaciones de procesamiento (algoritmos, errores artificiales...)	
<b>Modelación hidrodinámica</b>	Directamente ligado a la hidrología	Requerimiento alto de datos	Evaluación de riesgo por inundación
	Mapeo detallado del riesgo de inundación	Computacionalmente intensivo	Evaluación de daños por inundación

<b>Método</b>	<b>Fortaleza</b>	<b>Limitación</b>	<b>Oportunidad</b>
	Puede tener en cuenta estructuras y características hidráulicas	Los errores de entrada se pueden propagar en el tiempo	Pronóstico de inundación en tiempo real
	Cuantifica tiempo y duración de la inundación con gran exactitud		Ingeniería relacionada con inundaciones
			Planeación de recursos hídricos
			Erosión de riberas del río
			Transporte de sedimentos en la llanura de inundación
			Transporte de contaminantes
			Ecología de la llanura de inundación
			Hidrología del sistema hidrográfico
			Hidrología de la cuenca hidrográfica
		Modelación de escenarios	
<b>Modelos conceptuales simplificados</b>	Computacionalmente eficientes	No involucra los términos inerciales (no es aplicable para flujo rápidamente variado)	Evaluación de riesgo por inundación
		No representa la dinámica de flujos pequeños	Planeación de recursos hídricos
			Ecología de la llanura de inundación
			Hidrología del sistema hidrográfico
			Hidrología de la cuenca hidrográfica
			Modelación de escenarios

**Tabla 5-1 Resumen comparativo de las fortalezas y debilidades de diferentes enfoques de modelación (Teng , y otros, 2017)**

Para lograr su elaboración es necesaria la realización de modelos de tipo hidrológico e hidráulico con el fin de determinar el comportamiento hidrológico de la cuenca y el comportamiento hidrodinámico del cuerpo de agua y de esta manera generar los mapas de velocidades y profundidades de lámina de agua, los cuales son las principales variables a ser usadas en la elaboración del mapa de amenaza por inundación y el mapa de zonificación de amenaza por inundación.

### 5.4.1 Metodología para elaboración de los mapas de amenaza por inundación

Tal como se presente en la Figura 5-2 la metodología para elaborar el mapa de inundación consta de cinco pasos: obtención de información gráfica de un evento ocurrido, modelación hidrológica, obtención de un modelo digital de terreno, modelación hidráulica y generación de mapas de profundidad y velocidad (Amenaza).



Figura 5-2 Metodología análisis de inundaciones

#### 5.4.1.1 Información gráfica de un evento ocurrido

#### 5.4.1.2 Modelación hidrológica

Para la elaboración de un mapa de amenaza por inundación se requiere la determinación del caudal de creciente para el período de retorno deseado, para lo cual se puede hacer uso distintos análisis hidrológicos en función de la calidad y cantidad de información existente para el sitio de interés.

Si existen registros de caudal en el sitio de interés, puede llevarse a cabo un análisis de frecuencia de caudales máximos.

Si no hay registros de caudal disponibles, se debe llevar a cabo un análisis de transformación de lluvia en escorrentía con el fin de determinar el caudal para el período de retorno deseado.

Cuando al punto de interés confluye una cuenca compuesta por varias subcuencas representativas se determina el hietograma de lluvia para el período de retorno deseado, se encuentra un hidrograma unitario sintético de cada subárea de la cuenca y se calcula el hidrograma de escorrentía directa de cada subcuenca. Dichos hidrogramas se transitan aguas abajo y se suman para determinar el hidrograma de escorrentía directa total en la parte más baja de la cuenca de drenaje. El caudal pico del hidrograma del punto localizado en el extremo aguas abajo se utiliza como el caudal de la creciente de diseño.

#### 5.4.1.2.1 Con registros de caudal en el sitio de interés

En el caso de contar con una estación limnimétrica o limnigráfica en el sitio de interés con datos históricos de caudal máximo instantáneo, se toman sus valores máximos instantáneos anuales, se ajustan a distribuciones probabilísticas conocidas, y se hacen inferencias estadísticas.

Se debe tener en cuenta que los caudales máximos instantáneos son los valores de caudal máximo que cruzan por una sección hidrométrica en una corriente, y son registrados en estaciones limnigráficas o limnimétricas a través de datos de lecturas de miras máximas instantáneas, integradas con la respectiva curva de calibración de caudales líquidos.

Se debe tener en cuenta que las estaciones limnimétricas solamente se pueden calcular valores puntuales de caudal en las horas del día en las cuales se leen las lecturas de mira de las mismas.

#### 5.4.1.2.2 Con registros de caudal en la misma corriente pero no en el sitio de interés: Transposición de datos de caudal

Cuando la estación limnimétrica o limnigráfica se encuentre en la misma cuenca hidrográfica pero no en el sitio de interés se pueden transferir caudales máximos instantáneos anuales de diferentes periodos de retorno de esta estación hasta el sitio de interés, mediante relaciones de áreas de drenaje, así:

$$Q_{SP} = Q_{EH} \times (A_{SP}/A_{EH})^x$$

Dónde:

*Q<sub>SP</sub>*: Caudal en el sitio de proyecto, en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s).

*Q<sub>EH</sub>*: Caudal en la estación limnimétrica o limnigráfica, en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s).

*ASP*: Área de la cuenca hidrográfica hasta el sitio de proyecto, en kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>).

*AEH*: Área de la cuenca hidrográfica hasta la estación limnimétrica o limnigráfica, en kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>).

El exponente *x* es un valor que fluctúa usualmente entre 0.5 y 0.75. A falta de datos de investigación, se acostumbra tomar un valor igual a 0.5.

Para la aplicación de esta metodología la diferencia entre las áreas de drenaje no podrá ser mayor o menor al 50 % del valor original del área de drenaje.

Cabe aclarar que esta metodología se puede aplicar para cuencas hidrográficas que sean hidrológica y climatológicamente homogéneas.

#### 5.4.1.2.3 Con registros de caudal en la misma cuenca pero no en el sitio de interés: Análisis regional de caudales máximos instantáneos anuales

Cuando se cuenta con varias estaciones hidrométricas con datos de caudales máximos instantáneos anuales históricos en una región de cierta magnitud e hidrológicamente homogénea, se puede aplicar el método del análisis regional de frecuencias de esta variable hidrológica.

Para ello, se sigue la siguiente metodología:

a) Se calculan los valores de caudal para diferentes periodos de retorno en cada una de las estaciones hidrométricas.

b) Se calcula la relación generalizada para la región, entre el caudal con periodo de retorno de 2.33 años  $Q_{2.33}$  (caudal promedio en la distribución Gumbel) y el área de drenaje  $A$ , con base en los datos de cada una de las estaciones hidrométricas.

$$Q_{2.33} = f(A)$$

c) Para cada estación, se calcula la relación entre el caudal para cada periodo de retorno  $T$  definido (dando valores de periodos de retorno iguales a 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años) y el caudal con periodo de retorno de 2.33 años  $Q_T/Q_{2.33}$ .

d) Se debe realizar un ensayo de homogeneidad estadístico, con el fin de asegurar que los datos obtenidos correspondan a una región hidrológicamente homogénea. Si el resultado de una de las estaciones queda por fuera de la franja de confianza del referido ensayo, se debe eliminar tal valor. La pregunta de si los datos en un grupo de estaciones son homogéneos, se puede contestar en un sentido estadístico determinando si ellos difieren de uno a otro por cantidades que no pueden ser explicadas al azar. Por otro lado, donde esas diferencias no son más que debidas a la casualidad, se puede concluir que los datos representan aspectos diferentes de la misma entidad y, por consiguiente, pueden ser tenidos como homogéneos.

e) Se calcula el valor promedio o el valor mediano de la relación  $Q_T/Q_{2.33}$  para la región para los diferentes periodos de retorno considerados, con base en los valores individuales para cada estación.

f) Para una estación no aforada en la región con un área de drenaje  $A$ , el valor del caudal con un periodo de retorno determinado  $Q_T$  se calcula estableciendo, en primer lugar, el valor del  $Q_{2.33}$  con la relación generalizada  $Q_{2.33} = f(A)$  para la región y, luego, utilizando la relación generalizada  $Q_T/Q_{2.33}$  para la referida región.

Aunque esta metodología es relativamente antigua, aún hoy en día conserva su validez por su respaldo académico y sencillez.

#### 5.4.1.2.4 Sin registros de caudal: Modelos lluvia escorrentía

Los modelos de transformación lluvia en escorrentía son utilizados cuando no existe la posibilidad de obtener medidas directas de caudales de drenaje en las cuencas hidrográficas.

Dichos modelos calculan la escorrentía superficial a partir de datos históricos de lluvias de corta duración existentes en la cuenca de interés y representativas de ella, en función de sus características geométricas, de suelos, vegetación y usos del suelo.

Se pueden utilizar metodologías tales como, el método racional, método del hidrograma de escorrentía superficial o modelos computacionales como el HEC-HMS.

## Método del hidrograma de escorrentía superficial

Este método es utilizado para áreas de drenaje mayores a 2.5 km<sup>2</sup>. Sherman, el autor de la metodología, lo propuso para áreas de drenaje de hasta 20 km<sup>2</sup>, pero es usual utilizarlo en hidrología para valores mayores.

Este método está definido como el hidrograma de escorrentía superficial total resultante de un volumen unitario de lluvia neta, uniformemente distribuido en espacio y tiempo. La altura de la lluvia neta o efectiva corresponde con la altura de escorrentía superficial total del hidrograma unitario.

Para problemas de drenaje superficial se supone, por seguridad, que antes del evento de la precipitación de diseño ha llovido en la cuenca y que, por lo tanto, la intercepción y la detención superficial ya han sido copadas; por lo que la lluvia o precipitación efectiva o neta es igual a la precipitación total menos la intercepción menos la detención superficial menos la infiltración.

De nuevo, las lluvias netas se suponen de distribución uniforme y de intensidad constante en toda el área de drenaje de la cuenca.

## Modelos computacionales

Cuando las áreas de drenaje en una cuenca son mayores a 20 km<sup>2</sup>, se aconseja subdividirla en subcuencas y aplicar modelos computacionales para tener en cuenta el hidrograma de creciente producido por cada una de las subcuencas y su tránsito a través del canal principal de la misma y así obtener el hidrograma resultante en el punto de interés, del cual se extrae el caudal pico para determinado período de retorno. Por tanto el hidrograma total resultante es la suma de las ordenadas de los diversos hidrogramas para cada valor constante de tiempo.

A continuación se presentan algunos programas y sus respectivas características para modelación hidrológica.

NOMBRE	AUTOR	CARACTERISTICAS
U.S. Geological Survey (USGS) Model	Dawdy et al. (1970, 1978)	Orientado a procesos. Procesos continuos. Modelación eventos lluvia escorrentía
Storm Water Management Model (SWMM)	Metcalf y Eddy et al (1971)	Modelo semidistribuido. Modelos de flujo de tormenta continuo
	Huber y Dickinson (1955)	
	Huber (1005)	
Physically Based Runoff Production Model (TOPMODEL)	Beven y Kirby (1976-1979)	Físicamente basado. Distribuido. Modelo continuo de simulación hidrológica.
	Beven (1995)	
Generalized River Modeling Package - Systeme Hydroloque Europeen (Mike SHE)	Relfsgard y Storm (1995)	Físicamente Basado. Distribuido. Modelo continuo de simulación hidrológica e hidráulica.
Cascade two dimensional Model (CASC2D)	Julien y Shasafian (1991)	Físicamente Basado. Distribuido. Modelo de simulación de escorrentía
	Ogden (1998)	
Soil Water Assesment Tool (SWAT)	Arnold et al (1998)	Distribuido. Conceptual. Modelos de simulacion continua
Hidriological Modeling System (HMS)	Yu (1996)	Físicamente basado. Parámetros Distribuidos. Modelo continuo de simulación hidrológica.
	Yu y Schwartz (1998)	
	Tu et al (1999)	
Soil-Vegetation-Atmosfere Transfer (SVAT) Model	Ma et al (1999)	Macroescala. Modelación de caudales aguas abajo del rio
	Ma y Chens (1998)	
Climate. Soil and Vegetation	Eagleson (1978)	Modelo estocastico. Modelo de balance hidrico anual.

**Tabla 5-2 Software para modelación hidrológica**

### 5.4.1.3 Modelación hidráulica

La modelación hidráulica parte de diferentes aproximaciones al flujo de agua en la naturaleza (unifásico, bifásico, unidimensional, bidimensional, tridimensional, permanente, no permanente), que

---

simplifican las ecuaciones físicas que lo modelan, cuya resolución permite estimar parámetros tales como profundidad, velocidad y energía (Instituto Geológico y Minero de España, 2008).

La primera decisión que se debe tomar cuando se pretende desarrollar un modelo hidráulico de inundaciones es el tipo de modelo a utilizar. Existen diferentes tipos de modelos según la complejidad espacial de las ecuaciones que soluciona el mismo: unidimensionales, bidimensionales y tridimensionales (1D, 2D, 3D). Para la solución de estos modelos existen diferentes programas computacionales, tanto de distribución gratuita como comerciales.

Luego de seleccionar el tipo de modelo y el programa computacional a utilizar, el modelador necesita decidir la esquematización del modelo (resolución espacial y temporal, esquematización de las edificaciones y otra infraestructura tales como puentes, etc.) y los procesos tenidos en cuenta (afectación de los vientos, evaporación, etc.).

En la Tabla 5-3 se presentan una variedad de modelos disponibles para realizar la modelación de inundaciones. Dicha tabla presenta claramente cada una de las características que deben ser tenidas en cuenta para la selección apropiada de un modelo hidráulico en particular, tales como la escala del problema, los recursos computacionales disponibles y las necesidades del usuario. Igualmente se identifican los procesos representados en cada uno de los modelos.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN	EJEMPLO DE MODELOS	DATOS DE ENTRADA	DATOS DE SALIDA	TIEMPO COMPUTACIONAL (AÑO 2006)
0D	No es físicamente basado	Evalúa la extensión de la inundación y las profundidades de inundación	AgcGIS Delta mapper	MDE (DEM) Altura de lámina de agua aguas arriba Altura de lámina de agua aguas abajo	Extensión de la inundación y profundidad del agua a través de la intersección entre la lámina de agua y el MDE.	Segundos
1D	Soluciona las ecuaciones de Saint Venant 1D	Diseño a escala del modelo, la cual puede ser del orden de 10s a 100s de km dependiendo del tamaño de la cuenca	Mike 11 HEC-RAS SOBEK-CF Infoworks RS (ISIS)	Secciones transversales del cauce ppal y la llanura de inundación. Hidrogramas de caudal aguas arriba. Hidrógrafas de altura aguas abajo.	Profundidad del agua y velocidad media en cada sección transversal. Extensión de la inundación por la intersección de la profundidad del agua simulada con el MDE. Hidrograma de salida aguas abajo.	Minutos
1D+	Enfoque 1D+ con celdas de almacenamiento para la simulación del flujo en las llanuras de inundación	El diseño de la escala del modelo puede ser del orden de 10s a 100s de km dependiendo del tamaño de la cuenca, con potencial de aplicación en escalas mayores si se utilizan datos escasos de secciones transversales	Mike 11 HEC-RAS SOBEK-CF Infoworks RS (ISIS)	Igual a los modelos 1D	Igual a los modelos 1D	Minutos a horas
2D-	Ley de conservación de momentum 2D- para la llanura de inundación	Gran escala de modelación para inundaciones urbanas dependiendo de las dimensiones de las celdas	LISFLOOD-FP	MDE (DEM) Hidrogramas de caudal aguas arriba. Hidrógrafas de altura aguas abajo.	Extensión de la inundación y profundidad del agua. Hidrograma de caudal de salida aguas abajo.	Horas

Tabla 5-3 Descripción general de los tipos de modelos hidráulicos existentes<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Adaptada de (Flood Site, 2009)

MÉTODO	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN	EJEMPLO DE MODELOS	DATOS DE ENTRADA	DATOS DE SALIDA	TIEMPO COMPUTACIONAL (AÑO 2006)
2D NC	Soluciona las ecuaciones de onda poco profunda bidimensionales en la forma no conservativa	Diseño de la escala del modelo del orden de 10s km. Podría tener el potencial para ser usado en modelación de escalas amplias si se aplica con mallas secundarias. No es adecuado para simulaciones de modelos transcíticos y flujos de rompimiento de presas.	TUFLOW	MDE Hidrogramas de caudal aguas arriba. Hidrografas de altura aguas abajo.	Extensión de la inundación Profundidades Velocidades promedio en la vertical en cada nodo computacional Hidrograma de caudal de salida aguas abajo	Horas a días
2D C	Soluciona las ecuaciones de onda poco profunda bidimensionales en la forma conservativa	La misma que 2D NC más la capacidad de modelar exactamente flujos transcíticos, rompimiento de presas y flujos de transientes rápidos	Mike 21 TELEMAC SOBEK-OF Delft-FLS Infoworks	Igual que 2D NC	Igual que 2D NC	Horas a días
2D+	Solución 2D plus para las velocidades en la vertical usando sólo la ecuación de continuidad	Modelación de costas donde los perfiles de velocidad 3D son importantes. Ha sido también aplicado para modelación de ríos en proyectos de investigación	TELEMAC 3D Delft-3D	MDE Hidrogramas de caudal aguas arriba. Distribución de velocidades de entrada. Hidrografas de altura aguas abajo.	Extensión de la inundación Profundidades de la lámina de agua Velocidades u, v y w para cada celda computacional. Hidrograma de caudal de salida aguas abajo.	Días
3D	Solución 3D de las ecuaciones tridimensionales de Navier Stokes y Reynolds promedio	Predicciones tridimensionales de campos de velocidades en los cauces principales y llanuras de inundación	CFX FLUENT PHEONIX	MDE Hidrogramas de caudal aguas arriba. Distribución de velocidades de entrada y distribución de energía cinética turbulenta Hidrografas de altura aguas abajo.	Extensión de la inundación Profundidades de la lámina de agua Velocidades u, v y w, energía cinética turbulenta para cada celda computacional. Hidrograma de caudal de salida aguas abajo.	Días

Tabla 5-2 Descripción general de los tipos de modelos hidráulicos existentes (continuación)<sup>13</sup>.

<sup>13</sup> Adaptada de (Flood Site, 2009).

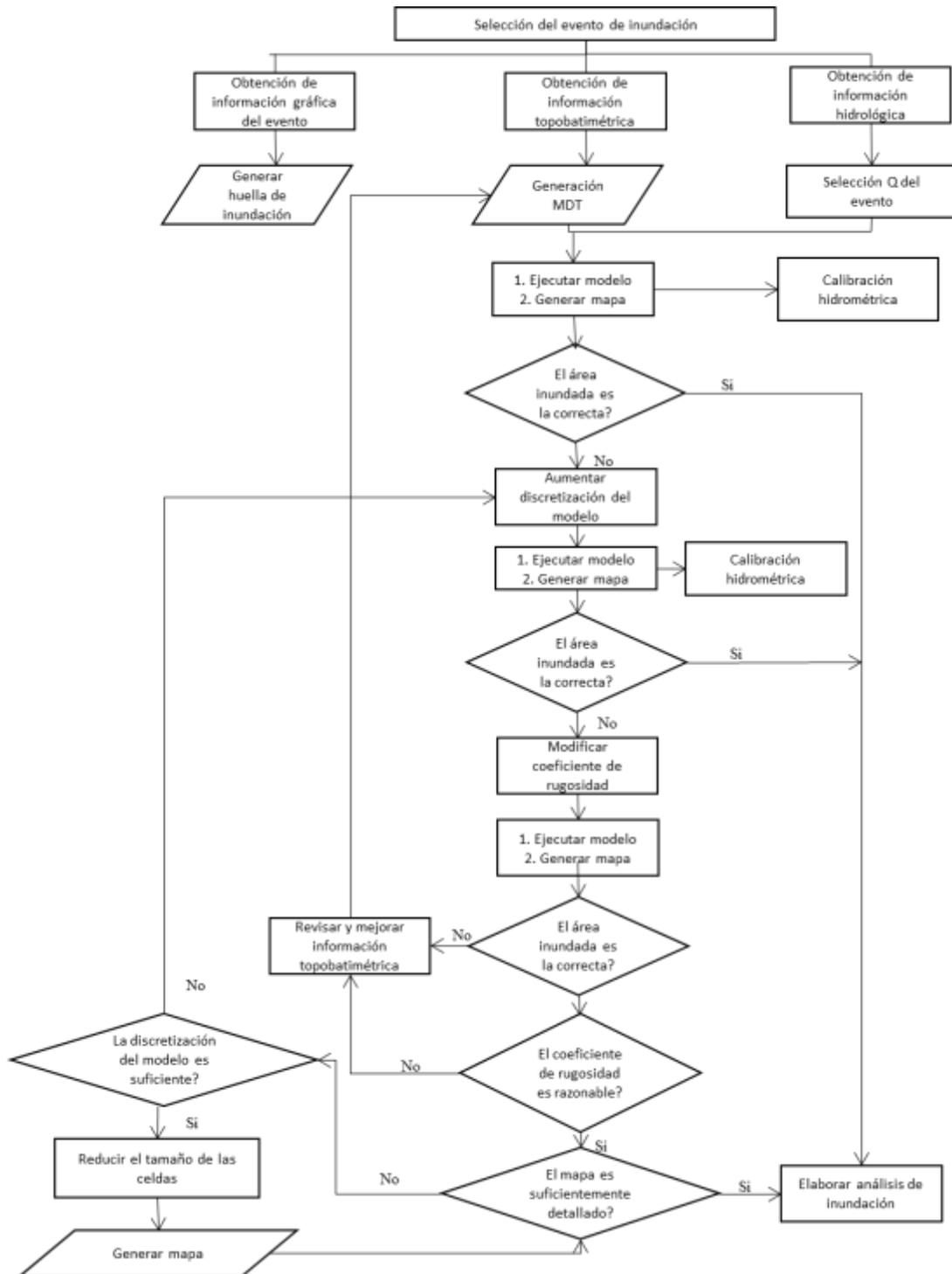


Figura 5-3 Diagrama de flujo metodología de modelación hidráulica de inundaciones<sup>14</sup>.

<sup>14</sup> Fuente: (Arbelaez Salazar & Diaz Granados, 2011)

#### 5.4.1.4 Modelo Digital de Elevaciones (MDE)

Los Modelos Digitales de Elevación (DEM por sus siglas en inglés) se definen como un conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de la altitud en una zona determinada. Se puede considerar que un DEM contiene información de dos formas. La primera es explícita mediante los propios datos contenidos en el modelo y la segunda es una información implícita, en el sentido de que intervienen las relaciones espaciales entre los objetos o datos, relaciones que pueden considerarse incluidas en el modelo, del mismo modo que los propios datos (Felicísimo, 1994).

Ambos tipos de datos, aunque complementarios, permiten obtener información de diferente carácter. Del primer tipo se derivan los descriptores de carácter global como, por ejemplo, los estadísticos básicos del modelo (media, varianza, etc.) o la dimensión fractal. Estos descriptores están destinados a dar una información sintética sobre el terreno y a resumir características generales, pudiera darse el caso de que modelos diferentes puedan coincidir en sus valores. El segundo tipo de información se utiliza sobre todo para construir modelos derivados que dan cuenta de nuevas variables topográficas (pendiente, rugosidad, etc.). Para ello se utiliza la información estructural implícita en el modelo digital y, por tanto, en las relaciones topológicas de los datos (Munar, 2010).

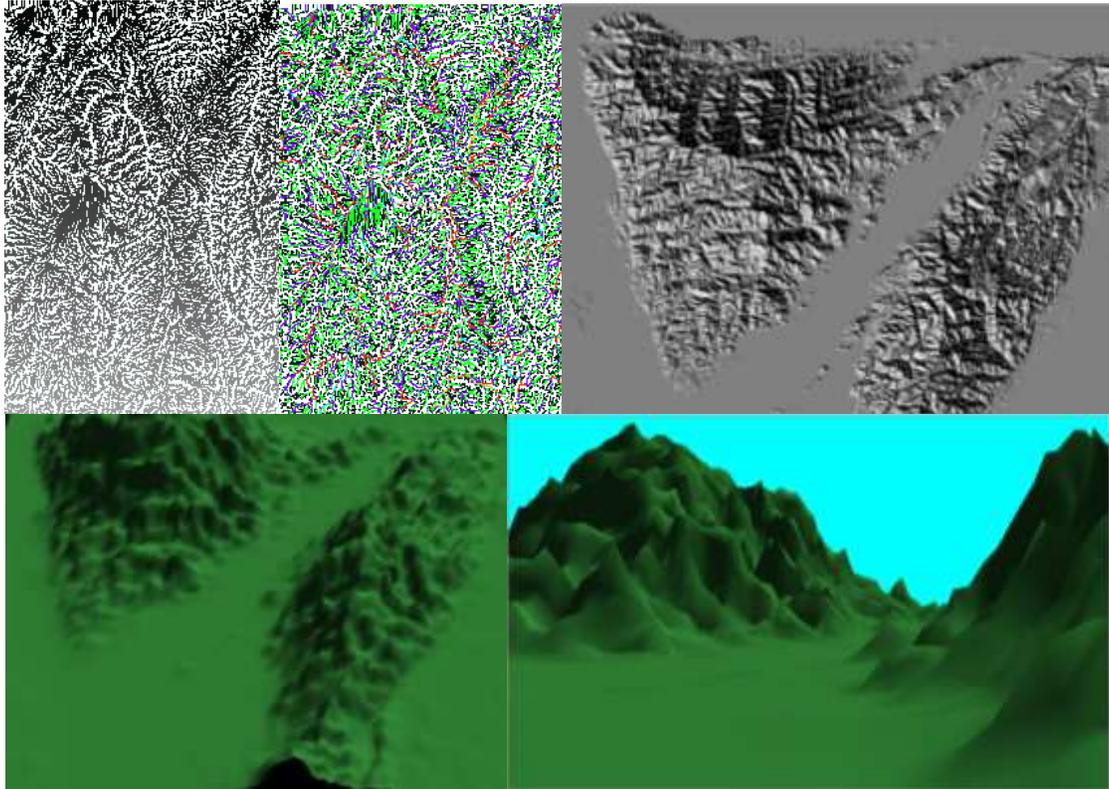


Figura 5-4 Representaciones con DEM

Existen varias fuentes de datos para producir un DEM:

- A. **Mapas topográficos existentes:** Originados a partir de curvas de nivel de planchas cartográficas, las cuales deben ser digitalizadas (escaneadas y luego digitalizadas en pantalla) para convertir estas imágenes en líneas.



Figura 5-5, Digitalización de cartografía

- B. **Técnicas de levantamiento del terreno:** La precisión depende de los puntos levantados y de los instrumentos usados para su captura, existe el método tradicional y el que usa instrumentos de alta tecnología como estaciones totales.



Figura 5-6 Levantamiento topográfico

- C. **Sensores remotos:** Son datos obtenidos a partir de satélites, aviones, drones. Sin importar la fuente de la información, existen tres tipos de técnicas para interpretar estos datos: (i) Fotogrametría/métodos de estereoscopia (abarca satélites, aviones y drones), (ii) Laser/Lidar (actualmente en aviones y drones, en el futuro en satélites, y (iii) Radar (tanto en satélites como en aviones – usando interferometría).



Figura 5-7 Fotogrametría con métodos de estereoscopia

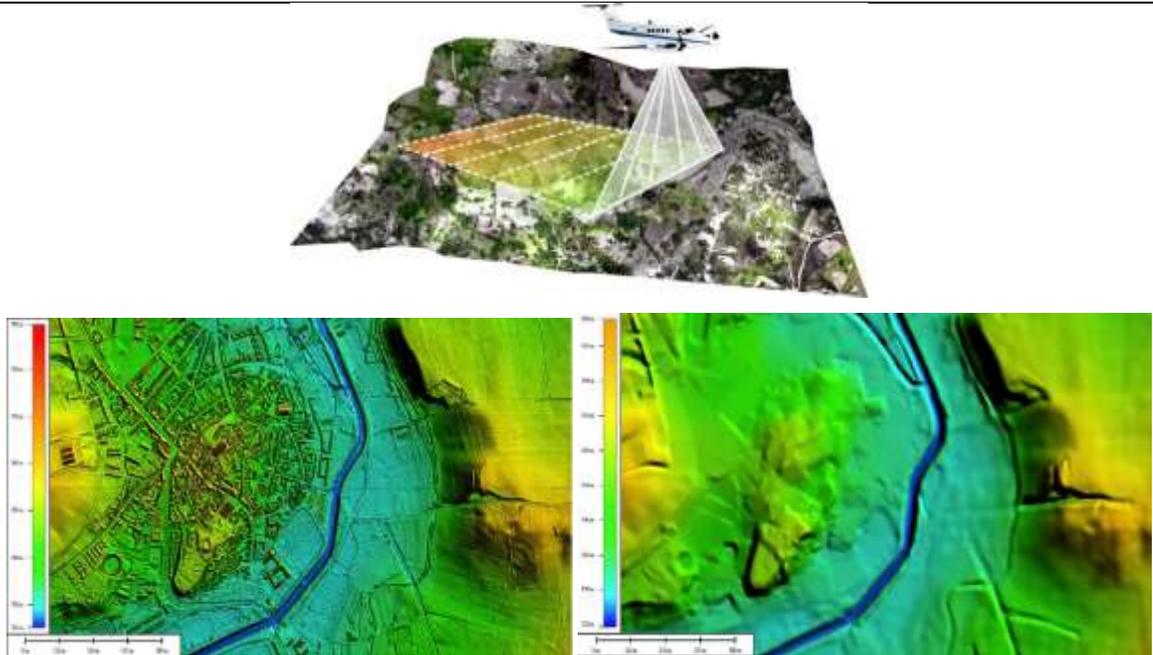


Figura 5-8 Comparación de MDE obtenido por LIDAR y por Fotogrametría

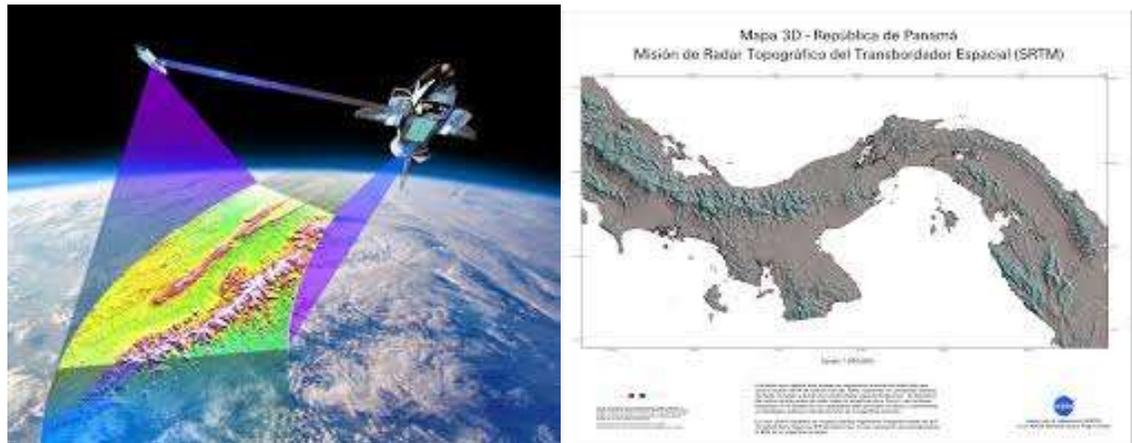
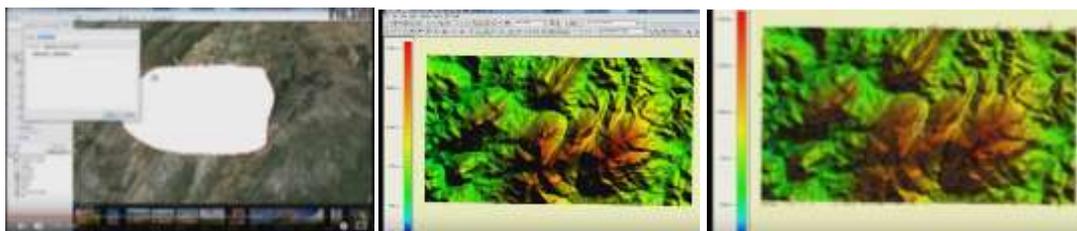
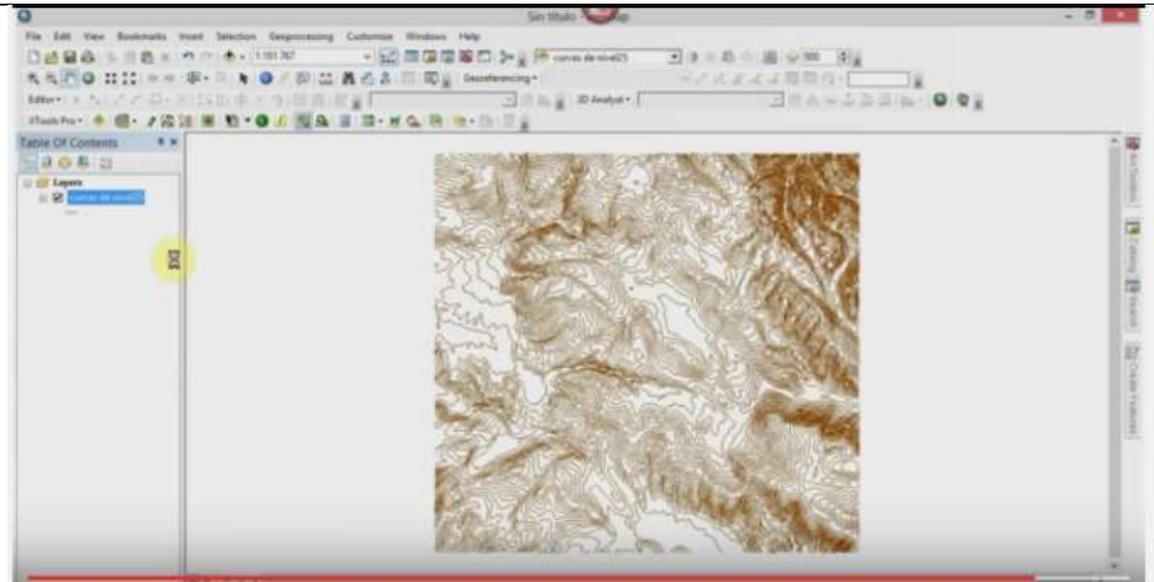


Figura 5-9, Misión SRTM (Radar – Interferometría)

- D. **Bases de Datos Globales:** Google Earth, permite descargar curvas de nivel con datos de altura, utilizando Global Mapper. En internet existen varias tutoriales que permiten realizar este proceso. Las curvas de nivel finalmente se pueden convertir en un DEM. Es importante mencionar que se recomienda utilizar este proceso para zonas pequeñas.





**Figura 5-10 Curvas de nivel con Google Earth**

El modelo digital de terreno más conocido es el Modelo Digital de Elevaciones (DEM), el cual representa la cota del terreno en relación con un sistema de referencia concreto; sin embargo en la actualidad las empresas prestadoras de servicios ofrecen el Modelo Digital de Superficie, el cual se refiere a la superficie de la tierra e incluye todos los objetos que esta contiene (Vegetación, edificios, entre otros).

Para generar Modelos Digitales de Terreno continuos es preciso integrar la información correspondiente a la superficies subacuáticas y para ello se cuenta con las técnicas de levantamientos topobatimétricos que incluyen tanto batimetría como hidrotopografía. En la batimetría se realiza el levantamiento del relieve de las superficies subacuáticas, como lagos, lagunas, embalses y ríos para obtener la planimetría y altimetría de terrenos cubiertos por agua.



**Figura 5-11 Batimetría**

En los levantamientos hidrotopográficos recientes que ha realizado el IDEAM a través de la Subdirección de Hidrología, se obtiene tanto la batimetría del cuerpo de agua como la topografía de orillas y las zonas de planicie que bordean dicho cuerpo de agua.



Figura 5-12 Equipos empleados para levantamientos batimétricos y topográficos realizados por IDEAM

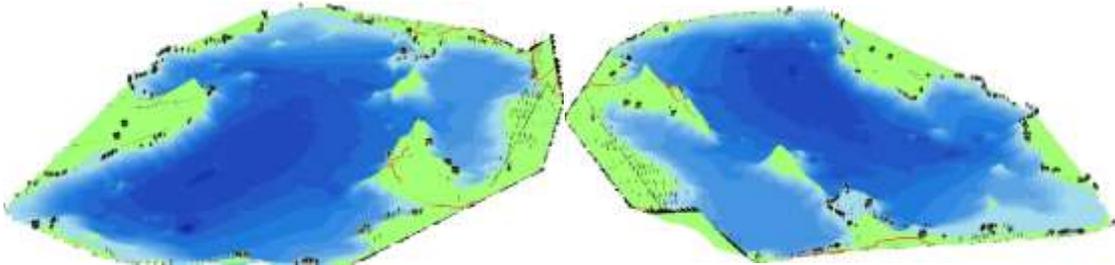


Figura 5-13 Resultados integrados de levantamientos batimétricos y topográficos en el Lago de Tota. IDEAM 2012

#### 5.4.1.5 Validación de los modelos hidráulicos

Para la cuantificación del desempeño de modelo mediante interpretación de áreas inundadas El procedimiento más común para evaluar el desempeño del modelo es mediante una operación de superposición, en una plataforma SIG, de los resultados de los modelos de inundación (una o varias simulaciones) con mapas binarios provenientes de la identificación obtenida mediante el procesamiento de imágenes de sensores remotos que identifican celdas inundadas o secas. Para esta operación los mapas de salida de modelos bidimensionales se pueden usar con una tabla de contingencia (también denominada matriz de confusión) que contabiliza el número de celdas inundadas/no inundadas que se clasifico de forma correcta o no.

Los resultados de modelos unidimensionales requieren un tratamiento previo para obtener un mapa binario que permita esta comparación. Existe un amplio número de medidas de desempeño que se basan en esta clasificación de los datos, en la tabla siguiente se presenta un resumen y recomendaciones para estudios de inundación (Hunter, 2005).

Para evaluar la capacidad de los modelos para explicar la extensión de la inundación mediante la comparación de la huella de inundación registrada y la generada con los modelos hidráulicos se puede emplear como criterio de bondad de ajuste la función F, la cual ha sido aplicado con buenos resultados en otros estudios de calibración y validación de mapas de inundación (Horrit & Bates, 2002):

$$F = \frac{Num(S_{mod} \cap S_{obs})}{Num(S_{mod} \cup S_{obs})} \times 100$$

Donde:

$S_{mod}$  es el conjunto del dominio de las subregiones (pixeles, elementos o celdas) que han sido determinados como inundados en el modelo.

$S_{obs}$  es el conjunto del dominio de las subregiones (pixeles, elementos o celdas) que han sido observados como inundados en la imagen satelital.

$Num(*)$  denota el número de miembros del conjunto.

Dado lo anterior  $F$  varía entre 0, para un modelo donde no hubo traslape entre lo modelado y lo observado de áreas inundadas y 100 para un modelo donde esto coincide perfectamente.

Nombre	Observaciones	Ecuación	Recomendación
Bias	Predicciones que contabilizan (A,B,C)	$\frac{A+B}{A+C}$	Recomendado para resumir el desempeño agregado del modelo (sub-estimación y sobre-estimación)
PC	Altamente influenciadas por la categoría más común	$\frac{A+B}{A+B+C+D}$	No recomendado para calibración. Los valores para D son por lo general de órdenes de magnitud más grandes que las otras categorías y también pueden ser objeto fácil de predicción. Por lo tanto, en muchos casos, PC proporcionará una evaluación demasiado optimista del funcionamiento modelo.
Análisis ROC (F,H)	Mínimizando F y Maximizando H	$H = \frac{A}{A+C} \quad F = \frac{B}{B+D}$	Resume dos tipos diferentes de error que puede presentar el modelo (p. ej. Sub-estimación o sobre-estimación) . Es potencialmente útil para explorar efectos relativos y su impacto en cualquier análisis posterior.
PSS	C subestimado y magnitudes relativas de F y H	$\frac{(A \times D) - (C \times B)}{(B + D) \times (A + C)}$	No recomendado para calibración. Usualmente F es pequeña y H es grande y por lo tanto no es apropiada en casos donde exista sobre-estimación.
F <1>	Predicciones correctas de la inundación (A,)	$\frac{A}{A+B+C}$	Recomendado para calibración. Una medida relativamente imparcial que simple y equitativamente discrimina entre estimaciones sub-estimadas y sobre-estimadas.
F <2>	Sobreestimación (B,)	$\frac{A-B}{A+B+C}$	Recomendado para calibración. Castiga la sobreestimación. Proporciona información apropiada sobre la exactitud y precisión del mapa de inundación.
F <3>	Subestimación (C,)	$\frac{A-C}{A+B+C}$	Recomendado para calibración (si predomina la sobreestimación). puede proporcionar una alternativa útil a <F1> y <F2>. No es sensible al tamaño del dominio y puede favorecer la sobre-estimación (similar a PSS)

**Tabla 5-4 Recomendaciones para medir el desempeño del modelo (A = área húmeda en la imagen y en el modelo, B= área húmeda en el modelo pero seca en la imagen , C = área húmeda en la imagen pero seca en el modelo, D = área seca en ambos)(Hunter 2005) citado por Mason, Schumann y Bates en “Data utilisation in flood inundation modelling”**

#### 5.4.2 Integración, calibración y validación de métodos de análisis de inundaciones

Normalmente los resultados del análisis de inundaciones realizados por los distintos métodos no son comparables ni correlacionables entre sí, ya que cada uno de los análisis y mapas tienen objetivos y elementos distintos. Lo ideal sería establecer calibraciones entre ellos, pero múltiples experiencias a nivel mundial demuestran que finalmente hay que priorizar uno o varios de los criterios o métodos, y que el resto complementa los resultados.

Dado lo anterior la recomendación general es que los resultados del modelo hidráulico sean validados con los resultados del estudio geomorfológico y los datos históricos, tanto en la delimitación del área

inundable como en las profundidades de la lámina de agua y velocidades del flujo. Si existiera discrepancias entre ellos, tiene más peso los obtenidos a través de la geomorfología y los datos históricos, debido a su fundamento en elementos físicos reconocibles o a documentación preexistente, procurando emplear todos para obtener un análisis integrado de la amenaza por inundaciones lo más real posible.

## 5.5 MAPAS DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN

### 5.5.1 Criterios de Zonificación de Amenaza de Inundación

Al realizar una revisión a nivel nacional e internacional sobre la categorización de la amenaza por inundación se encuentran diferentes criterios. En la gran mayoría de clasificaciones que se presentan a continuación, la determinación de estos criterios está soportada en el análisis conjunto de la altura de la lámina de agua y la velocidad del flujo; no obstante los valores que se indican son referentes que deben ser analizados para cada caso en particular bajo las consideraciones que permitan conocer la forma en que se presentan los procesos de inundación. En términos generales se debe reconocer que al menos existen tres condiciones hidráulicas diferentes en la zona de inundación: caminos preferentes del flujo de la inundación, zonas de almacenamiento y franjas de desborde.

También existen otros factores que es conveniente analizar para determinar la amenaza de inundaciones entre los que conviene destacar la extensión de la inundación, el tiempo efectivo de alerta y respuesta ante un evento de inundación, la tasa de incremento de los eventos de crecida, la profundidad y velocidad que esos eventos ocasionan y la duración de la inundación. Igualmente es importante considerar desde esta etapa otras características que pueden afectar las fases de atención y recuperación de las zonas afectadas por inundaciones como aquellas que tienen que ver con la cantidad de población expuesta y sus características particulares así como las rutas disponibles para efectuar la evacuación de los damnificados entre otros.

#### 5.5.1.1 Sociedad Americana de Ingeniería Civil (ASCE)

La Sociedad Americana de Ingeniería Civil (ASCE por sus siglas en inglés) publicó el estándar de referencia de los códigos Internacionales denominado Flood Resistant Design and Construction (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) en el cual se presentan los requerimientos mínimos para la ubicación, diseño y construcción de edificios y estructuras en zonas de riesgo por inundación en el cual categoriza la amenaza en dos tipos: inundación peligrosa y no peligrosa tal como se resumen en la Tabla 5-5 y en la Figura 5-140.

AFECTACIÓN	CRITERIO		
	ALTURA (m)	VELOCIDAD (m/s)	ALTURA (m)*VELOCIDAD (m/s)
Vidas humanas	>1	>1	>0.7
Edificios y estructuras	>3.6	--	>6

Tabla 5-5 Criterios para definir la amenaza de una inundación

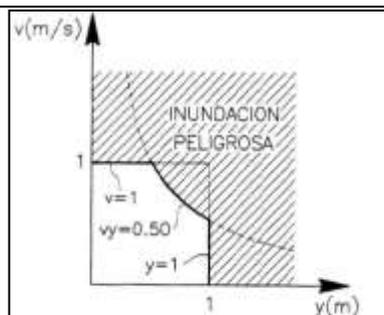


Figura 5-14 amenaza en términos de profundidad y velocidad del flujo<sup>15</sup>

### 5.5.1.2 Federal Emergency Management Agency (FEMA)

La Agencia Federal para Manejo de Emergencias de los Estados Unidos (FEMA por sus siglas en inglés) posee una guía denominada *Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping (Flood Depth and Analysis Grids, Mayo 2014)*, la cual sirve para la implementación eficaz y eficiente del estándar de análisis de riesgo de inundación y su respectivo mapeo el cual está codificado en la Política Federal de Administración Segura y Mitigación FP 204-07801.

En dicha guía se categoriza la amenaza por el efecto combinado de la profundidad y la velocidad, en Bajo, Medio, Alto, Muy Alto y Riesgo Extremo, tal como se presenta en la Figura 5-15. Dicha figura está basada en estudios realizados en Australia y publicados en el año 2006 denominada *Designing Safer Subdivisions - Guidance on Subdivision Design in Flood Prone Areas* ([http://www.ses.nsw.gov.au/content/documents/pdf/resources/Subdivision\\_Guidelines.pdf](http://www.ses.nsw.gov.au/content/documents/pdf/resources/Subdivision_Guidelines.pdf)) manual, la cual fue adaptada en recientes estudios realizados por el gobierno de Nueva Gales en Australia que fueron incorporados al Manual para el Desarrollo de Planicies de Inundación (Floodplain Development Manual, New South Wales Government, Australia. 2005).

Aunque la FEMA no exige que se utilice dicha categorización en la elaboración de los mapas de amenaza de inundación para los Estados Unidos, ya que deja a criterio de la persona encargada de elaborar el mapa de utilizar métodos de categorización alternativa teniendo en cuenta que debe entregar la debida justificación técnica de sus cálculos y categorización.

<sup>15</sup> Fuente: (Díaz Granados, 2009)

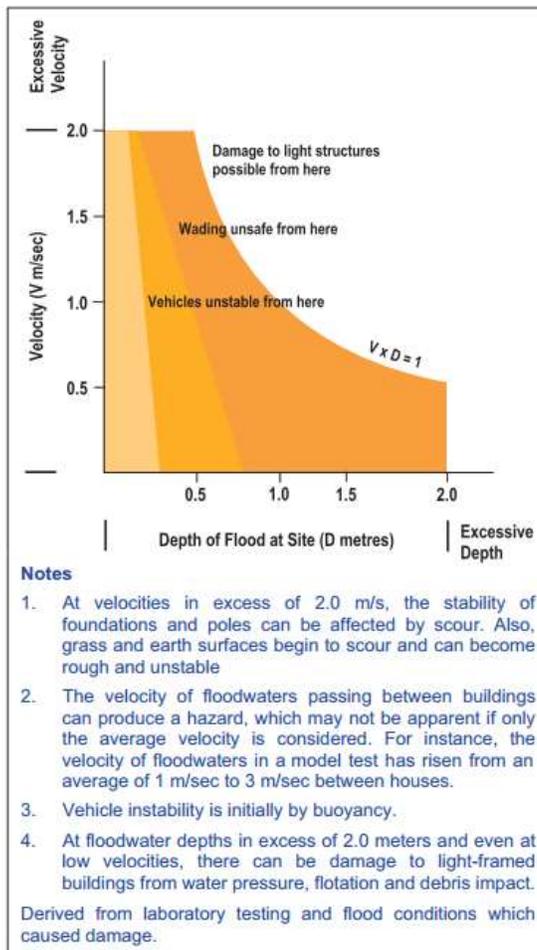


FIGURE L1 - Velocity & Depth Relationships

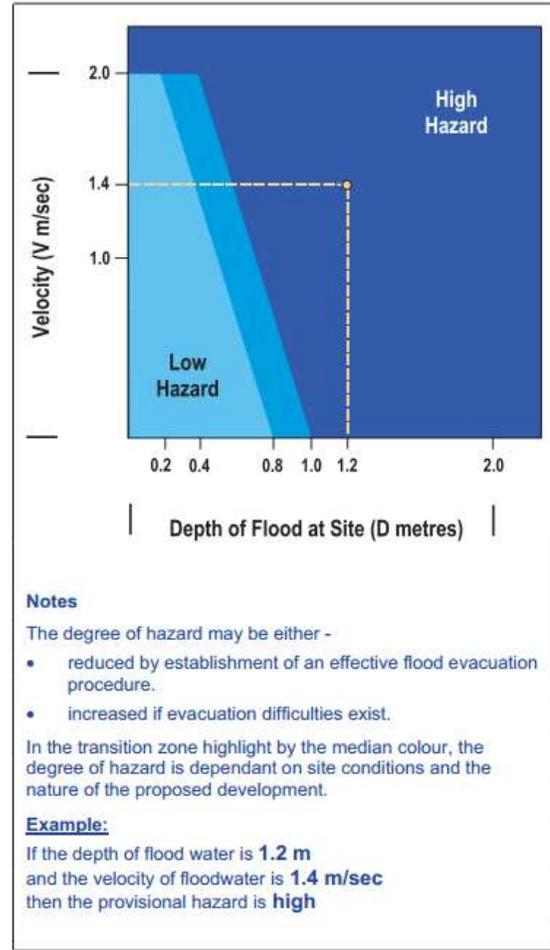


FIGURE L2 - Provisional Hydraulic Hazard Categories

Figura 5-15 Categorías de Amenaza por inundación tomado del Manual de Desarrollo para Llanuras Inundables Estado de Nueva Gales Australia 2005

En la Figura 5-16 se presenta un mapa ejemplo de amenaza por inundación teniendo en cuenta la metodología planteada por la FEMA haciendo uso de la Figura 5-15. Dicho mapa es el resultado de mapear el resultado de multiplicar el raster de profundidades y velocidades para cada pixel para posteriormente categorizarlos en los distintos niveles de amenaza.



**Figura 5-16 Ejemplo de categorización de la amenaza**

Para elaborar el mapa de amenaza por inundación que coincida exactamente con la categorización de amenaza mostrada en la Figura 5-15, se deben utilizar unas reglas adicionales al multiplicar la velocidad por la profundidad, teniendo en cuenta los límites superiores de la profundidad y la velocidad para cada categoría de amenaza.

Adicionalmente, los umbrales de amenaza por inundación son diferentes dependiendo de si se están considerando relacionados con el impacto en humanos, vehículos o edificaciones.

Un enfoque simplificado de las categorías del resultado de multiplicar la profundidad por la velocidad se presenta en la Tabla 5-6, sin embargo se pueden usar otras categorías.

Flood Severity Category	Depth * Velocity Range (ft <sup>2</sup> /sec)	Depth * Velocity Range (m <sup>2</sup> /sec)
Low	< 2.2	< 0.2
Medium	2.2 – 5.4	0.2 – 0.5
High	5.4 – 16.1	0.5 – 1.5
Very High	16.1 – 26.9	1.5 – 2.5
Extreme	> 26.9	> 2.5

**Tabla 5-6 Categorización simplificada de la amenaza como el producto de la velocidad por la profundidad**

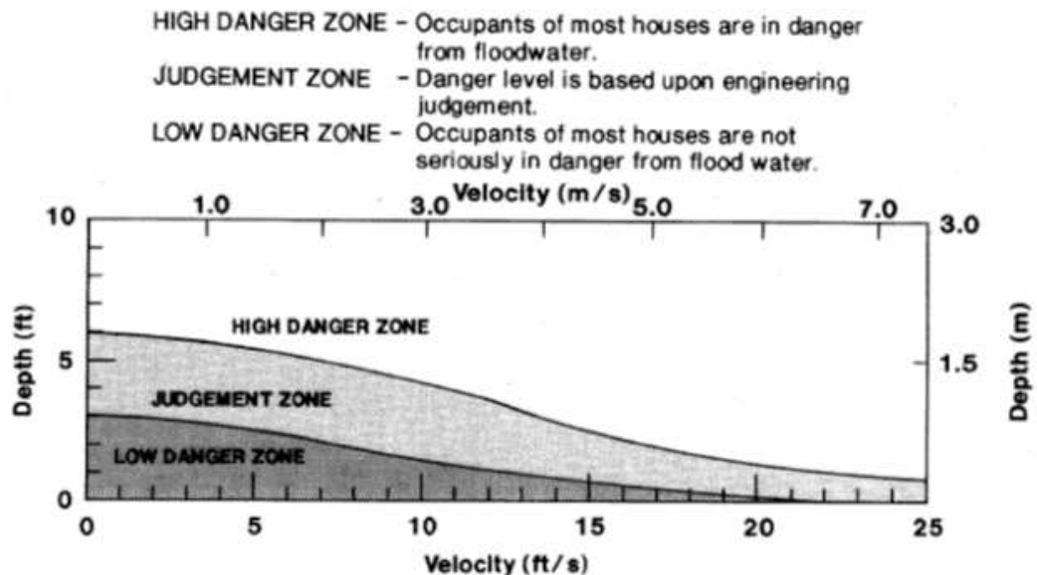
### 5.5.1.3 Acer Technical Memorandum N°11

El Departamento del Interior de los Estados Unidos a través de la comisión técnica de ingeniería e investigación elaboró el Memorando Técnico N°11 (Acer Technical Memorandum N°11, US Department of Interior, Bureau of Reclamation, 1988) en donde clasifica la amenaza en función de los elementos expuestos con el fin de comunicar el efecto combinado de la profundidad de la inundación y la velocidad en estructuras, casas móviles, varios tipos de vehículos y peatones.

Los principales objetivos de este Memorando Técnico son:

1. Definir el método de evaluación de la seguridad de presas existentes para asignar la clasificación de amenaza.
2. Proveer una guía y métodos actualizados, con el propósito de realizar una clasificación de amenaza aguas abajo, para estimar las áreas susceptibles de inundación debido a una falla en la presa.
3. Proveer una guía y criterios para la identificación de amenazas aguas abajo, y
4. Brindar una clasificación objetiva y consistente de la amenaza agua abajo.

Aunque esta guía puede ser usada para todas las presas, está especialmente enfocada en presas pequeñas, y/o presas cuyas fallas podrían afectar solo a pequeñas poblaciones. Ya que para las grandes presas la clasificación de la amenaza es usualmente obvia.



**Figure 2. – Depth–velocity flood danger level relationship for houses built on foundations.**

Figura 5-17 Downstream Hazard Classification Guidelines

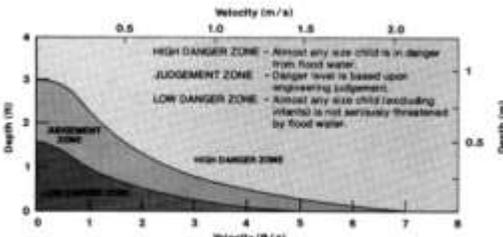
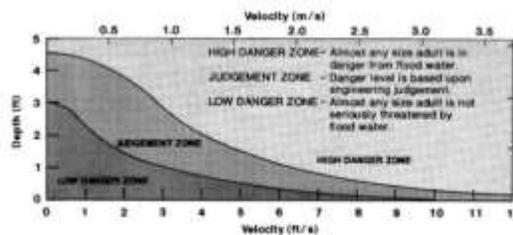
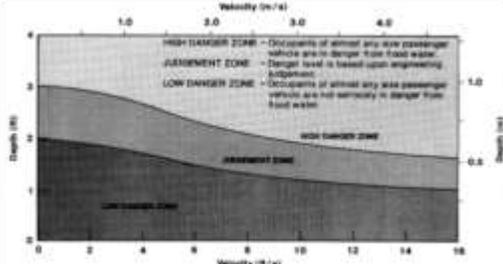
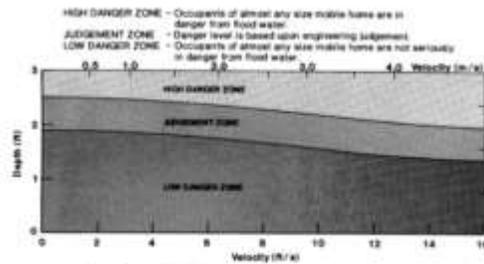


Figura 5-18 Categorización de la amenaza en función de los elementos expuestos

#### 5.5.1.4 Australia

En Australia fue publicado en el 2006 Designing Safer Subdivisions - Guidance on Subdivision Design in Flood Prone Areas ([http://www.ses.nsw.gov.au/content/documents/pdf/resources/Subdivision\\_Guidelines.pdf](http://www.ses.nsw.gov.au/content/documents/pdf/resources/Subdivision_Guidelines.pdf)) manual, el cual fue elaborado a partir de la más reciente publicación New South Wales Floodplain Development Manual (2005), en donde se presenta 5 categorías de riesgo en función del efecto combinado de la profundidad y la velocidad.

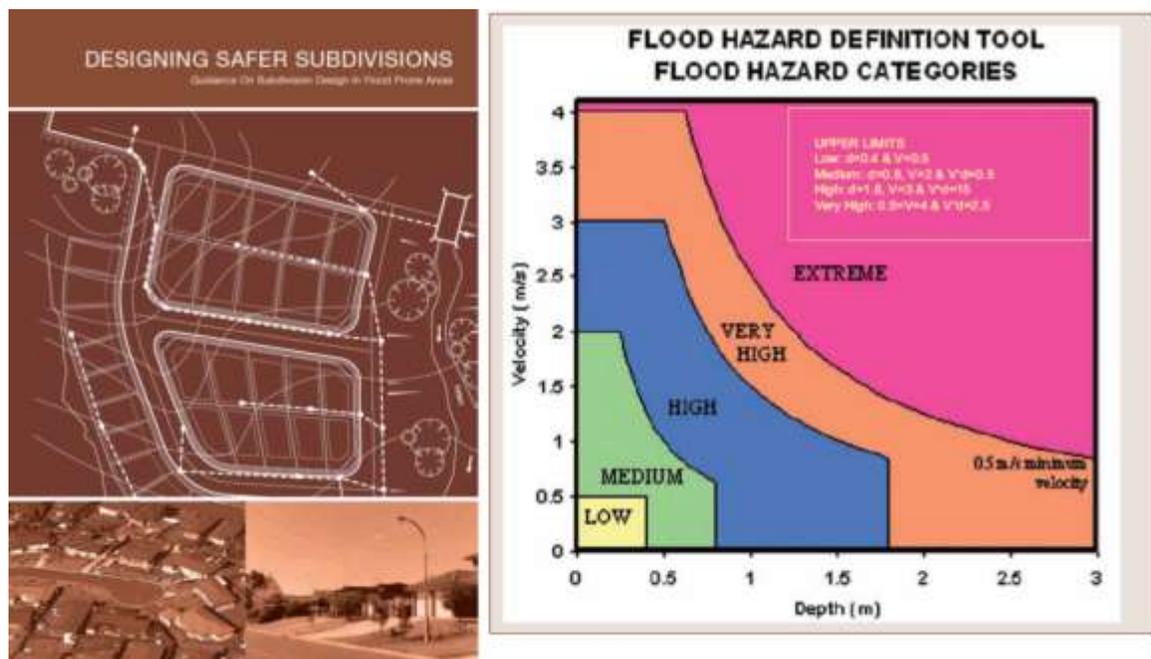


Figura 5-19 Categorización de la Amenaza-Australia.

### 5.5.1.5 Instituto Geológico y Minero de España

De otro lado el Instituto Geológico y Minero de España en la guía Metodológica de Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones la categorización de la amenaza como una combinación de la profundidad y la velocidad.

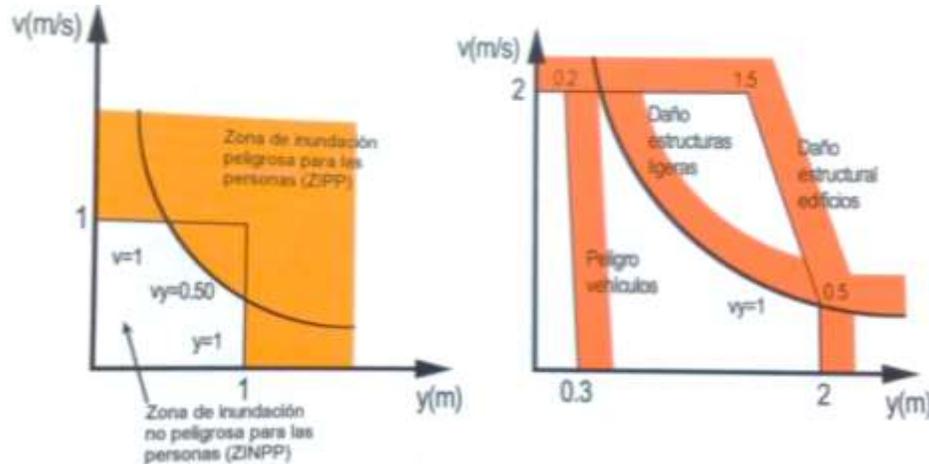


Figura 5-20 Categorización de la amenaza - España

### 5.5.1.6 Universidad Nacional – IDEAM

En el proyecto realizado por la Universidad Nacional con el IDEAM denominado “Zonificación de Amenazas por inundación a escala 1:2.000 y 1:5.000 en áreas urbanas para diez municipios del territorio colombiano” se utilizó la categorización en función de los tipos de daño por combinación de la profundidad y la velocidad el flujo.

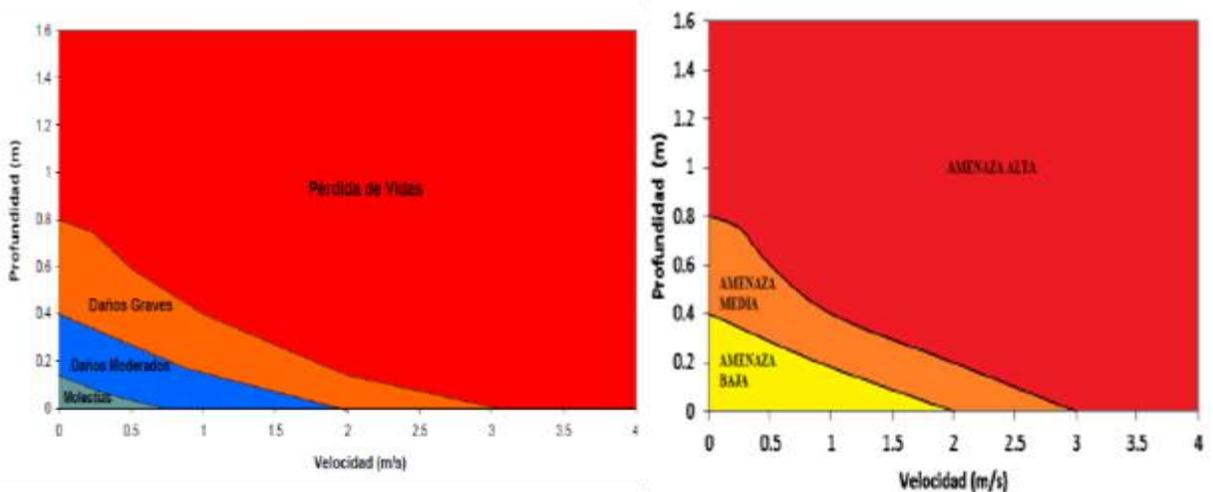


Figura 5-21 Categorización de la amenaza-IDEAM 2010

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- Aldana Valverde, A. L. (2006). El problema de las inundaciones. *Jornadas Prohimet* (pp. Peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo). Brasil: Prohimet.
- Arbelaez Salazar, J. D., & Diaz Granados, M. (2011). *Evaluación de herramientas informáticas para análisis de amenaza por inundaciones*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Bendat, J. S., & Piersol, A. G. (1986). *Random data analysis and measurements procedures*. New York: John Wiley & Sons.
- Diaz Granados, M. (2009). Memorias del curso Hidráulica de Rios. Bogotá : Universidad de los Andes.
- Domínguez C., E. A. (2007). *Modelación Matemática. Una introducción al método*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Flood Site. (2009, Febrero 01). *Flood inundation modelling. Model choice and proper application*. Retrieved Agosto 24, 2009, from Flood Site: [www.floodsite.net](http://www.floodsite.net)
- Garzón, H. G. (2006). La importancia de la escala y los elementos representables en la cartografía geomorfológica fluvial. In I. G. España, *Mapas de Peligrosidad de Avenidas e Inundaciones* (pp. 159-168). Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- González Blandón, J. (2005). *Desarrollo y aplicación de un modelo hidrológico de niveles en el río magdalena. Tramo girardot –puerto berrio*. Bogotá: Tesis Universidad de los Andes.
- Horrit, M., & Bates, P. (2002). Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. *Journal of Hydrology*, 87-99.
- Hydrologic Engineering Center. (2002). *Hec-GeoRAS User's Manual*. New York: US Army Corps of Engineers.
- IDEAM-UNIVERSIDAD NACIONAL. (2013). *Zonificación de amenazas por inundación escala 1:2000 y 1:5000 en áreas urbanas para 10 municipios del territorio colombiano. Contrato N°408-2013*. Bogotá: IDEAM.
- Instituto Geológico y Minero de España. (2008). *Mapas de peligrosidad de avenidas e inundación: Métodos, experiencia y aplicación*. Madrid : Ministerio de ciencia e innovación.
- Instituto Geológico y Minero de España. (2008). *Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía Metodológica para su elaboración*. Madrid: Ministerio de Ciencia e innovación.
- OMM. (1985). *Seminario Itinerante Sobre Los Modelos Matemáticos Utilizados en la Predicción Hidrológica*. Notas de conferencia.
- Steffler, P. M., & Blackburn, J. (2002). *River2D: Two-dimensional depth averaged model of river hydrodynamics and fish habitat. Introduction to depth averaged modeling and user's manual*. Edmonton: Universidad de Alberta.
- Steffler, P., & Waddle, T. (2002). *R2D\_Mesh: Introduction to Mesh Generation and User's Manual*. Canadá: Universidad de Alberta.
- Tomas Morer, X., González Sabaté, L., Fernández Ruano, L., & Cuadros Margarit, J. (2004). *Tablas Estadísticas*. Sarria: IQS - Institut Quimic Sarria, Departamento de Estadística Aplicada.

Universidad de Alberta. (Introduction to Depth Averaged Modeling and User's Manual). *River2D*.  
Canadá: Universidad de Alberta.

World Meteorological Organization. (2013). *integrated flood management tools series. Flood Mapping*.  
Zurich: World Meteorological Organization.

## **BIBLIOGRAFÍA HIDROLOGÍA**

Beven, K. (2001). How far can we go in distributed hydrological modelling? Lancaster University. Hydrology & Earth System Sciences, 5(1), 1-12.

Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (s.f.). Hidrología Aplicada. McGRAW-HILL.

Christine E., M., & Hope, A. (2007). Predicting streamflow response to fire-induced landcover change: Implications of parameter uncertainty in the MIKE SHE model. San Diego, CA 92182-4493, USA: Journal of Environmental Management 84 (2007) 245–256.

Dawson, C., Abraham, R., & See, L. (2007). Hydro Test: A web-based toolbox of evaluation metrics for the standardised assessment of hydrological forecasts. Environmental Modelling & Software 22 1034-1052.

Díaz-Granados, M. (2006). Modelación de Hidrosistemas. Bogotá: Universidad de los Andes.

Domínguez C., E. A. (2007). Modelación Matemática. Una introducción al método. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

Domínguez, E. A. (2005). Pronóstico probabilístico de afluencias para la evaluación de riesgos en embalses hidroeléctricos. Medellín: Avances en Recursos Hidráulicos.

IDEAM-a. (2005). Protocolo para la Emisión de Pronósticos Hidrológicos. Bogotá Colombia: Grupo de Investigación en Hidrología IDEAM.

Serrano, S. E. (1997). Hydrology for Engineers, Geologists and Environmental Professionals. Lexington, Kentucky: HydroScience Inc. 1021 Deer Crossing Way.

WMO. (2006). Guide to Hydrological Practices. World Meteorological Organization, N° 168.

## **BIBLIOGRAFÍA CARTOGRAFÍA**

Felicísimo, A. M. (1994). Modelos Digitales Del Terreno. Introducción y aplicación en las ciencias ambientales. España

Fernandez-Coppel, (2001). El satélite Landsat. Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+Satelite Landsat. Valladolid, España.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC), (2008). Informe de Gestión 2008.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM), (2010). Sistemas Morfogénicos del Territorio Colombiano.

Munar, Oscar J. (2010). Determinación del potencial de los modelos digitales de elevación como fuente de datos para la evaluación de la aptitud de las tierras. Caso del mango. Bogotá, D.C.

RED, (2011). Capacitaciones IDEAM PDI Imágenes de Radar, documento interno. Bogotá, D.C.

## A. ANEXO 1 FUENTES DE INFORMACIÓN PARA ELABORACIÓN DE MAPAS DE INUNDACIÓN

### CARTOGRAFÍA

En los siguientes enlaces<sup>16</sup> se pueden descargar algunas capas de Colombia y regionales en diversos formatos para manipulación en Sistemas de Información Geográfica.



**Fuente:** Catastro Distrital

**Enlace Mapa de Referencia:** <http://www.ideca.gov.co/es/servicios/mapa-de-referencia/tabla-mapa-referencia>

**Enlace objetos temáticos:** [www.ideca.gov.co/es/servicios/objetos-geograficos-tematicos](http://www.ideca.gov.co/es/servicios/objetos-geograficos-tematicos)

**Formatos:** KMZ, DWG, RDF, Shapefile y tablas dbf

**Capas Mapa de referencia:** Lotes, Manzanas, Usos, Sectores Catastrales, Construcciones, Placas Domiciliarias, Códigos Postales, Corrientes de Agua, Cuerpos de agua, Cuencas, Malla Vial Integral, Andenes, Calzadas, Ciclorutas, Nodos de Transporte, Puentes, Separadores, Áreas Infraestructura de Transporte, Municipios, Corregimientos, Centros Poblados, Localidades, Áreas Urbanística, Suelos, Unidades de Planeamiento, Curvas de nivel, Puntos Geodésicos, Sitios de Interés, Estratos Socioeconómicos

**Capas temáticas:** Instituciones Prestadoras de Salud – IPS, Red adscrita de salud, Empresa prestadora de salud, Droguerías, Consultorios, Colegios Oficiales, Colegios en Convenio, Colegios en Concesión, Colegios no oficiales, Bibliotecas, Direcciones locales de educación, Instituciones de Educación Superior, Atractivos Turísticos, Hoteles, Zonas de Interés Turístico, Oferta de servicio social, Cuadrantes Policía Nacional, Paraderos SITP, Rutas SITP, Troncales Transmilenio, Estaciones Transmilenio.

**Condiciones de uso:** <http://www.ideca.gov.co/sites/default/files/files/terminos18enero2016.pdf>



**Fuente:** Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC)

**Enlace:**

<http://181.225.72.78/Portal-SIAC-web/faces/Dashboard/catalogoMapa/catalogoMapaSIAC.xhtml>

<sup>16</sup> Fuente: <https://mixdyr.wordpress.com/sig/descargas-de-datos-sig/>

**Formato:** Shapefile

**Capas:** Más de dos centenares de shapefiles nacionales del Sistema de Información Ambiental de Colombia SIAC en los temas de agua, suelo, biodiversidad, cambio climático, licencias ambientales, entre otros.



**Fuente:** Servicio Geológico Colombiano

**Enlace:** <http://geoportal.sgc.gov.co/geoportalsgc/catalog/quicklink/quicklink.page>

Este Geoportal tiene como finalidad presentar a los usuarios la información generada por Geociencias Básicas, Recursos Minerales, Geoamenazas, Asuntos Nucleares, Laboratorios y Gestión de Información.

La información está almacenada en una geodatabase corporativa gestionada por el motor de base de datos Oracle, herramientas de la Suite de ESRI y aplicaciones web personalizadas utilizando Geoportal Server de ESRI (Software Open Source).

Mediante esta plataforma se administra la información de manera dinámica, y está dispuesta al usuario en línea. Así mismo, se cumple con estándares de código abierto (open source) como WMS (Web Map Service), WFS (Web Feature Service), WCS (Web Coverage Service) y servicios REST (Representational State Transfer).



**Fuente:** Instituto Geográfico Agustín Codazzi

**Enlace:** <ftp://cartografialibre.igac.gov.co/>

**Usuario:** *cartobase* **Contraseña:** *cartobase*

**Formato:** Shapefile y File Geodatabase

**Capas:** Múltiples capas base en escalas 1:25.000, 1:100.000 y 1:500.000

Ver [Licencia de uso](#)

Ver [Descripción de la información](#)

Se recomienda usar un programa Cliente FTP para una descarga más rápida.



**Fuente:** Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt

**Enlace:** <http://humboldt.org.co/noticias/actualidad/item/109-nueva-cartografia-de-los-paramos-de-colombia-diversidad-territorio-e-historia>

**Formato:** shapefile

**Capas:** Complejos de páramos de Colombia

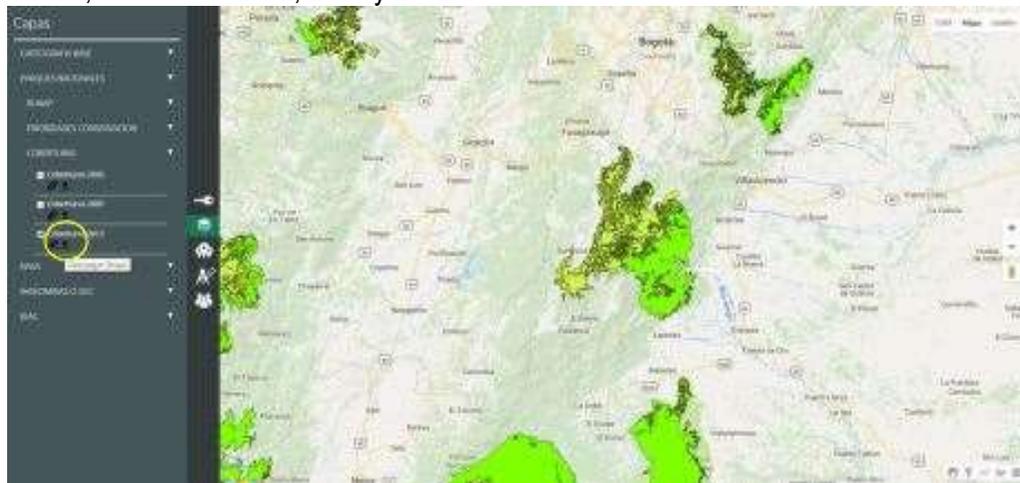


**Fuente:** Parques Nacionales Naturales de Colombia

**Enlace:** <http://mapas.parquesnacionales.gov.co>

**Formato:** Shapefile

**Capas:** Parques Nacionales Naturales, Categorías Regionales RUNAP, Reservas Naturales de la Sociedad Civil, Nuevas áreas prioridad para Conservación, Áreas de prioridad nacional para conservación, Coberturas 2002, 2005 y 2012.





**Fuente:**

Sistema de Información Geográfica para la Planificación y el Ordenamiento Territorial SIG-OT

**Fuente:** IGAC

**Enlace:** <http://sigotn.igac.gov.co/sigotn>

**Formatos:** Shapefile y KML

**Capas:** múltiples capas nacionales y regionales en las categorías Ambiental, Cultural, Económica, Institucional y Social



Sistema de Información  
Ambiental Territorial de la  
Amazonia colombiana

**Fuente:** Sistema de Información Ambiental Territorial de la Amazonía Colombiana SIAT-AC

**Enlace:** <http://siatac.co/web/guest/descarga-informacion-georreferenciada>

**Formato:** shapefile

**Capas:** Coberturas, ecosistemas, praderización, frontera agropecuaria, PNN, RNN, Resguardos, DMI, y otros de la Amazonia colombiana.



**Fuente:** Datos abiertos para Colombia de ESRI-ESRI Colombia

**Enlace:** <http://datosabiertos.esri.co>

**Formato:** Shapefile

**Capas:** múltiples capas nacionales y regionales en las categorías Censo, Infraestructura y Transporte, Educación, Defensa e inteligencia, Salud, Recursos Naturales, Comercio y negocios, Gobierno, Servicios públicos, Límites administrativos, Minería y Petróleo y Sensores remotos.



**Fuente:** Unidad de Planificación Rural Agropecuaria-UPRA

**Enlace:** <http://www.upra.gov.co/documents/10184/13821/Shape+Aptitul+plantaciones+forestal+es+comerciales/0d084152-c34c-450a-81ef-e901fa0932d8>

**Formato:** Shapefile

**Capas:** Aptitud para plantaciones forestales comerciales en Colombia



**DANE**  
Para tomar decisiones

**Marco Geoestadístico Nacional**

**Fuente:** DANE

**Enlace:** <https://geoportal.dane.gov.co/v2/?page=elementoDescargaMGN>

**Formato:** Shapefile

**Capas:** Marco estadístico por departamento vigencias 2005 y 2012



**Fuente:** OpenStreetMap es un mapa del mundo, creado por gente como tú y de uso libre bajo una licencia abierta.

El alojamiento de los servidores está respaldado por UCL, Imperial College de Londres y Bytemark Hosting, y otros socios.

**Enlace:** <https://www.openstreetmap.org/#map=6/4.632/-74.299>

**Capas:** OpenStreetMap lo crea una gran comunidad de colaboradores que con sus contribuciones al mapa añaden y mantienen datos sobre caminos, senderos, cafeterías, estaciones de ferrocarril, zonas afectadas por desastres y muchos más a lo largo de todo el mundo.



**DIVA-GIS**

*free, simple & effective*

**Capas de Colombia de DIVA-GIS**

**Fuente:** DIVA-GIS

**Enlace:** [www.diva-gis.org/Data](http://www.diva-gis.org/Data)

**Formatos:** Shapefiles y Grid

**Capas:** División administrativa, cuerpos de agua, vías, vías férreas, Elevación, Uso del suelo, Densidad de Población, Toponimia

## IMÁGENES SATELITALES TIPOS Y FUENTES DE DESCARGA

### LANDSAT

El sensor Landsat<sup>17</sup> es el programa que mayor tiempo tiene en funcionamiento. El primer satélite fue lanzado en 1972. Fue diseñado con el fin de obtener datos de los recursos terrestres y en base a este objetivo se diseñaron las resoluciones para adaptarse a este objetivo. Landsat presenta una serie de varios sensores (Landsat 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8), los cuales proveen una de las mejores series históricas de la evolución del planeta<sup>18</sup>.

Con el paso de los años las características de los diferentes sensores fue mejorando, tanto en los aspectos de cubrimiento (tamaño de la imagen), resolución espacial (de 80m a 30m) y espectral (de solo 0.48 $\mu$  a 12.5 $\mu$ ).

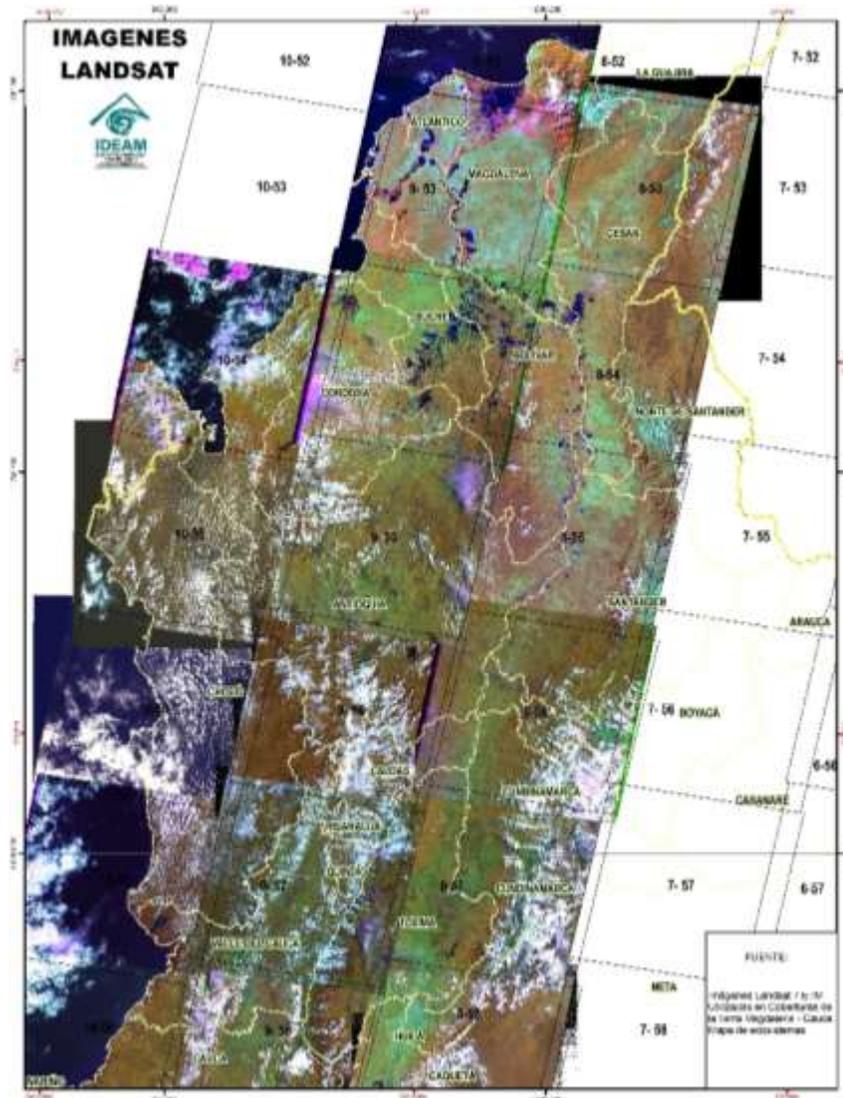


Figura A1-6-1 Imágenes Landsat 7 ETM

<sup>17</sup> Fernández-Coppel, 2001, p4

<sup>18</sup> Fernández-Coppel, 2001, p5

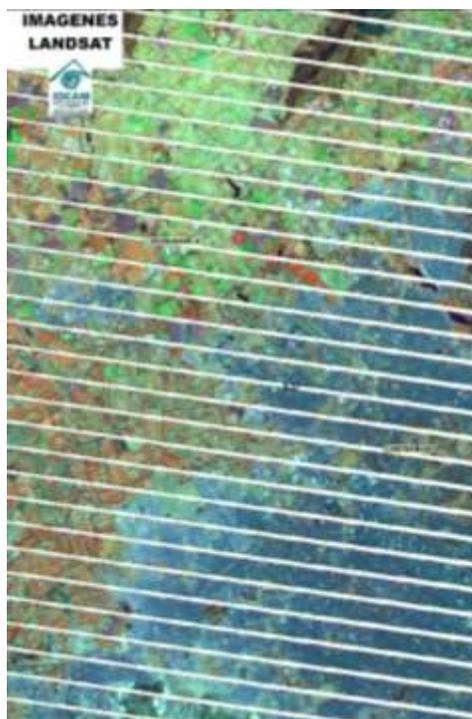
La resolución temporal no sufrió cambios significativos solo en 2 días (de 18 a 16). Cada imagen tiene un cubrimiento de 175 x 175 Km. El penúltimo satélite de esta serie es Landsat 7 ETM y fue lanzado en abril de 1999 y presenta las siguientes características:

BANDA	RANGO Espectral ( $\mu$ )	ZONA del Espectro	RESOLUCIÓN Espacial (m)
1	0.45 - 0.515	Visible - azul	30
2	0.525 - 0.605	Visible - verde	30
3	0.63 - 0.690	Visible - rojo	30
4	0.75 - 0.90	Infrarrojo próximo (visible)	30
5	1.55 - 1.75	Infrarrojo lejano	30
6	10.40 - 12.5	Térmico lejano	60
7	2.09 - 2.35	Térmico próximo	30
8 Pancromática	0.52 - 0.90	Casi todo el visible	15

**Tabla A1-6-1. Características Landsat 7 ETM**

El 31 de mayo de 2003, el sensor sufrió una falla, lo que genera unos **gaps** en cada una de las imágenes. Cada franja sin información (gap) tiene entre 150 y 200 m.

Estas imágenes se pueden descargar de forma gratuita por diferentes medios disponibles en la Web. Por esta razón son muy utilizadas a pesar del daño presente en el sensor.



**Figura A1-6-2 Gaps imágenes Landsat 7 ETM**

El último satélite de esta serie es Landsat 8 OLI – TIRS y fue lanzado el 11 de febrero de 2013 y presenta las siguientes características:

BANDA	RANGO Espectral ( $\mu$ )	ZONA del Espectro	RESOLUCIÓN Espacial (m)
1	0.43 - 0.45	Aerosol costero	30
2	0.45 - 0.51	Visible - azul	30
3	0.53 - 0.59	Visible - verde	30
4	0.64 - 0.67	Visible - rojo	30
5	0.85 - 0.88	Infrarrojo cercano (NIR)	30
6	1.57 - 1.65	Infrarrojo lejano (SWIR 1)	30
7	2.11 - 2.29	Infrarrojo lejano (SWIR 2)	30
8	0.50 - 0.68	Pancromático	15
9	1.36 - 1.38	Cirrus	30
10	10.60 - 11.19	Infrarrojo térmico (TIRS) 1	100
11	11.50 - 12.51	Infrarrojo térmico (TIRS) 2	100

**Tabla A1-6-2. Características Landsat 8 OLI – TIRS**

## SPOT

Está formado por una serie de satélites e infraestructuras terrestres para controlar y programar los satélites, así como para producir imágenes, útiles para la observación del suelo terrestre. El primer satélite fue lanzado en febrero de 1986<sup>19</sup>.

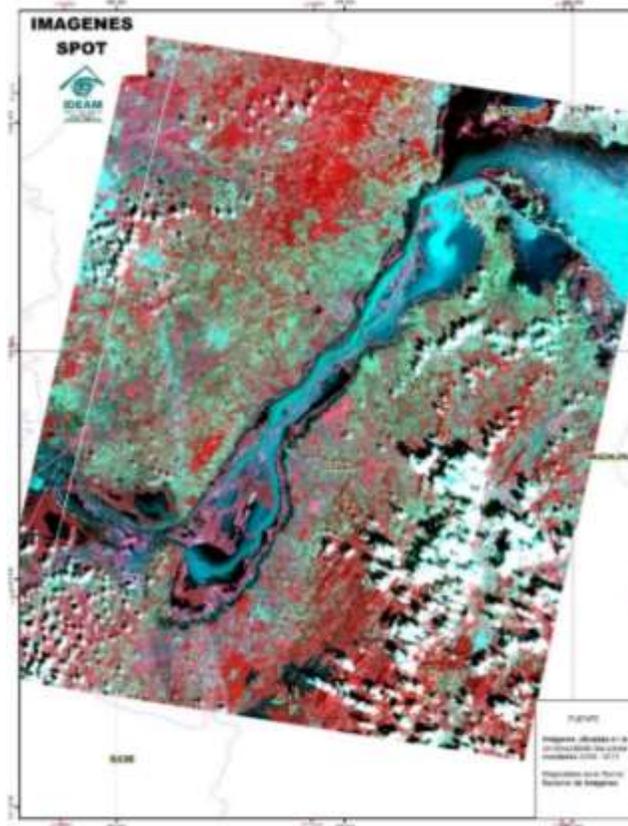
Spot a través de la historia ha generado 7 series de sensores (Spot 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7) y provee información con un alto nivel de resolución espacial y temporal. El cubrimiento de estas imágenes es de 60 x 60 Km. Las mayores diferencias entre cada uno de los sensores puestos en órbita, se basó en el aumento de bandas espectrales (una banda adicional en el infrarrojo); adicionalmente se incorporaron capacidades de adquisición de pares estereoscópicos mejorados gracias al instrumento ARE (Alta Resolución Estereoscópica).

La resolución temporal de estos satélites varía según la toma de las imágenes y se puede tener información en 2 o 3 días, y en algunos casos una imagen diaria.

Lo último lanzado por EADS Astrium, es la constelación SPOT 6 (Lanzado el 9 de septiembre de 2012) y SPOT 7 (Lanzado en 2014), diseñada para garantizar la continuidad de la disponibilidad de datos de alta resolución y campo amplio hasta 2023, las principales características son<sup>20</sup>:

<sup>19</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/SPOT>

<sup>20</sup> <http://www.infoterra.es/datos-satelite-spot>



**Figura A1-6-3 Imágenes Spot 5**

<b>Productos</b>	<b>Pancromáticos: 2,5 m – 5 m – 10 m</b> <b>Multiespectrales: 2,5 m – 5 m – 10 m – 20 m</b>
Bandas espectrales	P (pancromáticas); B1 (verde); B <sup>''</sup> (rojo); B3 (infrarrojo cercano); B4 (SWIR: infrarrojo de onda corta, para SPOT 4 y 5)
Campo amplio	60 km x 60 km
Intervalo de revisita	2 a 3 días 1 día con constelación total de satélites SPOT
Selección según necesidad	Sí, estándar o prioritaria
Archivo mundial	Más de 20 millones de imágenes desde 1985
Ángulo de visión	Deriva: +/- 27° Estereovisión hacia delante / hacia atrás con SPOT 5
Exactitud de ubicación	< 30 m (1σ) con SPOT 5 < 350 m (1σ) con SPOT 1 a 4 Ortoproductos: < 10 m (1σ) con base de datos de referencia en 3D En otras circunstancias, depende de la calidad de los puntos de control terrestre y MDE
Niveles de procesamiento	1A, 1B, 2A, 2B, Ortho

**Tabla A1-6-3. Características SPOT**

## UK DMC

Este sensor hace parte de una serie de satélites de la Disaster Monitoring Constellation (DMC), son operados en nombre de la Agencia Espacial del Reino Unido por DMC International Imaging, y el primero se puso en marcha en septiembre de 2003.

Se tienen dos sensores (UK DMC1 – UK DMC2) y dentro de los mejoramientos realizados está el aumento en la resolución espacial (de 32 a 22 m) y el cubrimiento se realiza por pedido y se aumentó al doble 660 Km<sup>2</sup>. La resolución temporal oscila entre 5 días y por solicitud una imagen diaria.

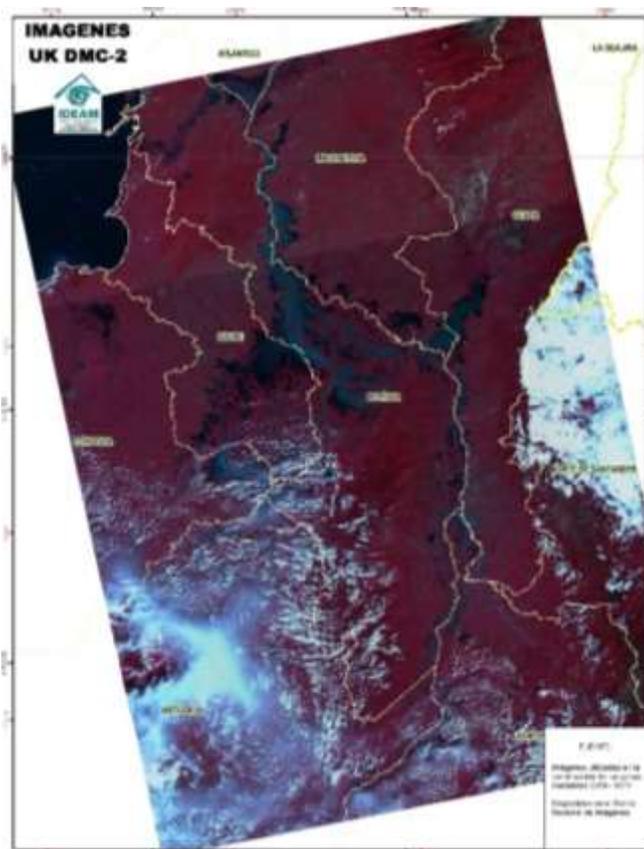


Figura A1-6-4 Imágenes UK-DMC 2

El último satélite puesto en órbita es UK-DMC 2, fue lanzado en julio del 2009 y tiene las siguientes características:

BANDA	RANGO Espectral ( $\mu$ )	ZONA del Espectro	RESOLUCIÓN Espacial (m)
1	0.525 - 0.605	Visible - Verde	22
2	0.63 - 0.69	Visible - Rojo	22
3	0.75 - 0.90	Infrarrojo cercano	22

Tabla A1-6-4. Características UK-DMC 2

<sup>21</sup> <http://www.dmcii.com>

## RADARSAT

Es el primer satélite canadiense para la observación terrestre, y el primer satélite del mundo con radar orientado operacionalmente, Radarsat-1 fue lanzado en noviembre de 1995<sup>22</sup>. El segundo satélite (Radarsat-2) fue lanzado en diciembre de 2007 y entre las principales diferencias se encuentra el aumento de las polarizaciones y el modo de foco cuya resolución máxima es de 3 m. La longitud de onda de este satélite se encuentra en la Banda C (5.405 GHz)<sup>23</sup>.

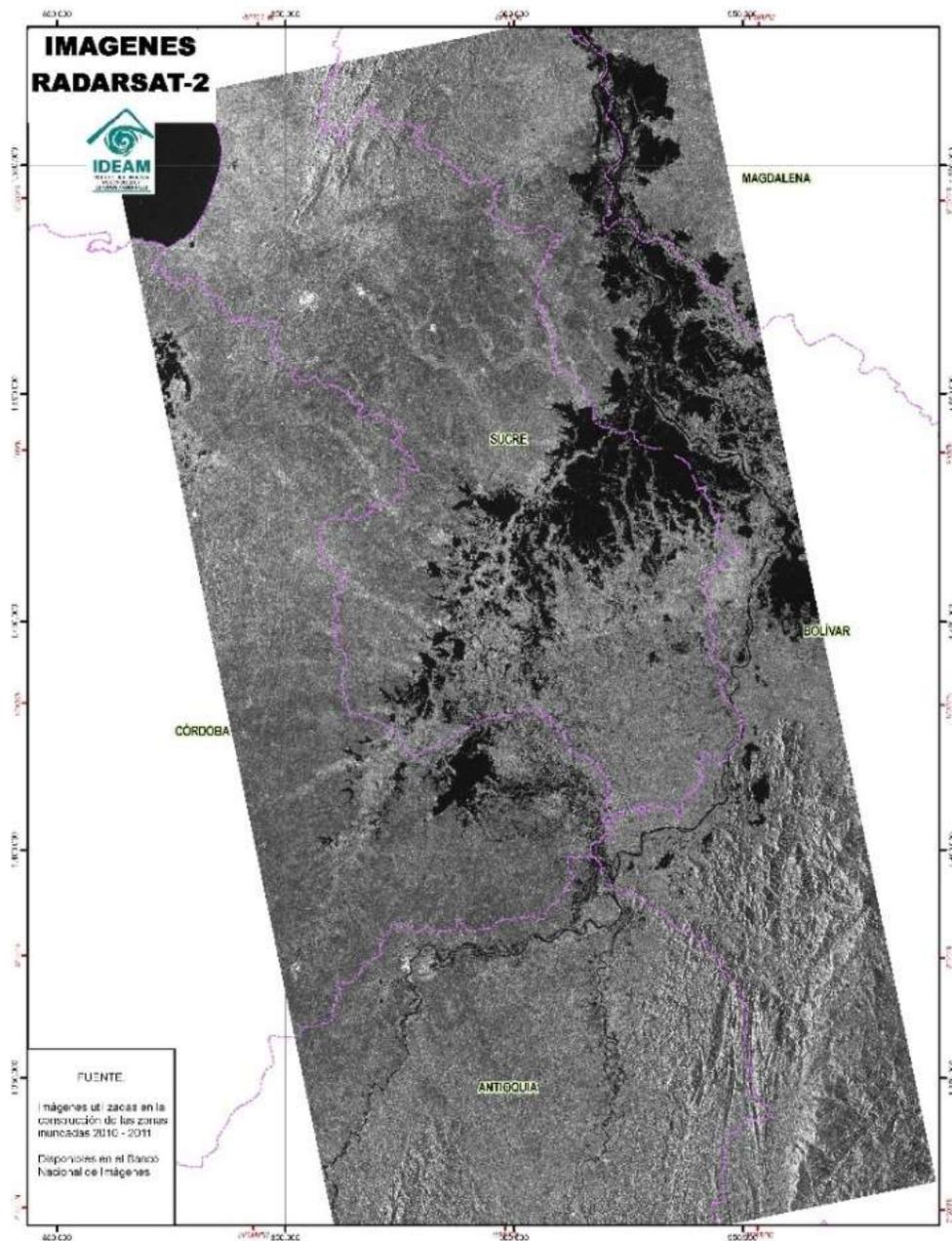


Figura A1-6-5 Imágenes Radarsat-2

<sup>22</sup> <http://wikipedia.org/wiki/Radarsat-1>

<sup>23</sup> [http://www.esri-chile.cm/biblioteca/RADARSAT\\_2.pdf](http://www.esri-chile.cm/biblioteca/RADARSAT_2.pdf)

Modo de Haz	Cobertura	Resolución aprox.		Angulo de Incidencia aprox.	Polarización <sup>1</sup>
		(Rango)	(Azimut)		
Ultra-Fine	20 Km.	3 m	3 m	30° - 49°	Polarización Single
Multi-Look Fine	50 Km.	8 m	8 m	30° - 50°	
Fine	50 Km.	8 m	8 m	30° - 50°	Polarización Single o Polarización Dual
Standard	100 Km.	25 m	26 m	20° - 49°	
Wide	150 Km.	30 m	26 m	20° - 45°	
ScanSAR Narrow	300 Km.	50 m	50 m	20° - 46°	
ScanSAR Wide	500 Km.	100 m	100 m	20° - 49°	
Extended High	75 Km.	18 m	26 m	49° - 60°	Polarización Single
Fine Quad-Pol	25 Km.	12 m	8 m	20° - 41°	Polarización Quad
Standard Quad-Pol	25 Km.	25 m	8 m	20° - 41°	
Nota 1 Polarización selectiva : (HH y HV) o (VH y VV) Polarización Single : (HH) Polarización Quad : (HH, VV, HV, VH) Polarización selectiva Single : (HH) o (HV) o (VH) o (VV)					

**Tabla A1-6-5 Características Radarsat-2**

Dadas sus características este satélite puede ser utilizado en labores de vigilancia en operaciones en tiempo casi real como el monitoreo de emergencias tales como inundaciones.

### **Cartografía básica**

Los diferentes resultados de la modelación hidrológica e hidráulica, se pueden superponer sobre cartografía básica, especialmente información predial, para conocer la magnitud de la afectación, en la actualidad se puede superponer esta información sobre imágenes de satélite de alta resolución espacial, lo cual permite tener mayor contexto de la zona afectada.

#### *Planimetría*

Hasta hace unos años solo se contaba con información catastral (Manzanas, Lotes, Construcciones, etc.), con la cual se identificaba el alcance de las inundaciones en un centro poblado y de esta forma diseñar los diferentes tipos de intervenciones.

#### *Ortofotomosaico*

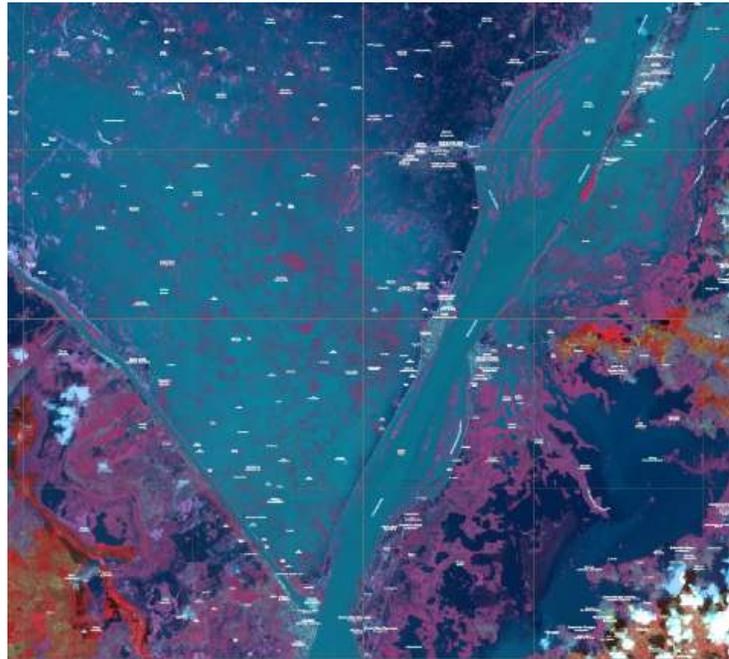
Son la representación continua y uniforme de un área de la superficie de la tierra, por medio de la unión de imágenes aerofotográficas y un proceso de ortorectificación y georreferenciación (IGAC, 2008).



**Figura A1-6-6 Ortofotomosaico de Bucaramanga**

*Ortoimagen*

Es una imagen o mosaico de imágenes a las cuales se les ha realizado un proceso de ortorectificación y georreferenciación, donde se han corregido las distorsiones debido al relieve y a la inclinación del relieve (IGAC, 2008).



**Figura A1-6-7 Ortoimagen Canal del Dique 2010**



**Figura A1-6-8 Ortoimagen Lidar de Caimito (Sucre)**

Cabe aclarar que existen varios sitios web que permiten la descarga gratuita de información de imágenes, especialmente al nivel global y regional (MODIS, Landsat, Sentinel, entre otros); para el nivel local, se puede utilizar la herramienta SAS Planet, la cual permite descargar imágenes de alta resolución desde Google Earth.



**Figura A1-6-9 Ortoimagen Montelíbano (Córdoba)**

En ocasiones las imágenes dispuestas por Google Earth, no se encuentran disponibles para visualización y descarga desde SAS Planet, para lo cual se pueden descargar con Google Earth pro con alta resolución espacial, ubicando puntos de control, para luego ortorrectificarla con un software SIG.



Figura A1-6-10 Ortoimágen Tunja (Boyacá)

## DATOS ALFANUMÉRICOS

La información de tipo hidrológico o meteorológico puede ser consultada de la información registrada por el IDEAM, a la cual se puede acceder de dos maneras, ya sea a través de solicitud formal al IDEAM por medio de su plataforma web con un nombre de usuario y contraseña o también a través del Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH).

### SOLICITUD DE INFORMACIÓN AL IDEAM

Si usted es persona natural o jurídica, organización civil o pública y requiere datos hidrológicos, meteorológicos o ambientales (documentación técnica generada por otras dependencias del IDEAM) en series históricas, debe visitar cualquiera de nuestras sedes en el país o ingresar al link compra de información.

A través de esta herramienta en línea el usuario puede consultar y recibir la información que necesite del IDEAM desde cualquier lugar a través de la página web <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>.

Recuerde que de acuerdo con el principio de gratuidad contemplado en la Ley 1712 del 6 de marzo de 2014, el IDEAM le hará entrega de la información de manera gratuita, es decir, sin costo alguno.

Adicionalmente a los registros históricos de información hidrológica y meteorológica, también puede solicitar información concerniente a aforos líquidos, sólidos, cotas cero de las estaciones limnimétricas y limnigráficas, huellas de inundación de eventos históricos entre otros.

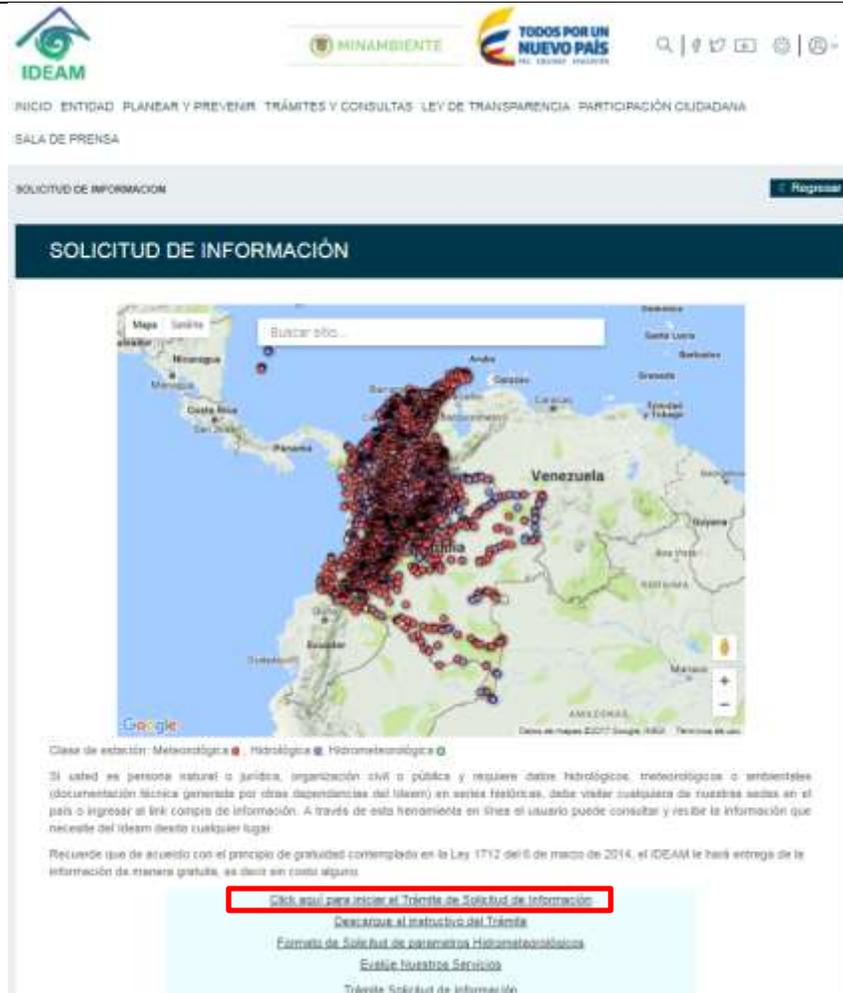


Figura A1-6-11 Solicitud de información al IDEAM



Figura A1-6-12 Portal de solicitud de información al IDEAM

Adicionalmente puede descargar de manera gratuita la siguiente información:

- Curvas intensidad, duración, frecuencia – IDF: <http://www.ideam.gov.co/curvas-idf>
- Catálogo Shape del IDEAM:  
[http://institucional.ideam.gov.co/jsp/info/institucional/publicaciones/CATALOGO\\_ESTACIONES\\_IDEAM\\_V10\\_AGOSTO2017.zip](http://institucional.ideam.gov.co/jsp/info/institucional/publicaciones/CATALOGO_ESTACIONES_IDEAM_V10_AGOSTO2017.zip)
- Catálogo Nacional de Estaciones del IDEAM en Excel:  
[http://www.ideam.gov.co/documents/10182/557765/CATALOGO\\_ESTACIONES\\_IDEAM\\_V10\\_AGOSTO2017.xls/c3dd0ad0-ca1b-42ef-9220-3f21cb46f4f1](http://www.ideam.gov.co/documents/10182/557765/CATALOGO_ESTACIONES_IDEAM_V10_AGOSTO2017.xls/c3dd0ad0-ca1b-42ef-9220-3f21cb46f4f1)
- Catálogo Nacional de Estaciones de otras entidades en Excel:  
[http://www.ideam.gov.co/documents/10182/557765/CATALOGO\\_ESTACIONES\\_DE\\_OTRAS\\_ENTIDADES\\_V10\\_AGOSTO2017+%281%29.xls/538e86b3-72e7-4fc0-8e11-359ea4c2d0cd](http://www.ideam.gov.co/documents/10182/557765/CATALOGO_ESTACIONES_DE_OTRAS_ENTIDADES_V10_AGOSTO2017+%281%29.xls/538e86b3-72e7-4fc0-8e11-359ea4c2d0cd)
- Red de Estaciones Pluviométricas – Pluviográficas:  
<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/info/institucional/publicaciones/Red%20de%20Estaciones%20Pluviograficas.pdf>
- Red de Estaciones Hidrológicas:  
<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/info/institucional/publicaciones/Red%20de%20Estaciones%20Hidrologicas.pdf>
- Red de Estaciones Climáticas:  
<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/info/institucional/publicaciones/Red%20de%20Estaciones%20Climaticas.pdf>

## **SISTEMA DE INFORMACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO - SIRH**

De acuerdo con lo establecido en el Decreto 1076 de 2015, Capítulo 5 sección 1, artículo 2.2.3.5.1.2, el Sistema de Información del Recurso Hídrico -SIRH- es el conjunto de elementos que integra y estandariza el acopio, registro, manejo y consulta de datos, bases de datos, estadísticas, sistemas, modelos, información documental y bibliográfica, reglamentos y protocolos que facilita la gestión integral del recurso hídrico.

En este sentido, El SIRH gestiona conocimiento relacionado con el estado, comportamiento y dinámica del ciclo hidrológico en las unidades de interés hidrológico, atendiendo a la estrategia de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico - PNGIRH, que dispone "Desarrollar conocimiento y la investigación del recurso y fortalecer un sistema de información multipropósito del agua, integrado al Sistema de Información Ambiental de Colombia -SIAC"; lo cual se constituye como una acción en la que están involucrados además del Ministerio de Ambiente, los Institutos de Investigación y las Autoridades Ambientales, en calidad de proveedoras de información del nivel nacional, regional y local.

Actualmente el SIRH cuenta con información de cinco componentes relacionados con la Oferta, Demanda, Calidad, Riesgo y Gestión del Recurso Hídrico, la cual es procesada y consolidada, gracias al trabajo articulado que se viene adelantando con el IDEAM y las 42 Autoridades Ambientales Competentes, que desde el año 2012 han realizado un esfuerzo conjunto para reportar y poner a

disposición, información de usuarios del agua y monitoreo de calidad realizada a sus cuerpos de agua en el área de su jurisdicción.

### Datos de Rugosidad de Manning

Dado que para elaborar un modelo hidráulico es necesario realizar una evaluación de las características de la rugosidad del canal, lo cual puede hacerse a través de un proceso cuantitativo por medio de aforos y batimetrías del sitio de interés o a través de rugosidades determinadas en otros estudios para ríos similares, como por ejemplo en la página web del USGS de Estados Unidos donde se presentan fotografías de distintos ríos a los cuales se les ha determinado de manera cuantitativa el  $n$  de Manning.

<https://www.camnl.wr.usgs.gov/sws/fieldmethods/Indirects/nvalues/index.htm>

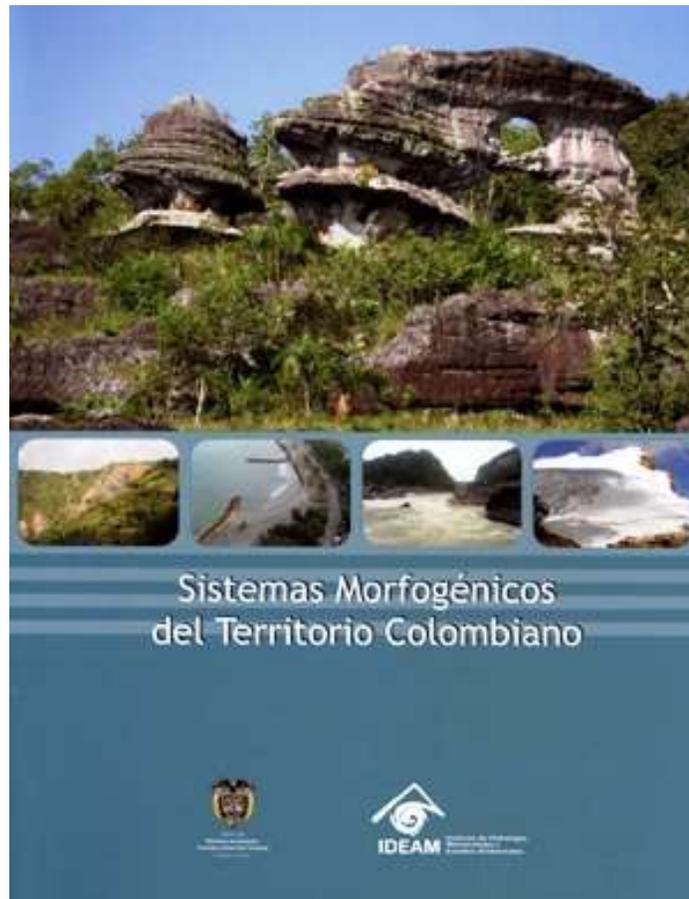


Figura A1-6-13 Rugosidades características de algunos canales naturales

## B. ANEXO 2. CASO DE ESTUDIO MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD

A continuación se realiza una descripción de la metodología empleada para elaborar el mapa de susceptibilidad a inundaciones de Colombia a una escala de 1:500.000.

La identificación de las zonas susceptibles a inundación, se basa en el análisis de los Sistemas Morfogénicos del Territorio Colombiano, IDEAM 2010; escala 1: 500.000.



**Figura A2-6-14 Sistemas morfogénicos del Territorio Colombiano**

Se destacan las Llanuras aluviales (incluyendo la Depresión Momposina) del sistema Magdalena-Cauca-San Jorge-Sinú en la vertiente del Atlántico, las de los ríos Atrato, San Juan, Patía y Micay en el Pacífico, las Llanuras aluviales de los Llanos Orientales, las de los ríos Zulia y Catatumbo y el altiplano Cundiboyacense. Algunos municipios como Arauca y Montería (entre otros ejemplos) se establecieron inicialmente sobre los diques aluviales, geoforma en la que la dinámica aluvial implica amenazas por desborde y socavamiento y en el proceso de crecimiento, la construcción urbana se expande hacia las cubetas inundables.

Las avenidas torrenciales son fenómenos de respuesta rápida detonados por lluvias intensas de corta duración o por la persistencia de lluvias en las cuencas de aporte. En consecuencia, los denominados piedemontes presentan una alta susceptibilidad para que este fenómeno se presente de forma muy frecuente.

En la Tabla A1.1 se describen las unidades del sistema morfogénico que conforman el mapa de susceptibilidad a inundaciones.

**Tabla A1.1 Unidades del Sistema Morfogénico de Colombia**

SIMBOLO	ESTRUCTURA	MODELADO	FORMACIÓN SUPERFICIAL	PROCESOS DOMINANTES	OTROS PROCESOS	TIPO DE AMENAZA
DT16	Depresión tectónica	Llanura aluvial con pendiente media plana. Sistema aluvial de desborde con presencia de numerosas ciénagas	Depósitos de sedimentos de granulometría fina dominante de arena y arcilla	Inundación y aluvionamiento de la llanura de inundación	Colmatación de ciénagas por sedimentación	Inundaciones
DT15	Depresión tectónica	Llanura aluvial con pendiente media plana, con formas de diques, orillares, meandros y cauces abandonados. Sistema asociado a los grandes ríos aguas arriba de los sistemas cenagosos	Depósitos de llanuras de inundación con predominio de fracciones finas tipo limos, arenas y arcillas	Sedimentación en cubetas, diques y orillares por aluvionamiento	Formación de meandros y cauces abandonados. Encharcamiento por lluvia	Inundaciones frecuentes
DT12	Valles mayores de depresiones, algunos con control parcial por pliegues, fallas o fracturas menores	Valles con pendiente media plana, con conos terraza, terrazas bajas y cubetas de inundación	Depósitos aluviales y coluvioaluviales y rellenos lacustres	Sedimentación en los lechos principales. Derrumbes o desprendimientos en las bermas de las terrazas	Formación de túneles, surcos y cárcavas en las terrazas altas	Inundaciones frecuentes en las terrazas bajas
DTp2b	Contacto cordillera-depresión.	Conos de deyección con pendiente media ligeramente plana	Depósitos aluvio-torrenciales con influencia fluvio-glaciár. En Nariño hay influencia fluvio-volcánica y cobertura de cenizas	Escurrecimiento superficial difuso con disección incipiente	Disección mayor con socavamiento lateral ligada a los ríos. Desbordamiento y flujos torrenciales. Encharcamiento	Flujos torrenciales ocasionales Desbordamientos ocasionales

SIMBOLO	ESTRUCTURA	MODELADO	FORMACIÓN SUPERFICIAL	PROCESOS DOMINANTES	OTROS PROCESOS	TIPO DE AMENAZA
<b>DAf4</b>	Plataforma sedimentaria con control tectónico parcial	Planicies aluviales de pendiente media plana, con diques, cubetas de inundación y antiguos cauces	Depósitos de sedimentos muy meteorizados compuestos principalmente por arenas cuarzosas y arcillas caolínicas muy ácidas, procedentes de la plataforma o del escudo. Afloramiento rocosos en los raudales	Aluvionamiento y socavamiento leve	Inundaciones periódicas	Inundaciones frecuentes
<b>DAf3</b>	Plataforma sedimentaria con control tectónico parcial	Planicies aluviales de pendiente media plana, con bancos, meandros, cauces abandonados, diques y cubetas de desborde	Depósitos de sedimentos aluviales heterogéneos. Los materiales más gruesos se encuentran cerca de la cordillera	Inundaciones periódicas. Aluvionamiento	Socavamiento leve	Inundaciones frecuentes
<b>DAf2</b>	Plataforma sedimentaria con control tectónico parcial	Terrazas con pendiente media plana con presencia de diques y cauces abandonados	Depósitos de materiales aluviales con horizontes plintíticos continuos y granulometría fina. No se aprecian formas onduladas como en las terrazas altas	Escurrimiento difuso leve	Diseción incipiente. Encharcamiento de suelos. Desbordes ocasionales	Pérdida de suelos por aceleración del escurrimiento. Desbordes ocasionales
<b>DAf5</b>	Plataforma sedimentaria con control tectónico parcial	Valles plano-cóncavos con pendiente media plana, que cortan las superficies de denudación, las terrazas antiguas y en ocasiones las estructuras rocosas	Depósitos de sedimentos recientes predominantemente arenosos, ocasionalmente con texturas franco-arenosas y franco-arcillosas de origen coluvio-aluvial.	Acumulación de materiales coluvio-aluviales	Socavamiento lateral. Inundaciones periódicas	Inundaciones frecuentes

SIMBOLO	ESTRUCTURA	MODELADO	FORMACIÓN SUPERFICIAL	PROCESOS DOMINANTES	OTROS PROCESOS	TIPO DE AMENAZA
			Concreciones petroféricas			
DOF1	Rocas cristalinas del escudo Guayanés. Control estructural parcial (rápidos)	Planicie aluvial estrecha con pendiente media plana, con desarrollo de vegas inundables, lechos menores trenzados y orillares de poca extensión. Cauce anastomosado interrumpido por raudales	Depósitos aluviales de espesor variado con texturas finas de arenas y limos	Aluvionamiento interrumpido por raudales en un nivel de base local alto	(en blanco)	Inundaciones
DOF3	Plataforma del Terciario Superior con control tectónico parcial	Valles de pendiente plana, con profundidades de 20 a 50 m en relación con el nivel de la altillanura. Presencia de meandros abandonados, orillares, diques y cubetas de inundación	Depósitos aluviales con predominio de materiales finos (arcillo-limosos). También se encuentran capas de arenas y gravillas ferruginosas	Divagación de los ríos con formas meándricas	Socavamiento lateral. Desprendimientos en las bermas.	Inundaciones periódicas
DOF2	Plataforma del Terciario Superior. Límite altillanura llanos orientales	Terraza derecha del río Meta, de forma irregular y discontinua por socavamientos laterales, con pendiente plana y formas aluviales como diques, cubetas y meandros	Depósitos superficiales arcillo-limosos que incluyen nódulos ferruginosos. Reposan en parte sobre depósitos aluviales de granulometría areno-limosa con bloques redondeados	Socavamiento lateral sobre los bordes de la terraza debido a los aportes de los ríos del Llano	Coluvionamiento procedente de la altillanura. Inundaciones. Encharcamiento. Disección leve	Derrumbe de la terraza por socavamiento lateral. Inundaciones frecuentes.

SIMBOLO	ESTRUCTURA	MODELADO	FORMACIÓN SUPERFICIAL	PROCESOS DOMINANTES	OTROS PROCESOS	TIPO DE AMENAZA
<b>DOr5</b>	Cuenca sedimentaria en depresión tectónica	Llanura aluvial con pendiente media plana a ligeramente plana, con presencia de valles mayores, cauces anastomosados, diques, orillares y cubetas inundables.	Depósitos de sedimentos aluviales heterométricos, con cantos redondeados, arcillas, limos, gravillas y arenas	Aluvionamiento e inundación de cubetas	Socavamiento lateral. Divagación con formación de meandros	Desbordes y cambios de cauces. Inundaciones. Divagación de cauces
<b>DOr1</b>	Cuenca sedimentaria en depresión tectónica	Llanura de pendiente plana, con paleoformas aluviales como diques, cauces abandonados, cubetas y meandros. Presencia de cubetas de inundación con formación de zurales con altura inferior a 1,5 m	Depósitos aluviales de granulometría fina limo-arcillosa. Los bajos inundables presentan contenido de arcilla caolinítica	Encharcamientos frecuentes. Inundaciones en los bajos	Formación de escarceos en los paleocauces. Coluvionamiento Diseción leve	Encharcamientos frecuentes e inundaciones en los bajos
<b>DOr2</b>	Cuenca sedimentaria en depresión tectónica	Depresión con pendiente media plano-cóncava, ocupada por relictos de pantanos	Depósitos de materiales lacustres predominantemente arcillosos	Inundaciones frecuentes	Desbordes Aluvionamiento	Desbordes
<b>DOr4</b>	Cuenca sedimentaria en depresión tectónica	Terrazas con pendientes medias predominantemente planas, con altura no superior a 5 m, aunque algunas veces se aproximan a 10 m. Presencia de canales anastomosados heredados de hasta 100 m. de ancho	Depósitos de materiales finos de origen aluvial con presencia de cantos	Encharcamientos por lluvia Inundaciones por desborde	Diseción incipiente	Aceleración del escurrimiento superficial. Inundaciones por desborde ocasionales

SIMBOLO	ESTRUCTURA	MODELADO	FORMACIÓN SUPERFICIAL	PROCESOS DOMINANTES	OTROS PROCESOS	TIPO DE AMENAZA
<b>DOo2</b>	Cuenca sedimentaria en depresión tectónica	Modelado heredado de dunas longitudinales y parabólicas de altura relativa inferior a 50 m. Pendiente ligeramente plana a fuertemente inclinada	Depósitos de limos y arenas finas de origen eólico, con coberturas parciales de sedimentos aluviales de inundación de tamaño limo y arcilla	Esguerrimiento superficial difuso con truncamiento de suelos leve y formación de surcos	Aluvionamiento en los bordes de las dunas. Inundaciones parciales de espacios interdunares. Disección leve con formación de colinas	Degradación de suelos por esguerrimiento. Desertificación
<b>LTP2</b>	Planicie litoral de acumulación	Planicie deltaica. Formaciones deltaicas lobuladas. Pendientes medias planas	Deltas con sedimentos tales como arenas, limos, gravas y arcillas con selección lateral. Los deltas con influencia fluviovolcánica contienen aportes volcánicos	Acreción por sedimentación.	Perdida por deriva litoral. Subsistencia. Inundaciones (desbordes). Cambios de curso	Tsunamis esporádicos. Posibilidad de erosión por avance marino. Subsistencia local. Inundaciones frecuentes. Difuencias ocasionales
<b>LTP1</b>	Planicie litoral de acumulación	Estuarios de acumulación de sedimentos fluvio-marinos dispuestos en cordones, barras, playas y deltas menores que encierran bahías, ensenadas y otras geoformas. Pendientes medias planas	Depósitos fluvio-marinos de texturas finas, en geoformas como marismas, cordones, barras y deltas	Sedimentación por decantación y floculación aceleradas por deforestación	Movilidad relacionada con las corrientes de marea. Avenidas extremas de los ríos. Deriva litoral. Efectos sísmicos. Acreción por sedimentación litoral	Tsunamis esporádicos. Avenidas frecuentes. Subsistencia local. Sedimentación de estuarios (acelerada por deforestación)



Figura A2-6-15 Zonas susceptibles a inundación en Colombia



Figura A2-6-16 Zonas Susceptibles a Avenidas Torrenciales en Colombia



Figura A2-6-17 Zonas Susceptibles a Inundaciones y Avenidas Torrenciales en Colombia

## C. ANEXO 3 CASO DE ESTUDIO MAPA DE EVENTO DE INUNDACIÓN

### MAPA DE EVENTO DE INUNDACIÓN 2010 – 2011 EN COLOMBIA

En el marco de los análisis para establecer las áreas afectadas por los efectos hidro-meteorológicos del evento La Niña 2010-2011 se realizó la interpretación de imágenes de sensores remotos para los sitios donde se disponía de dichas imágenes satelitales en esa época. Así mismo se estableció una **línea base** que sirviera como referencia a las inundaciones y que permitiera estimar la extensión asociada al evento en particular en la cual se identificaron las superficies cubiertas por espejos de agua y las coberturas asociadas a ella, entre las que se destacan las zonas pantanosas y otras coberturas que por sus condiciones edafogenéticas favorecen la ocurrencia de procesos de inundación.

Para establecer esta línea base de inundaciones se parte del análisis de indicadores meteorológicos, específicamente el correspondiente a la serie del índice oceanográfico ONI, con lo cual se identificó a la segunda temporada lluviosa del 2001 como una época durante la cual predominaron condiciones meteorológicas cercanas a una fase normal. De esta manera las superficies de agua y coberturas asociadas podían reflejar una condición de referencia normal para las zonas inundables del territorio colombiano.

Para el período de análisis noviembre de 2010 a junio de 2011 el cual se clasifica como Niña Fuerte, en particular se emplearon las imágenes de sensores remotos tanto ópticas como de radar disponibles para realizar la interpretación, mediante la aplicación de técnicas de procesamiento digital e interpretación visual que permitieron identificar las zonas sometidas a inundaciones. Se emplearon procesos de mejoramiento radiométrico de las imágenes ópticas y se evaluaron índices como el NDVI (Índice Diferencial de Vegetación Normalizado por sus siglas en inglés).

En el caso de imágenes de radar se aplicaron análisis de textura y se calcularon índices de retrodispersión para identificar las zonas inundadas completamente. Con esto se logró establecer la extensión de la inundación correspondiente a una escala cartográfica 1:100.000.

Particularmente en estos análisis se destaca el rompimiento de diques como el que se presentó en el Canal del Dique en el sur del Atlántico, el rompimiento del margen izquierdo del río Cauca entre Caucasia y San Jacinto del Cauca dando origen a los rompederos de Santa Anita y Mundo Nuevo que fueron los que contribuyeron en gran medida a las grandes afectaciones en la región de la Mojana, así mismo el rompimiento del dique de la margen izquierda del río Cauca a la altura del municipio de la Candelaria y que afectó el parque industrial en el Valle del Cauca, desbordamientos en la Depresión Momposina en el brazo de Loba y brazo Mompo, y todo el bajo Magdalena por su margen derecho principalmente.

Debido a las escalas de trabajo 1:100.000, se reconoce como premisa que los fenómenos de inundación asociados corresponden a aquellos de régimen fluvial que dan origen a las inundaciones de tipo “lento” y no incluyen los eventos de régimen torrencial o inundaciones de tipo súbito, que no pueden ser detectados con estas herramientas de análisis espacial debido a su escala reducida e impacto local.

Del territorio nacional se priorizó en el análisis a las zonas andina, caribe y pacífica por ser en ellas donde más claramente se evidencia la señal de incremento en las precipitaciones durante un evento típico de La Niña, razón por la cual son de esperar efectos evidentes por la ocurrencia de inundaciones.



Figura A3-6-18 Área Interpretada con sensores remotos

**Tabla A3-6-6 Porcentaje interpretado por departamento**

DEPARTAMENTO	ÁREA TOTAL DEPARTAMENTO	ÁREA INTERPRETADA	% INTERPRETADO
ANTIOQUIA	6.296.299	6.296.299	100%
ATLÁNTICO	331.159	331.159	100%
BOLÍVAR	2.665.496	2.665.496	100%
BOYACÁ	2.317.531	2.317.531	100%
CALDAS	743.890	743.890	100%
CESAR	2.256.550	2.256.550	100%
CHOCÓ	4.824.344	4.824.344	100%
CÓRDOBA	2.499.858	2.499.858	100%
CUNDINAMARCA	2.398.439	2.398.439	100%
LA GUAJIRA	2.061.936	2.061.936	100%
MAGDALENA	2.314.438	2.314.438	100%
NORTE DE SANTANDER	2.182.705	2.182.705	100%
QUINDÍO	193.217	193.217	100%
RISARALDA	356.035	356.035	100%
SANTANDER	3.054.326	3.054.326	100%
SUCRE	1.071.860	1.071.860	100%
VALLE DEL CAUCA	2.076.805	2.076.805	100%
TOLIMA	2.415.020	2.408.932	99,75%
HUILA	1.813.533	1.666.696	92%
CAUCA	3.125.130	2.713.149	87%
CASANARE	4.434.139	2.807.614	63%
ARAUCA	2.383.135	1.072.639	45%
META	8.555.025	2.211.172	26%
CAQUETÁ	9.010.823	715.951	8%
NARIÑO	3.149.751	200.263	6%
PUTUMAYO	2.584.632	1.666	0,1%

Debido a que no todos los eventos “La Niña” tiene un impacto similar y no son iguales, se consideraron diferentes intensidades de eventos La Niña, de acuerdo con la clasificación de eventos reportados para el territorio nacional y se estimaron sus potenciales efectos sobre la dinámica de las inundaciones, por lo que se agruparon los eventos “Niña” en Niña Fuerte, Niña Moderada y Niña débil. En la **Tabla A3-6-7** se observan los años Niña y sus intensidades asociadas. Para estos años, se construyeron los mosaicos respectivos con imágenes ópticas disponibles para los diferentes periodos

bajo análisis y se aplicó un sistema de clasificación automática supervisada orientada a identificar las zonas sometidas a inundación.

**Tabla A3-6-7. Eventos La Niña e Intensidades asociadas**

Anomalía de la Temperatura Superficial del Mar (Región Niño3)			
<b>Niña Intensidad Fuerte</b>			
AÑOS EVENTO	Comienzo	Fin	Duración (meses)
1988-1989	may-88	mar-89	11
2007-2008	jul-07	feb-08	8
2010-2011	jul-10	feb-11	8
<b>Niña Intensidad Moderada</b>			
AÑOS EVENTO	Comienzo	Fin	Duración (meses)
1970-1971	jun-70	feb-71	9
1973-1974	jun-73	feb-74	9
1975-1976	jun-75	feb-76	9
1999-2000	ago-99	feb-00	8
<b>Niña Intensidad Débil</b>			
AÑOS EVENTO	Comienzo	Fin	Duración (meses)
1964	abr-64	dic-64	9
1967-1968	sep-67	mar-68	7

### **Criterios tenidos en cuenta para la elaboración de los mapas de evento de inundación**

Las zonas sometidas a inundaciones que se presentan en los diferentes escenarios de análisis permiten identificar en primer lugar la extensión total de la inundación y dentro de ésta las zonas que corresponden a cuerpos de agua y zonas periódicamente inundables.

**Los cuerpos de agua** corresponden a aguas permanentes, intermitentes y estacionales, localizados en el interior del continente y los que bordean o se encuentran adyacentes a la línea de costa continental y comprende:

<b>5</b>	<b>SUPERFICIES DE AGUA</b>
<b>5.1</b>	<b>Aguas continentales</b>
5.1.1	Ríos (50 m)
5.1.2	Lagunas, lagos y ciénagas naturales
5.1.3	Canales
5.1.4	Cuerpos de agua artificiales
<b>5.2</b>	<b>Aguas marítimas</b>
5.2.1	Lagunas costeras
5.2.2	Mares y océanos
5.2.3	estanques para acuicultura marina

En las **zonas periódicamente inundables** se incluyen las áreas húmedas que comprende aquellas coberturas constituidas por terrenos anegadizos, que pueden ser temporalmente inundados y estar parcialmente cubiertos por vegetación acuática, localizados en los bordes marinos y al interior del continente, conformada por:

<b>4</b>	<b>ÁREAS HÚMEDAS</b>
<b>4.1</b>	<b>Áreas húmedas continentales</b>
4.1.1	Zonas pantanosas
4.1.2	Turberas
4.1.3	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
<b>4.2</b>	<b>Áreas húmedas costeras</b>
4.2.1	Pantanos costeros
4.2.2	Salitral
4.2.3	Sedimentos expuestos en bajamar

Igualmente a los bosques y áreas seminaturales que corresponde a las áreas con vegetación de tipo arbóreo, que se encuentra localizada en las franjas adyacentes a los cuerpos de agua (lóticos), las cuales corresponden a las vegas de divagación y llanuras de desborde con procesos de inundación periódicos, identificados como:

<b>3</b>	<b>BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>
<b>3.1</b>	<b>Bosques</b>
3.1.1.1.2	Bosque denso alto inundable
3.1.1.2.2	Bosque denso bajo inundable
3.1.2.1.2	Bosque abierto alto inundable
3.1.2.2.2	Bosque abierto bajo inundable
<b>3.2</b>	<b>Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva</b>
3.2.1.1.2	Herbazal denso inundable

Se incluyen además otras unidades de bosques y áreas seminaturales, seleccionado solamente las que se encuentran en ambientes que presentan condiciones acuicas (mal drenaje) según lo identificado en los ambientes edafogenéticos del Mapa de Ecosistemas (IDEAM, 2015) escala 1:100.000.

<b>3</b>	<b>BOSQUES Y AREAS SEMINATURALES</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Bosque fragmentado</b>
3.1.3.1	Bosque fragmentado con pastos
3.1.3.2	Bosque fragmentado con vegetación secundaria
3.1.4	Bosque de galería y ripario
<b>3.2</b>	<b>Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva</b>
3.2.2.1	Arbustal denso
3.2.2.2	Arbustal abierto
<b>3.2.3</b>	<b>Vegetación secundaria o en transición</b>

La línea base de inundaciones se presenta en el mapa 2 y permitió identificar para el territorio colombiano una extensión de 1'604.559 Ha. en cuerpos de agua y 13'156.953 Ha. en zonas periódicamente inundables. La distribución por departamentos de esta línea base de inundaciones se presenta en la tabla 3.

**Tabla A3-6-8. Distribución de cuerpos de agua y zona inundable periódicamente por departamento  
(línea base año 2001)**

DEPARTAMENTO	ÁREA TOTAL	CUERPO DE AGUA		ZONA INUNDABLE PERIÓDICAMENTE	
		Ha	%	Ha	%
ANTIOQUIA	6.296.299	78.199	1,20%	353.773	5,60%
ATLÁNTICO	331.159	20.555	6,20%	13.723	4,10%
CUNDINAMARCA	161.656	211	0,10%	1.784	1,10%
BOLÍVAR	2.665.496	210.551	7,90%	386.896	14,50%
BOYACÁ	2.317.531	22.178	1,00%	4.340	0,20%
CALDAS	743.890	6.743	0,90%	439	0,10%
CAQUETÁ	9.052.121	34.551	0,40%	515.861	5,70%
CAUCA	3.125.130	24.578	0,80%	60.441	1,90%
CESAR	2.256.550	46.494	2,10%	103.674	4,60%
CÓRDOBA	2.499.858	44.943	1,80%	102.106	4,10%
CUNDINAMARCA	2.236.783	22.389	1,00%	11.272	0,50%
CHOCÓ	4.824.344	82.172	1,70%	717.579	14,90%
HUILA	1.813.533	15.934	0,90%	2.464	0,10%
LA GUAJIRA	2.293.348	3.048	0,10%	27.645	1,20%
MAGDALENA	2.314.438	166.942	7,20%	187.155	8,10%
META	8.555.025	84.290	1,00%	974.327	11,40%
NARIÑO	3.149.751	48.067	1,50%	207.688	6,60%
NORTE DE SANTANDER	2.182.705	9.914	0,50%	9.554	0,40%
QUINDÍO	193.217	402	0,20%	-	0,00%
RISARALDA	356.035	1.341	0,40%	101	0,03%
SANTANDER	3.071.018	42.430	1,40%	105.459	3,40%
SUCRE	1.071.860	83.490	7,80%	207.021	19,30%
TOLIMA	2.415.020	21.330	0,90%	1.069	0,00%
VALLE DEL CAUCA	2.076.805	18.719	0,90%	46.982	2,30%
ARAUCA	2.383.135	43.019	1,80%	1.396.656	58,60%
CASANARE	4.434.139	77.553	1,70%	3.002.458	67,70%
PUTUMAYO	2.584.632	21.811	0,80%	182.888	7,10%
AMAZONAS	10.903.686	75.369	0,70%	748.520	6,90%
GUAINÍA	7.140.386	75.479	1,10%	775.818	10,90%
GUAVIARE	5.557.912	30.000	0,50%	357.215	6,40%
VAUPÉS	5.343.179	38.925	0,70%	252.933	4,70%
VICHADA	10.008.757	145.140	1,50%	2.390.752	23,90%



Figura A3-6-19 Línea Base Inundaciones Colombia 2001

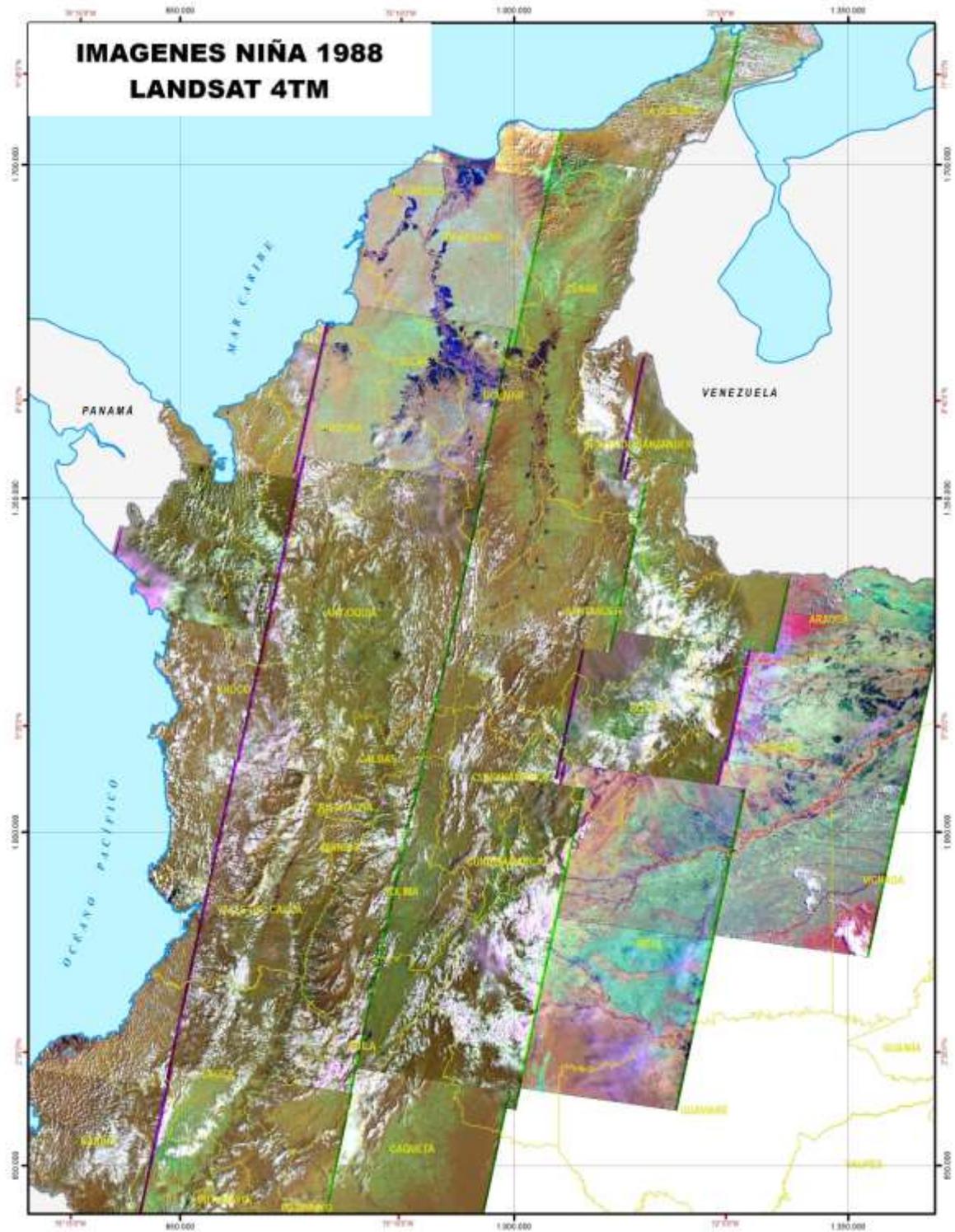


Figura A3-6-20 Imágenes Landsat 4TM Niña 1988

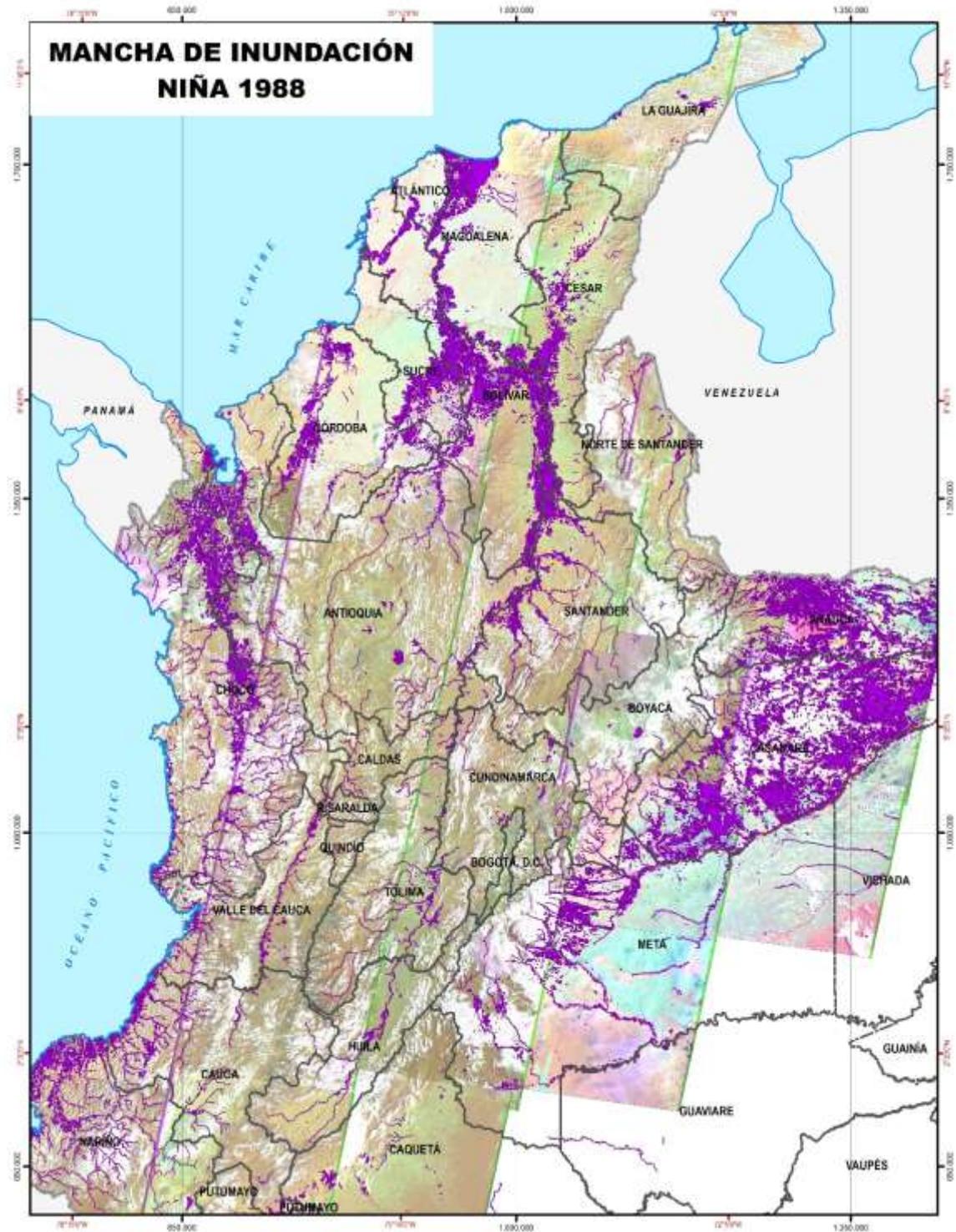


Figura A3-6-21 Mancha inundación Niña 1988

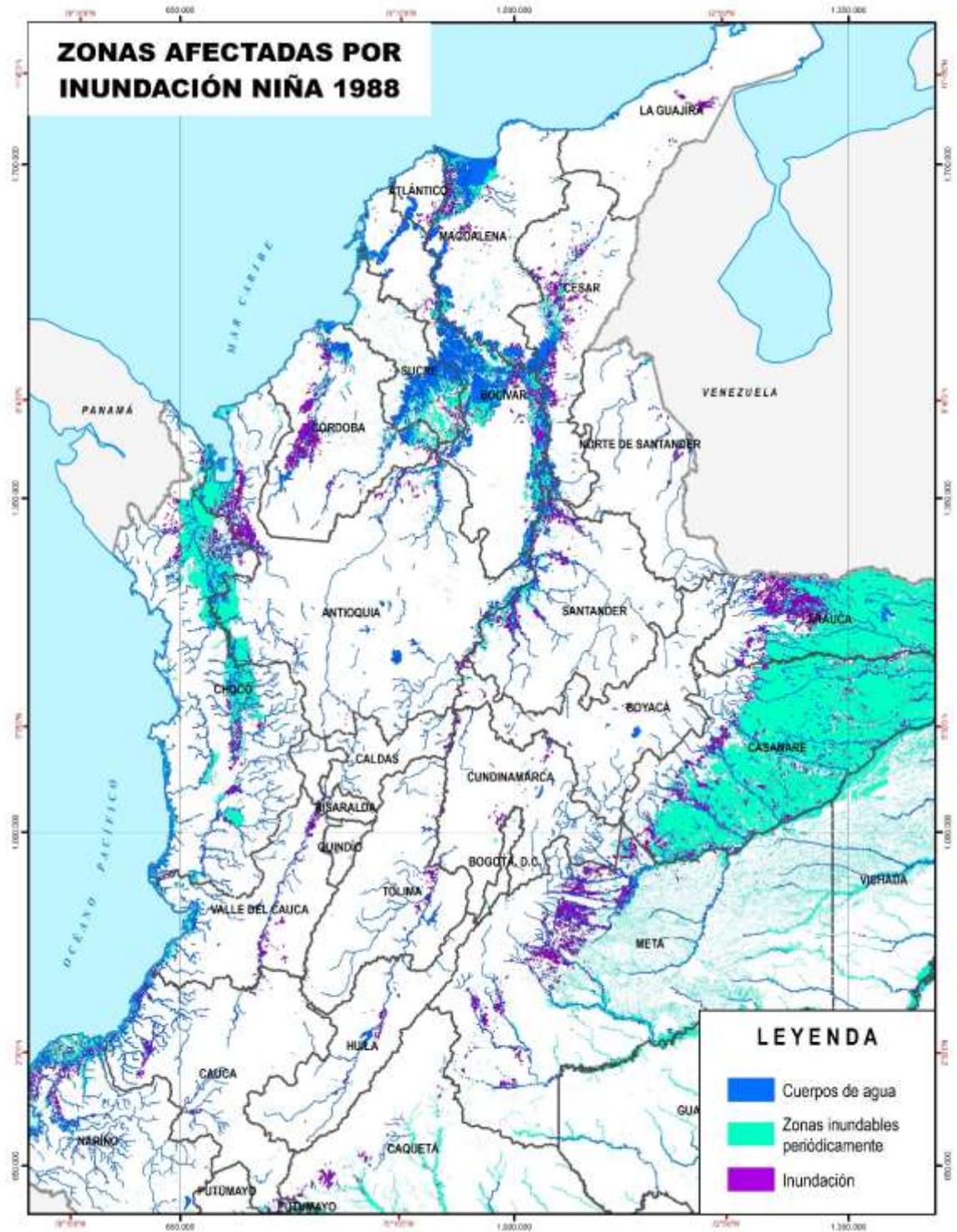


Figura A3-6-22 Áreas Afectadas por Inundaciones 1988

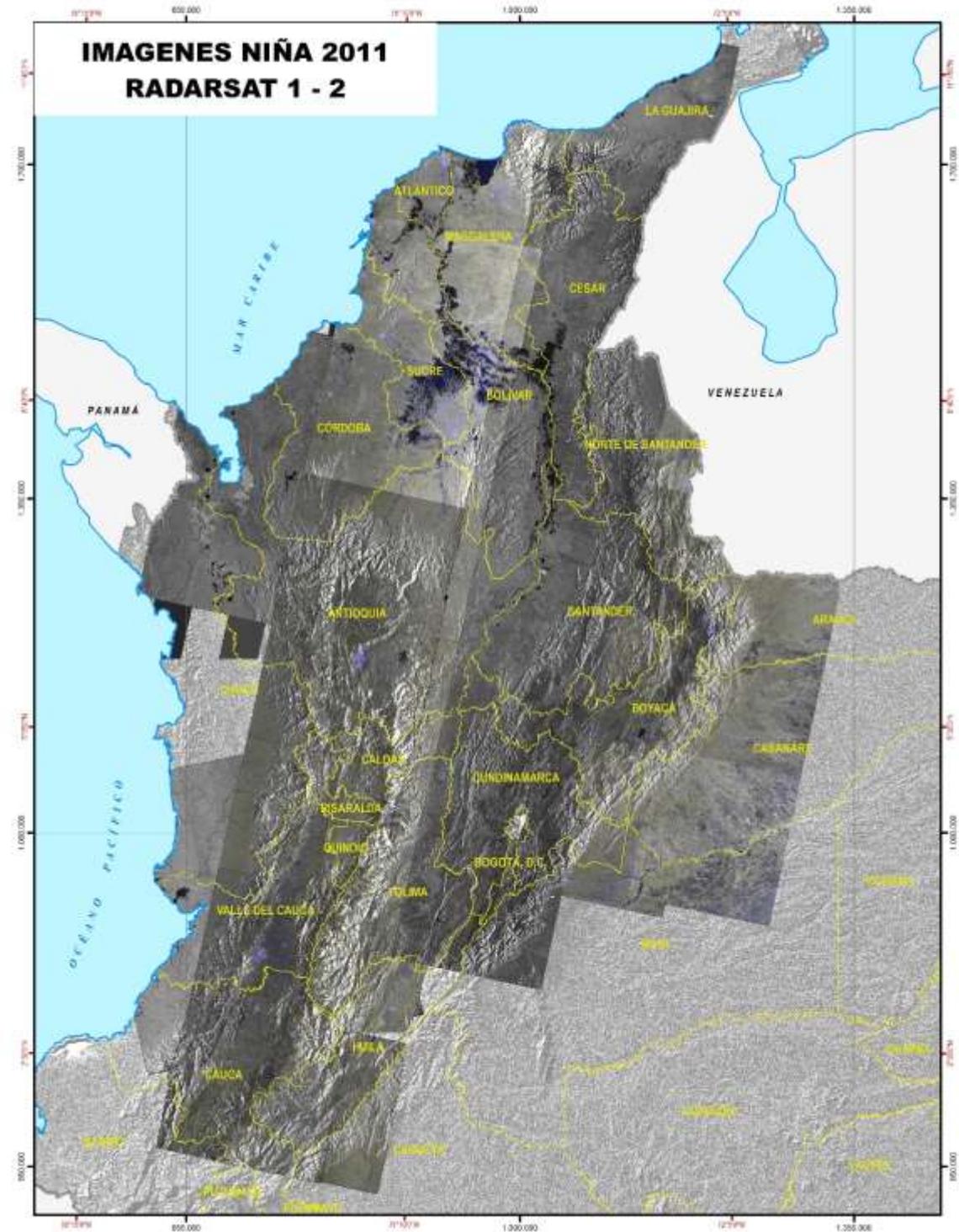


Figura A3-6-23 Imágenes Radarsat Niña 2011

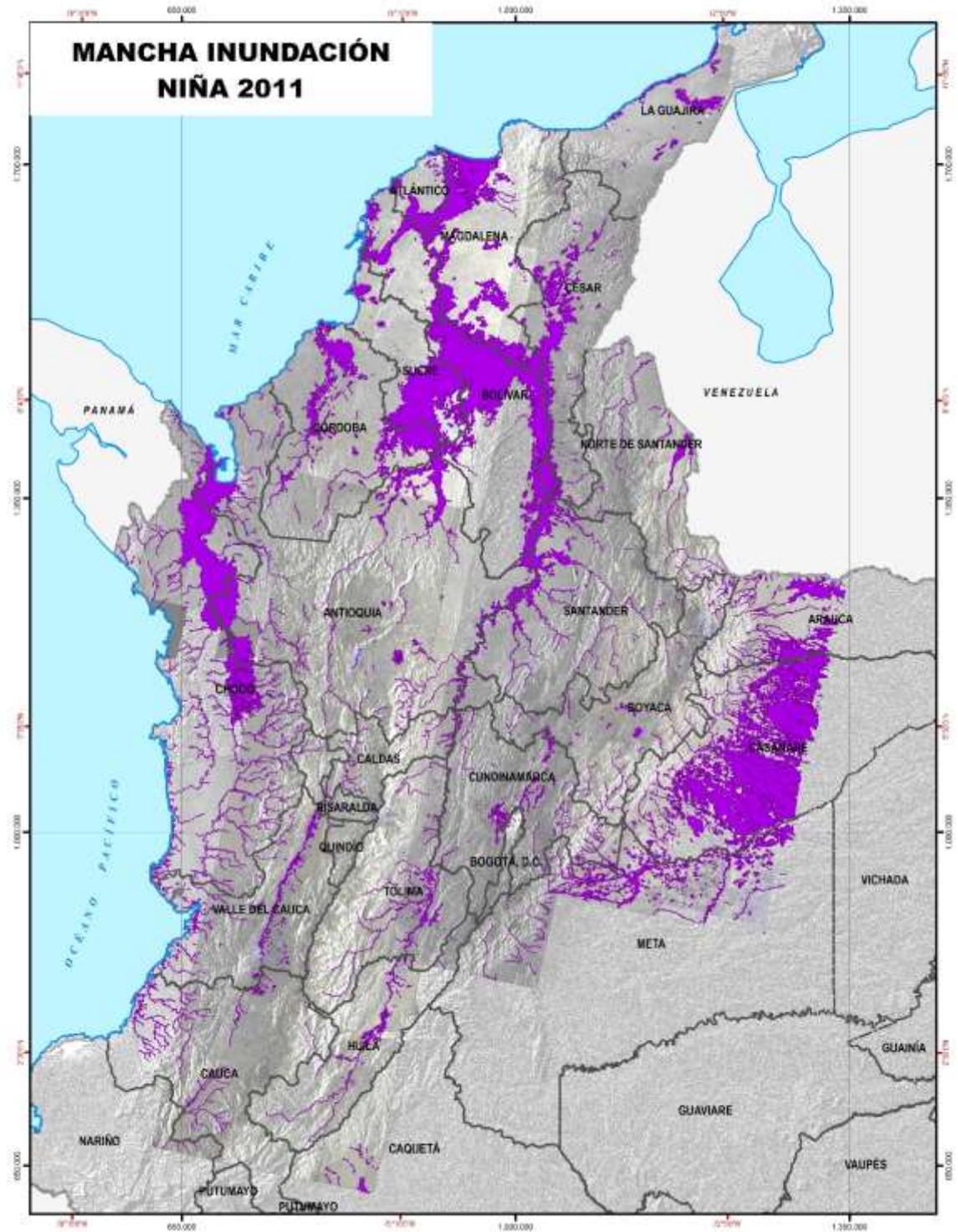


Figura A3-6-24 Mancha inundación Niña 2011

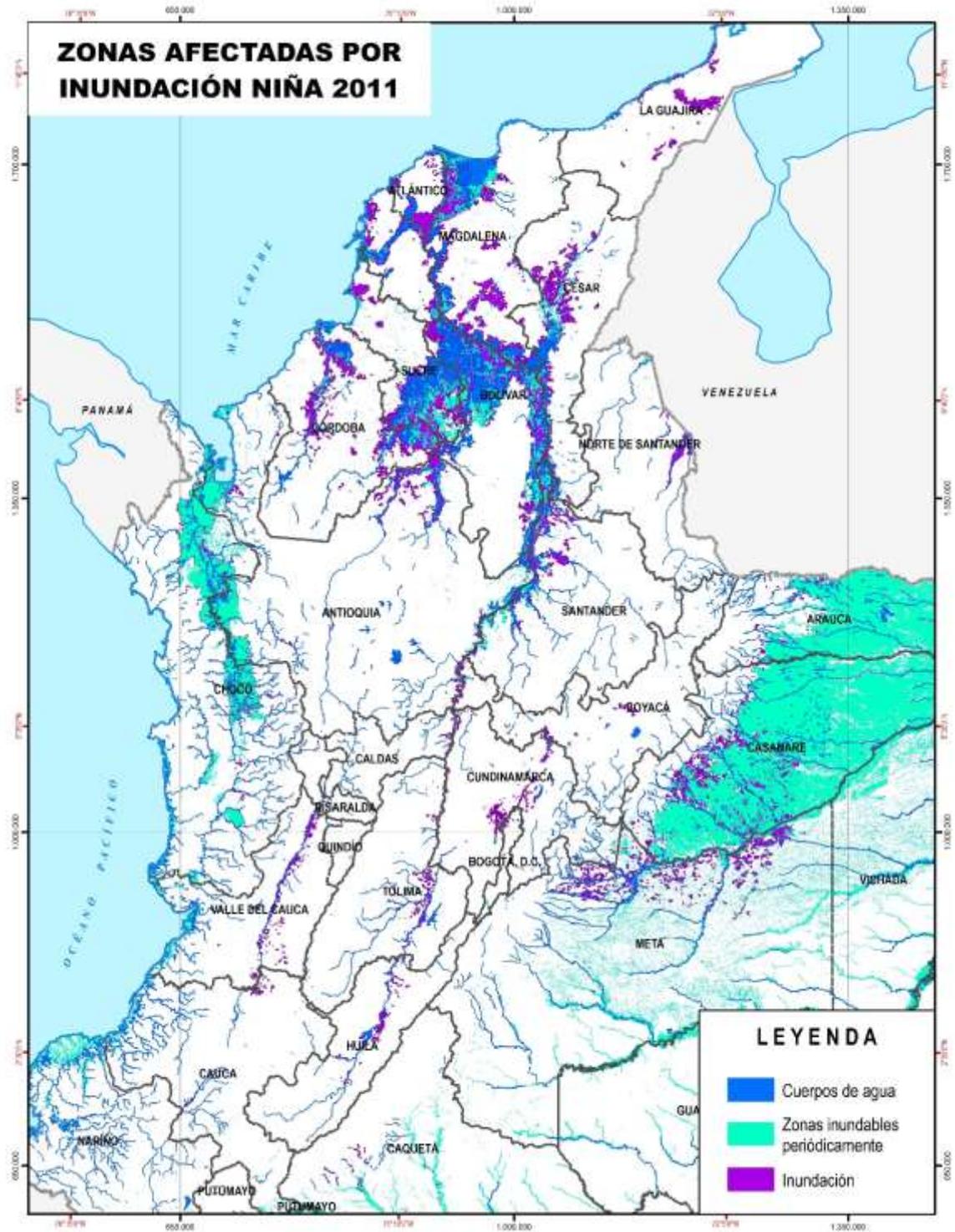


Figura A3-6-25 Áreas Afectadas por Inundaciones 2011

## **D. ANEXO 4 OFICIALIZACIÓN DE LOS MAPAS EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE COLOMBIA SIAC**

### **IMPLEMENTACIÓN BUENAS PRÁCTICAS PARA GESTIÓN DE LA INFORMACION ESPACIAL EN EL SIAC ORIENTADO A ENTES TERRITORIALES**

Documento ajustado de la propuesta para la implementación de buenas prácticas de gestión para el Sistema de Información Ambiental para Colombia SIAC.

#### **GLOSARIO Y CONCEPTOS CLAVE PARA EL DISEÑO DEL SIAC.**

ANLA: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.

Calidad de Datos: Grado en el que un conjunto de características inherentes a los datos geográficos cumple con los requisitos predefinidos.

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

ICDE: Infraestructura Colombiana de datos espaciales.

Geodatabase (GDB):

Geoservicio: Es un Servicio Web específico que permite intercambiar información únicamente de componente geográfica

MADS. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

OGC: Open Geospatial Consortium – organización encargada de los estándares geográficos a nivel internacional.

Publicar: En el presente documento se hace referencia a dar a conocer a través de un servicio Web información geográfica de carácter ambiental generada por entidades oficiales, para la consulta y fácil acceso de ciudadanos u organización de una manera fácil y rápida, sin requerir una plataforma tecnológica especializada.

Shapefiles: Formato de archivo informático propietario abierto de datos espaciales desarrollado por la compañía ESRI.

SIAC: Sistema de Información Ambiental de Colombia.

SINA: Sistema Nacional Ambiental.

SIRH: Sistema de información del Recurso Hídrico.

SNIF: Sistema Nacional de Información Forestal.

Visor Geográfico: Es una interfaz que permite visualizar e interactuar con información geográfica en la Web.

WFS: Web Feature Service- estándar OGC.

WMS: Web Map Service - estándar OGC.

XML: Siglas en inglés de eXtensible Markup Language, es un lenguaje de marcas desarrollado por el WWW Consorcio, utilizado para almacenar datos en forma legible.

## GESTIONAR Y ADMINISTRAR INFORMACIÓN OFICIAL

El SIAC está estructurado como una red de organizaciones que comparten la visión de hacer disponible, de manera libre, los datos e información de los recursos naturales renovables y el ambiente, en un entorno Web.

Independientemente el medio por el cual se haga entrega de la información, será necesario diligenciar una lista de chequeo presentada en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, para erificar la entrega completa de cada uno de los ítems predefinidos la cual garantice la entrega completa de los datos.

<b>SIAC Sistema de información Ambiental para Colombia</b>	
<b>Fecha de entrega:</b>	dd/mes/año
<b>Funcionario que Recibe:</b>	Funcionario SIAC
<b>Entidad remitente:</b>	Entidad asociada al SIAC
<b>Capa de información:</b>	Capa geográfica
Fecha de oficialización:	dd/mes/año
Funcionario de Contacto	Nombre y apellido
Teléfono	Número tel. del funcionario
Email	Correo electrónico
<b>Modo de entrega:</b>	Medio físico (CD, USB, Disco Duro) <input type="checkbox"/>
	Servicio WFS <input type="checkbox"/>
<b>URL Capa Geográfica (WFS)</b>	
Archivo asociado (SHP)	Ruta de localización de la capa
<b>Metadatos</b>	
Archivo asociado o URL para descarga	Ruta de localización y nombre del archivo (XML)/Dirección electrónica para descarga.
Herramienta de Gestión	Nombre del gestor de metadatos
<b>Catálogo de Objeto</b>	
Archivo asociado o URL para descarga	Ruta de localización y nombre del archivo/Dirección electrónica para descarga.
<b>Simbología</b>	
Archivo asociado o URL para descarga	Ruta de localización y nombre del archivo (SLD-LYR*)/Dirección electrónica para descarga.
Fuente: Grupo SIAC	

Figura A4-6-26 Formato de entrega de información – Lista De Chequeo

## VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La información solicitada para la entrega una capa geográfica contempla los siguientes elementos:

- a) Dato Geográfico: Cualquier objeto y/o elemento ubicable en un plano representado en tres dimensiones, por lo cual cuenta con atributos de localización y dimensión. El formato de entrega de este dato debe ser Shapefile. El sistema de referencia espacial debe ser el establecido por el IGAC como el oficial para el país, Magna Sirgas (Código EPSG:4686)
- b) Metadatos: Los metadatos hacen referencia a datos que tienen el objetivo de describir otros datos, y por tanto son muy importantes porque permitirán al público interesado conocer el nivel de detalle de los datos y la metodología empleada para su construcción, asimismo permiten realizar las tareas de gestión documental.

Debido a la diversidad de herramientas para la gestión de los metadatos geográficos que existe en las entidades asociadas al SIAC, (a manera de ejemplo en la siguiente **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) para el SIAC independiente de la herramienta que use la institución proveedora de la información, el metadato debe cumplir con la norma internacional ISO 19115/2003 (GeographicInformation - Metadata), o con la norma técnica nacional NTC 4611 (INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. METADATO GEOGRÁFICO).

- c) Catálogo de Objetos: Son estándares que permiten una representación abstracta y simplificada de la realidad que contiene una estructura que organiza los tipos de objetos espaciales, sus definiciones y características (atributos, dominios, relaciones y operaciones). Permite tanto a los usuarios como a los productores hablar en un lenguaje común respecto al contenido de los conjuntos de datos y por consiguiente una mayor comprensión de contenido y alcance.
- d) Simbología: Indica el símbolo, gráfico y/o color con que se representa a nivel cartográfico cada elemento geográfico en relación con la escala de presentación. Es decir, deberá proporcionarse un archivo independiente que informé cómo los objetos están separados de su representación. Asociado a los estándares definidos por la OGC para Geoservicios como WMS, WFS o WCS, está la extensión SLD, StyledLayer Descriptor, que permiten la definición de las características graficas de las capas como simbología y color para presentación. SLD aborda la necesidad de los usuarios y de software para ser capaz de controlar la representación visual de los datos geoespaciales.

## VERIFICAR Y VALIDAR LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA ENTREGADA AL SIAC

La validación de los datos contempla varios aspectos para revisar la coherencia y completitud de la información entregada por cada proveedor, con el propósito de garantizar estándares de calidad de la información que se dispone en el visor geográfico del SIAC. (IDECA 2004).

Verificación del formato: Consiste en comprobar la usabilidad de los archivos (capa geográfica y archivos complementarios) entregados, además del diligenciamiento de los formatos y los campos.

Verificación de dominio: Consiste en revisar los parámetros, características y la coherencia de los datos contenidos en la capa, con los reportados en los formatos de metadato, catálogo de objetos y representación cartográfica:

- Sistema de coordenadas (EPSG 4686).

- Coherencia del área de localización de los datos con el área reportada.
- Validar que los atributos y sus valores asignados correspondan con el catálogo de objetos.
- Comprobar que todos los elementos de la capa tienen representación gráfica en el archivo SLD.

Verificación topológica: comprobar que la capa geográfica cumple con las reglas básicas topológicas.

- La geometría corresponde con la establecida en el metadato.
- Que no exista superposición entre los elementos de la capa.
- Que no exista huecos entre los polígonos de la capa.
- Que se cumple la regla de no interceptación entre elementos de la capa.

### NOTIFICAR A LA ENTIDAD LA VALIDEZ DE LA INFORMACIÓN ENTREGADA

Una vez sea corroborada la completitud y correcto diligenciamiento de la información, el SIAC notificará a la entidad correspondiente si la información cumple con los requisitos de publicación, o si por el contrario es necesario realizar algún ajuste. Cabe aclarar que las recomendaciones o solicitudes de ajuste que haga el SIAC, serán de carácter técnico a nivel cartográfico y de presentación, topología, sistema de coordenadas, archivos dañados o inconsistentes, y/o correcto diligenciamiento de los formatos de entrega. Esto considerando que el contenido temático es de completa responsabilidad de cada una de las entidades productoras de la información, y no es competencia del SIAC evaluar su calidad. Como se aprecia en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.2**, luego del proceso de validación se definirá si la información cumple con los requisitos de calidad para ser publicada o no. Si cumple, la información será almacenada y dispuesta para la publicación en el visor geográfico, si no cumple, se notificará a la entidad autora de las inconsistencias encontradas para recomenzar el flujo.

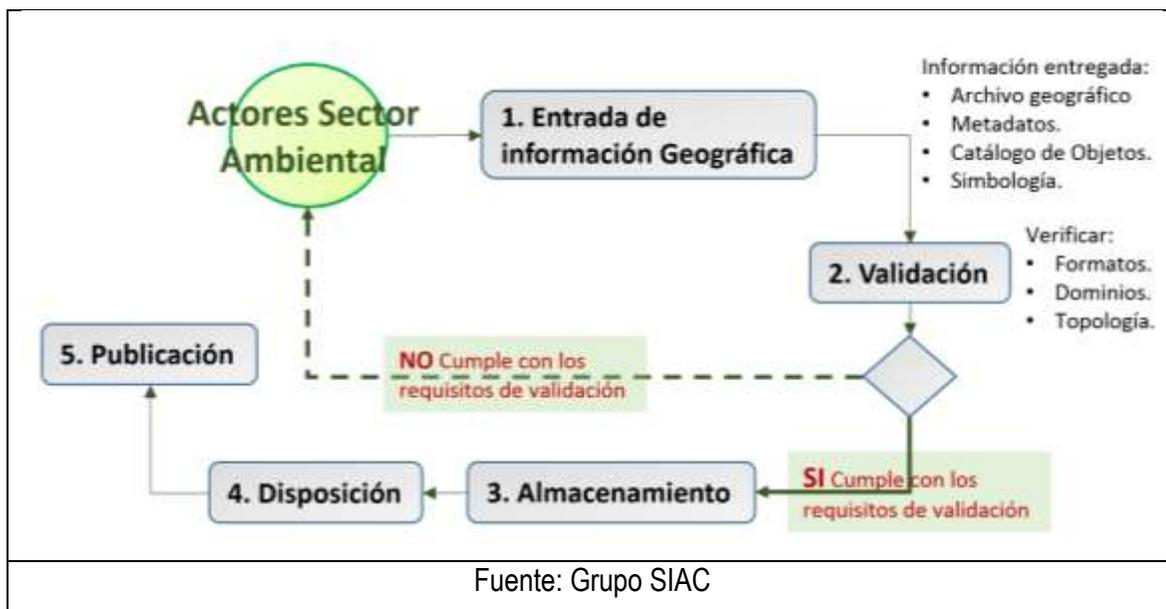


Figura A4-6-27 Validación Información SIAC.

## ALMACENAMIENTO

El proceso de almacenamiento que ha sido definido anteriormente tiene como propósito principal servir de respaldo a los Geoservicios habilitados por las diferentes entidades asociadas al SIAC.

### Clasificar la información de acuerdo con el modelo de almacenamiento

Mantener una estructura de almacenamiento organizada permite el fácil acceso a los datos y una mejor gestión de la información en términos de disposición y actualización. El almacenamiento se hará de acuerdo con el modelo de almacenamiento definido para el SIAC en documentos anteriores, en la siguiente **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**<sup>3</sup> se presentan los temas que componen el modelo.



Figura A4-6-28 Modelo de almacenamiento

La base de datos geográfica, permite tener el respaldo de los Geoservicios en caso de pérdida del servicio, o posibles contingencias en las entidades, por lo tanto la base de datos será el repositorio de la información entregada al SIAC. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**<sup>4</sup> se resentan los diferentes caminos para el almacenamiento, la disposición y publicación de la información suministrada por los actores asociados al SIAC, pasando por la publicación del Geoservicio en los servidores de cada entidad, hasta la entrega por medio físico y la respectiva disposición desde el modelo almacenamiento del SIAC, que igualmente funciona como respaldo de los otros Geoservicios.

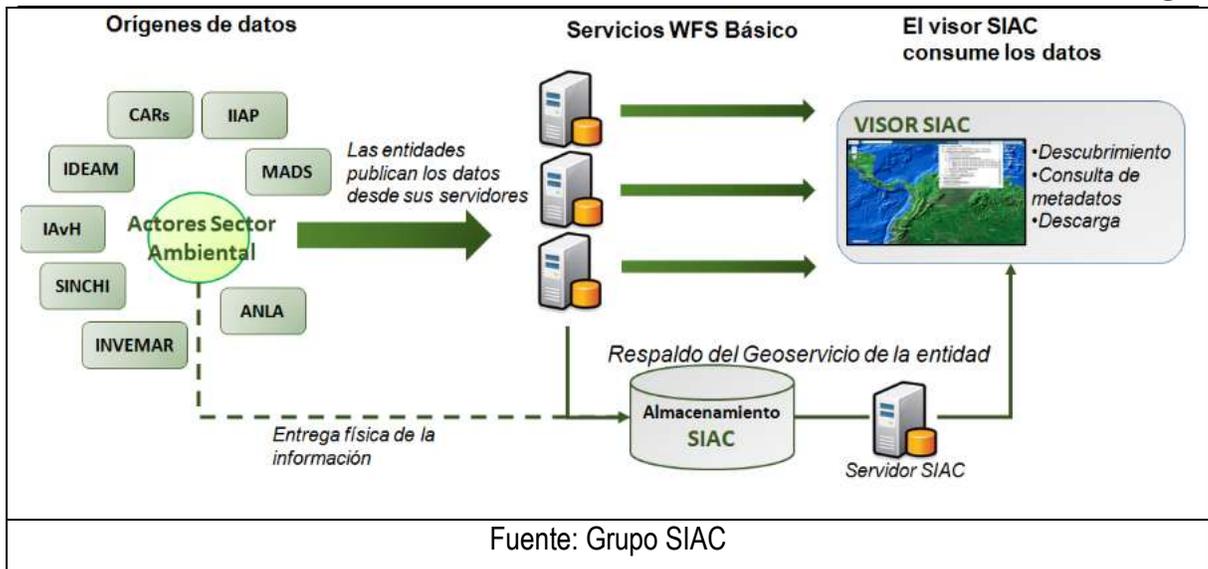


Figura A4-6-29 Flujo de datos para publicación en el visor SIAC

### Realizar copias de seguridad

El administrador de la base de datos geográfica del SIAC será responsable de la información relacionada con su cargo o funciones y que repose en los equipo de cómputo que estén a su cargo o que utilice temporalmente, se deberán mantener copias de seguridad y establecer mecanismos que garanticen su fiabilidad. (ISO. 2005)

Los medios de almacenamiento o copias de seguridad del sistema de archivos, o información de la institución, serán etiquetados de acuerdo a la información que almacenan u objetivo que suponga su uso, detallando o haciendo alusión a su contenido.

### DISPOSICIÓN

Una vez superadas las anteriores etapas de validación y almacenamiento con sus respectivos contenidos, la información será cargada y dispuesta para alimentar los diferentes servicios y protocolos, a los que debe responder la publicación de datos en el visor geográfico del SIAC.

### Definir canales efectivos de entrega

Los medios de entrega establecidos dependen de la capacidad e infraestructura informática de cada entidad, se contempla la entrega de información por dos vías:

1. La primera opción, es hacer entrega física, es decir por medio de correo certificado entregar la información en cualquier medio de almacenamiento digital (CD, USB, Disco Duro) que el proveedor considere pertinente.
2. En aquellas entidades con mejor infraestructura informática, que tengan la capacidad de disponer servicios geográficos WFS para que el SIAC pueda consumir la información, estas entidades deberán notificar por los canales habilitados para tal fin, (Email institucional del SIAC u oficio) con las direcciones URLs desde las cuales será habilitada la información para el SIAC, de la información geográfica y de sus archivos complementarios.

## **BUENAS PRÁCTICAS PARA LA DISPOSICIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Disponer la información ambiental pasa por considerar las siguientes actividades

- Utilizar herramientas interoperables: La mayoría de las herramientas SIG disponibles en el mercado soportan los estándares OGC, como el propuesto por el SIAC el estándar de la OGC, el Web Feature Services WFS, lo cual facilita la distribución de la información a nivel de Cliente Pesado.
- Garantizar el funcionamiento continuo del servicio: Para reducir la dificultades de intermitencia en el servicio o poca confiabilidad en términos de rendimiento que generalmente presentan este tipo de servicios Web, el SIAC tiene una base de datos de respaldo, en caso tal el servicio de las entidades presente algún tipo de inconveniente.
- Disponer para consulta la información asociada al dato geográfico: Complementariamente al dato geográfico es necesario facilitar el acceso a los usuarios de los metadatos y catálogos de objetos.
- Información básica de consulta: Tener en cuenta y aclarar al usuario factores como, escala, extensión geográfica, resolución temporal de los datos, de acuerdo a las necesidades y capacidades de cada entidad generadora de la información.
- **Consolidar un catálogo de Símbolos:** Con los archivos de representación cartográfica entregados para cada capa por parte de las entidades asociadas al SIAC, se podrá elaborar un catálogo consolidado de simbología para información ambiental del país.

## **PUBLICACIÓN – USO DE LA INFORMACIÓN**

La publicación de información tal y como está contemplada en el glosario de este documento está fundamentada en servicios web, estos servicios son un conjunto de aplicaciones tecnológicas que intercambian datos entre sí con el objetivo de ofrecer unos servicios a través de la web, en el caso particular del SIAC permiten:

- Mejorar los procesos y canales de interoperabilidad de información ambiental entre aplicaciones de software independientemente de sus propiedades o de las plataformas sobre las que se instalen.
- Fomentar estándares y protocolos para el intercambio de información ambiental interinstitucional.
- Integrar la infraestructura de las diferentes entidades de relevancia nacional por medio de un canal común, el SIAC.

Los contenidos dispuestos en el visor geográfico, son propiedad de los actores que conforman el Sistema de información Ambiental de Colombia – SIAC, estos contenidos han sido consolidados por el SIAC con el fin de proporcionar fácil acceso a la información geográfica ambiental del país en sus versiones oficiales más recientes. La información geográfica dispuesta corresponde a la información ambiental disponible de mayor relevancia para la caracterización ambiental del país.

---

## Forma de presentación de los datos

La publicación de información en el SIAC contempla tres componentes que están orientados a satisfacer la usabilidad de la información desde diferentes niveles y tipos de usuarios, en el marco del uso y el intercambio pleno y abierto de información, establecido por el SIAC.

- Habilitar la información para la consulta online desde el visor geográfico (Cliente ligero): El perfil de este tipo de usuario está orientado a quienes realizan consultas básicas de las diferentes capas y sus atributos, y para quienes las herramientas de análisis ofrecidas por el visor satisfacen las necesidades de consulta.
- Disponer la URL del servicio WFS Básico de la capa geográfica: Esta opción permite a los usuarios avanzados consumir la información desde el servidor de la entidad generadora, y usarla para análisis especializados o generación de cartografía desde cualquier herramienta SIG de escritorio con la opción de descarga (Cliente pesado).
- Permitir la descarga directa de las capas: En caso tal las necesidades del usuario comprendan análisis más complejos o propósitos diferentes a los mencionados en los ítems anteriores, la capa geográfica podrá descargarse directamente bajo unos términos y condiciones de uso que aplican a todos los componentes de la publicación de datos del SIAC.

## Presentar de manera concreta y funcional los contenidos

La consulta y descarga de la información contenida en el visor geográfico del SIAC obliga al usuario al cumplimiento de los siguientes aspectos:

- Usar los contenidos de forma diligente, correcta y lícita.
- Respetar los Derechos de Autor, dando el apropiado crédito de autoría a la entidad que genero la información geográfica que se esté utilizando e indicando que se consulta y descarga por medio del SIAC, todo ello con sujeción a las normas especiales civiles y penales que regulan el Derecho de Autor.
- Dar créditos a los autores en todos los productos derivados del uso de la información.
- No editar, vender, suministrar, comercializar, difundir o transferir a cualquier título la información publicada por el SIAC, propiedad de cada una de las entidades que la generan.
- No comercializar en ninguna forma la información que se encuentra en este sitio web.
- Si necesita utilizar la información contenida en este sitio web, para fines diferentes a los autorizados, deberá solicitar previamente permiso a la entidad que genero la información y al SIAC.
- El SIAC no será responsable por el uso indebido que hagan los usuarios del contenido de la información geográfica disponible para descarga.
- El visitante o usuario de la página web y de la información disponible para descarga se hará responsable por cualquier uso indebido, ilícito o anormal que haga de los contenidos, información o servicios de la página web del SIAC.
- El usuario exonera al SIAC de cualquier responsabilidad en relación con la fiabilidad, utilidad o falsa expectativa que los recursos pudieran producirle.

## RESPONSABILIDADES

El SIAC como sistema integrador debe asumir compromisos frente a los diferentes procesos y actores que están involucrados en el flujo y gestión de la información:

- Definir parámetros técnicos y jurídicos que debe cumplir la información para su publicación
- Asesorar a las entidades en la preparación de la información a publicar de acuerdo con los parámetros establecidos.
- Realizar acompañamiento técnico a las entidades interesadas en la publicación de datos.
- Mantener actualizado el inventario y el registro de la información publicada.
- Publicar únicamente la información que cumpla con los protocolos de validación.
- Garantizar que el servicio que se desarrolle este siempre acompañado de la documentación complementaria (Metadatos) y disponible para los usuarios.
- Notificar en el portal del SIAC, los posibles cambios, actualizaciones o ajustes que se realicen al visor y al catálogo.

## GESTION DE INFORMACION AMBIENTAL EN EL SIAC

Existe un flujo de información al interior del SIAC que contempla el proceso y que deberán seguir las entidades asociadas al SIAC, en la entrega de la información geográfica, disponiendo un conjunto de requerimientos vinculados a este tipo de información oficial.

1. Solicitud de información desde el SIAC a las entidades: El SIAC por medio de su comité técnico define un listado de capas geográficas (respaldado por las mesas temáticas de trabajo) para ser dispuestas en el visor geográfico. Este listado de capas será relacionado y socializado por medio de un comunicado del MADS antes del 30 de septiembre de 2015, a las entidades encargadas de producir los respectivos datos.
2. Las entidades deberán reportar datos al SIAC: El 31 de noviembre de 2015, dos meses después de la publicación de las capas solicitadas por el SIAC, es el plazo máximo para que cada entidad haga la gestión necesaria para entregar toda la información solicitada conforme se establece en el presente documento. Para la información generada posteriormente a la fecha del 31 de noviembre de 2015, se considera que un periodo de 20 días hábiles a partir de la fecha de la oficialización, es un plazo razonable para que las entidades asociadas al SIAC entreguen o dispongan la información con el protocolo y los archivos complementarios establecidos. Esto con el propósito de mantener actualizada la oferta de información y disponer desde el SIAC la última versión oficial de la información de interés nacional.
3. Validación y reporte a la entidad proveedora de la información: El SIAC de acuerdo con su proceso de gestión de información, validará la calidad cartográfica de los datos y notificará posteriormente a cada entidad proveedora el resultado de la validación.

## INFORMACIÓN SOBRE EL MAPA DE INUNDACIONES

A través del enlace <http://www.siac.gov.co/web/siac/inundaciones> del portal SIAC, el usuario encontrará información sobre que es un mapa de inundación y para qué sirven, las diferencias

detalladas de cada tipo y consultar los diferentes mapas departamentales de mapas de inundación, el visor nacional y la tabla comparativa de tipos de mapas al final de la sección, ver figura 5.



Figura A4-6-30 Portal Web del SIAC