

**DEMARCACIÓN DE LA NUEVA FRANJA DE RONDA HÍDRICA Y POSIBLE
INUNDACIÓN HIDRÁULICA SEGUN ESTUDIOS TÉCNICOS EN LA
MODIFICACIÓN DEL POT CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA
LAVANDERAS DEL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA-SANTANDER.**

**AUTOR: MARÍA FERNANDA AMAYA AREVALO
INGENIERA CIVIL**



**UNIVERSIDAD DE
MANIZALES**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2015**

**DEMARCACIÓN DE LA NUEVA FRANJA DE RONDA HÍDRICA Y POSIBLE
INUNDACIÓN HIDRÁULICA SEGUN ESTUDIOS TÉCNICOS EN LA
MODIFICACIÓN DEL POT CORRESPONDIENTE A LA QUEBRADA
LAVANDERAS DEL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA-SANTANDER.**

**AUTOR: MARÍA FERNANDA AMAYA AREVALO
INGENIERA CIVIL**

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar
al título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2015**

AGRADECIMIENTOS

La autora expresa sus agradecimientos a:

Primeramente agradeciendo a Dios Todopoderoso, por ayudarme a alcanzar un logro más para mi vida profesional; a mi familia, a mi novio y a todas aquellas personas que aportaron su tiempo y su apoyo, brindándome las herramientas necesarias para poder culminar el posgrado. Entre ellas:..

Daniel Parrado, Psicólogo y experto en ordenamiento territorial de la oficina asesora de planeación municipal (Barrancabermeja-Santander), quien se presenta como facilitador de la información trabajada.

Andrés Ricardo Rueda, Geógrafo de la Unidad de Restitución de tierras (Barrancabermeja-Santander), quien se presenta como asesor de manejos y proceso del SIG para este proyecto.

Ing. Luis Carlos Correa, Docente de la cátedra de Seminario de Investigación para la Especialización en Sistemas de Información Geográfica, de la Universidad de Manizales, quien se presenta como asesor en la estructuración del documento de trabajo de grado.

A ellos,Muchas Gracias!!

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. ÁREA PROBLEMÁTICA	16
1.1 DESCRIPCION	16
1.2 DELIMITACIÓN	16
1.3 FORMULACIÓN	17
2. OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GENERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3. JUSTIFICACIÓN	19
4. MARCO TEÓRICO	20
4.1 SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA	20
4.1.1 Ejemplo de aplicación de los sistemas de información geográfica: Uso en SIGESALC.	20
4.1.2 Aplicación de sistemas de información geográfica en fenómenos de inundación.	22
4.2 HEC-GEORAS Y ARCGIS	24
4.3. ARTICULO 44 DEL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL – QUEBRADA LAVANDERAS.	26
4.3.1 Art. 44 del POT, Barrancabermeja.	26
4.3.2 Quebradas Lavanderas.	27
4.4 OTRAS APLICACIONES. Estado del Arte.	27
5. METODOLOGÍA	33

5.1 TIPO DE TRABAJO	33
5.2 PROCEDIMIENTO	33
5.2.1 Fase 1. Investigativa –Diagnostica de Estudios Técnicos	33
5.2.1.1 Cartografía.	33
5.2.1.2 Hidrometeorología.	34
5.2.1.3 Determinación de curvas intensidad-duración-frecuencia.	34
5.2.1.4 Determinación de caudales.	36
5.2.1.4a Calculo de crecientes con diferentes periodos de retornos	36
5.2.1.4b Calculo de caudales de aguas residuales	37
5.2.1.4c Caudales para el acueducto	37
5.2.2 Fase 2. Aplicativa o Ejecutora.	38
6. RESULTADOS	40
6.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS	40
6.1.1 Creación del archivo de importación para Hec-Ras en ArcGis 10.2.1.	40
6.1.1.1 Creación del TIN para una zona de inundación de 8 metros de la quebrada Lavanderas: (tin8).	40
6.1.1.2 Trazado del cauce, bancas y recorrido de flujo correspondiente a la quebrada Lavanderas.	40
6.1.1.3 Elaboración de secciones transversales a lo largo del cauce: XS Cut Lines.	41
6.1.1.4 Creación de los atributos de las capas.	42
6.1.1.5 Creación de un fichero o archivo de exportación para Hec-Ras.	42
6.1.2 Modelamiento del cauce Lavanderas en Hec-Ras 4.0.	42
6.1.2.1 Importación del archivo LAVANDERASXHECRAS.sdf y creación del proyecto LAVANDERASHECRAS.prj.	42

6.1.2.2 Secciones Transversales y coeficiente de Manning.	43
6.1.2.3 Datos Geométricos y Condiciones de flujo.	43
6.1.3 Modelamiento Final del cauce en ArcGIS.	46
6.1.3.1 Importación de datos de Hec-Ras a ArcGIS	46
6.1.3.2 Superficie de Inundación agua y zona de inundación hidráulica Tr= 100 años en ArcGIS	47
6.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	49
7. CONCLUSIONES	50
8. RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXOS	53

LISTA DE FIGURAS

	PAG.
Figura 1. Imágenes del SIGESALC	21
Figura 2. Localización y Descripción del Área CONAE, OEA/DSS, 2008.	23
Figura 3. Modelo Digital de Elevación, 10m de Resolución. CONAE, OEA/DSS, 2008.	23
Figura 4. Curvas de Nivel CONAE, OEA/DSS, 2008.	23
Figura 5. Sinergismo de Imágenes, CONAE, OEA/DSS, 2008.	23
Figura 6. Área de Inundación Delimitada Siguiendo las Curvas de Nivel. CONAE, OEA/DSS, 2008.	24
Figura 7. Modelamiento de Hec-GeoRas. <i>http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-georas/</i>	24
Figura 8. Secciones transversales del canal Hec-Ras, Manual Básico, Univ. De Granada, 2007.	25
Figura 9. Perfil de la Lámina de Agua Hec-Ras, Manual Básico, Univ. De Granada, 2007.	25
Figura 10. Secciones transversales tridimensional.	25
Figura 11. Topología y elección de Secciones Transversales. HecGeoRas, Manual Básico, Univ. De Granada, 2007.	25
Figura 12. Creación de Polígono. HecGeoRas, Manual Básico, Univ. De Granada, 2007.	25
Figura 13. Llanura de inundación para el Tr considerado, HecGeoRas, Manual Básico, Univ. De Granada, 2007.	25
Figura 14. Imagen Final de la Llanura de inundación. HecGeoRas, Manual Básico, Univ. De Granada, 2007.	26
Figura 15. Área de inundación de Quebrada Lavanderas. Unión Temporal Las Camelias. (2006): Plan de Manejo y Ordenamiento de Rondas Hídricas de las	

quebradas Camelias y Lavanderas.	27
Figura 16. Imagen Plan de Manejo y Ordenamiento de Rondas Hídricas de las quebradas Camelias y Lavanderas, Documento C-I y C-II Fase Diagnostica, UT LAS CAMELIAS).	36
Figura 17. Imagen TIN correspondiente a la quebrada Lavanderas para generación de archivo de exportación a Hec-Ras. (tin8). <i>Resultados</i> , 2015.	40
Figura 18. Imagen representación del cauce y las bancas, quebrada Lavanderas para generación de archivo de exportación a Hec-Ras. <i>Resultados</i> , 2015.	41
Figura 19. Imagen representación secciones transversales, quebrada Lavanderas para generación de archivo de exportación a Hec-Ras. <i>Resultados</i> , 2015.	41
Figura 20. Imagen atributo de capas en 2D y 3D, quebrada Lavanderas para generación de archivo de exportación a Hec-Ras. <i>Resultados</i> , 2015.	42
Figura 21. Imagen cauce y secciones transversales importadas a Hec-Ras 4.0, quebrada Lavanderas. <i>Resultados</i> , 2015.	43
Figura 22. Imagen sección Transversal N° 876.1354 y Coeficiente de Manning, Quebrada Lavanderas. <i>Resultados</i> , 2015.	43
Figura 23. Imagen secciones Transversales con modelamiento de geometría y condiciones de flujo. Quebrada Lavanderas. <i>Resultados</i> , 2015.	44
Figura 24. Imagen Perfil del cauce con modelamiento de geometría y condiciones de flujo. Quebrada Lavanderas. <i>Resultados</i> , 2015.	45
Figura 25. Imagen Perfil General del cauce. Quebrada Lavanderas. <i>Resultados</i> , 2015.	45
Figura 26. Imagen Grafico de Curva de Descarga. Quebrada Lavanderas. <i>Resultados</i> , 2015.	45
Figura 27. Imagen Grafico en perspectiva X-Y-Z. Quebrada Lavandera. <i>Resultados</i> , 2015.	46
Figura 28. Imagen importación de datos de Hec-Ras a Arc-Gis. Quebrada Lavanderas. <i>Resultados</i> , 2015.	47
Figura 29. Imagen Final de zona de inundación hidráulica. Quebrada Lavanderas. <i>Resultados</i> , 2015.	47

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Características morfométricas Lavanderas, Plan de Manejo y Ordenamiento de Rondas Hídricas de la quebrada Lavanderas, (Documento C –II Fase Diagnostica, UT LAS CAMELIAS).	34
Cuadro 2. Imagen Tabla de Resumen de Perfiles Hec-Ras. Quebradas Lavanderas. Resultados, 20015.	46

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. MAPA TEMATICO: TIN de Profundidad (Zona Quebrada Lavanderas).	53
ANEXO B. MAPA TEMATICO: Cauce-Bancas y Líneas de Fujo (Quebrada Lavanderas).	54
ANEXO C. MAPA TEMATICO: Secciones Transversales (Quebrada Lavanderas).	55
ANEXO D. MAPA TEMATICO: Polígono de cauce importado de Hec-Ras / Propiedades Hidráulicas (Quebrada Lavanderas).	56
ANEXO E. MAPAS TEMATICOS: Polígono de Inundación Hidráulica (Quebrada Lavanderas).	57
ANEXO F. MAPA TEMATICO: Zona de Inundación Hidráulica (Quebrada Lavanderas).	59
ANEXO G. MAPA TEMATICO: Zona de Inundación, franja hídrica de 30 metros (Quebrada Lavanderas).	60
ANEXO H. RESUMEN ANALITICO.	61

GLOSARIO

AFECTACIÓN: Situación en el cual se involucra de manera negativa zonas adyacentes a un cuerpo de agua o laderas, donde se presentan inundaciones o deslizamientos dejando como consecuencia cierto grado de pérdida materiales y humanas según la intensidad del evento.

ARC-GIS: Software de sistemas de información geográfica, producido y comercializado por ESRI. Esta captura, edita, analiza, trata. Diseña, publica e imprime información geográfica

CAUCE: Concavidad del terreno natural o artificial por donde corre un río, un canal o cualquier corriente de agua.

CAUDAL: Cantidad de agua que lleva una corriente que fluye de una fuente. Es la relación del volumen agua sobre el tiempo que dura transportándolo al cuadrado.

COEFICIENTE DE MANNING: Coeficiente de rugosidad del material que se encuentra en las paredes de un canal o río, indispensable para el cálculo de velocidad del agua transportada.

CURVAS DE NIVEL: Línea que en un mapa une todos los puntos que tienen igualdad de condiciones de altura.

HEC-RAS: Software desarrollado por la Hidroligic Engineering Center, del cuerpo de ingenieros de la armada de EE.UU, para facilitar el modelamiento hidráulico de un cuerpo de agua, además puede intercambiar datos con el sistema de información geográfica ARC-GIS.

INUNDACIÓN: Flujo de aguas superficiales, mayor que la habitual que ocupa un área diferente a su cauce por causas de desbordamientos de ríos, provenientes de lluvias torrenciales, huracanes, fusión rápida de nieve, obstrucción de cauces y rotura de presas.

POT (Plan de Ordenamiento Territorial): Es un instrumento técnico y normativo de planeación y gestión de largo plazo; es el conjunto de acciones y políticas, administrativas y de planeación física, que orientarán el desarrollo del territorio municipal por los próximos años y que regularán la utilización, ocupación y transformación del espacio físico urbano y rural. Un POT es en esencia, el pacto social de una población con su territorio.

SECCIONES TRANSVERSALES: Intersección de un terreno con un plano vertical normal al eje longitudinal del terreno.

SIG (Sistemas de Información Geográfica): Conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar, coordinar, capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos para satisfacer múltiples propósitos.

TIN: Forma de datos geográficos digitales basados en vectores y se construyen mediante la triangulación de un conjunto de vértices, que a su vez están unidos con aristas para formar una red de triángulos.

RESUMEN

La Quebrada Lavanderas corresponde a un cuerpo hídrico lotico, quien lleva su curso de Oriente a Occidente del Municipio de Barrancabermeja, recogiendo aguas pertenecientes a escorrentías de precipitaciones y algunas aguas residuales de sus servidumbres, desembocando finalmente en la ciénaga Miramar. Actualmente existen estudios orientados a los factores hidráulicos que soportan la decisión de reducción de franja de ronda hídrica señalado en el plan de ordenamiento territorial.

Existen diferentes software para el modelamiento georreferenciado de eventos de inundación; en el presente documento se demarca la zona de inundación hidráulica por medio de estos software, denominados como HEC-RAS, que se compone por un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades para el procesamiento de datos geoespaciales complementándose con otro software como lo es el ArcGIS, en el cuál se unen a través de archivos de importación y exportación, donde la imagen de origen basa su geometría en un TIN (archivo de elevación tridimensional del terreno).

En este documento se establece el modelamiento de una franja de inundación hidráulica de aproximadamente 8 metros, evidenciándose así el dimensionamiento de una nueva ronda hídrica, para ser incluida en el POT municipal como modificatoria al Artículo 44, donde beneficiaría por medio de inversión pública a la comunidad actualmente afectada.

La metodología utilizada se representa en dos fases; una investigativa-diagnostica de estudios técnicos y aplicativa o ejecutora; donde la primera se basa en la cartografía, hidrometeorología, determinación de las curvas de intensidad-duración-frecuencia de las escorrentías y el caudal que le proporciona, así mismo la determinación de velocidades del agua con relación al tiempo de transporte y todos los datos hidráulicos necesarios para el modelamiento en Hec-RAS como segunda fase junto la importación y exportación de datos geométricos del Arc-Gis.

Los resultados según la metodología implementada en este estudio, arroja que la zona de inundación hidráulica de la quebrada Lavanderas, donde se vieron afectación en 66 viviendas de las 188 que anteriormente estaban dentro del condicionamiento de ronda hídrica.

PALABRAS CLAVES: Lavanderas, SIG, HEC-RAS, ARC-GIS, Caudal, TIN.

ABSTRACT

The Lavanderas pipe corresponds to a water body Lotic who takes its course from east to west of the municipality of Barrancabermeja, collecting waters belonging to rainfall runoff and some sewage easements, finally ending at the Miramar swamp. Currently there are studies to hydraulic factors that support the decision to reduce round strip of water indicated in the land use plan.

There are different software for modeling georeferenced flood events; herein the area of hydraulic flood is demarcated by these software, known as HEC-RAS, which consists of a set of procedures, tools and utilities for processing geospatial data complemented with other software as it is the ArcGIS , which are linked through file import and export where the source image based geometry in a TIN (file-dimensional terrain elevation).

This document describes the modeling of a strip of hydraulic flood of about 8 meters in well evidenced sizing a new water round, to be included in the municipal POT as amending Article 44, which would benefit public investment through the currently affected community.

The methodology used is represented in two phases; a research-diagnosed or executing technical and applicative studies; where the first is based on cartography, hydrometeorology, determination of intensity-duration curves-frequency runoff and flow that provides, also determining water velocities relative to the time of transportation and all hydraulic data needed for modeling in Hec-RAS as a second phase with the import and export geometric data of Arc-Gis.

The results according to the methodology used in this study, shows that the area of hydraulic flood Lavanderas pipe, where involvement is seen in 66 of the 188 homes that were previously in the conditioning of water round.

KEY WORDS: Lavanderas, GIS, HEC-RAS, ARC-GIS, Caudal, TIN.

INTRODUCCIÓN

Los eventos de inundación son fenómenos que ocurren con el aumento del agua por arriba del nivel normal de un cauce (en este nivel el agua no causa ningún daño). Este evento son unas de las catástrofes naturales que mayor número de víctimas afectan en el mundo. Las causas principales son el exceso de precipitaciones o lluvias fuertes, fusión de las nieves, roturas de estructuras hidráulicas, actividades humanas, etc., generando daños en la población, arquitectura, ganadería e infraestructura.

Para referenciar el presente documento, la Quebrada Lavanderas, en el Municipio de Barrancabermeja, es un cuerpo hídrico con la mayor parte de su longitud canalizada abierta (intervenidos por una obra de mitigación), conteniendo algunas zonas que se han visto afectadas por inundaciones presentadas en periodos de lluvias, por tanto se han realizado estudios técnicos donde se demarca las zonas de inundación que de una u otra forma se ven afectados por la creciente.

Lo anterior esta descrito por el Artículo 44 del Plan de Ordenamiento Territorial donde establece que el distanciamiento debe existir en una franja de 30 metros. Con la obra de mitigación (canalización) que existe sobre la quebrada Lavanderas este concepto varía en la mayoría de las viviendas que se encuentran asentadas cerca de este cuerpo hídrico.

Por esta razón, fue necesario reevaluar esta acción de distancias, reduciéndolas de 30m a 8m, ya que existen viviendas que se encuentran dentro de los 30m y fuera de los 8m en las que no han llegado estos fenómenos naturales. Históricamente, la cota de inundación siempre se ha mantenido en estándares similares por periodos. Los datos de los estudios realizados se modelarán hidráulicamente por medio del software Hec-GeoRas para llevar a cabo el área de inundación incluyendo las secciones geométricas, cotas tomadas en campo y de información histórica, luego conociendo esta se exportaría el modelo en ArcGis para plasmarlo en la imagen del mapa.

1. ÁREA PROBLEMÁTICA

1.1 DESCRIPCIÓN

La normatividad nacional y municipal de aislamientos hídricos (Artículo 44 del Acuerdo 018 del 2002 del Concejo Municipal de Barrancabermeja) para la ocupación de asentamientos humanos se rige con una distancia desde el eje del cuerpo hídrico en 30 metros, esta condición presentada restringe en gran manera la intervención referente a la ejecución de cualquier tipo de obras urbanísticas de algunos sectores involucrados. En el marco de la modificación del POT¹, en Barrancabermeja-Santander, existe un caso puntual que se referencia en la quebrada Lavanderas por el cual este condicionamiento se pretende reducir en una distancia prudente, resultante de estudios técnicos, ya que por esta causa la comunidad afectada con un grado de consolidación superior en sus estructuras son ajenos a la aplicación de los programas de mejoramiento, subsidios e inversión pública dada por el gobierno para beneficios de ellos, incluyendo la titulación o documento de propiedad legal del predio.

El contexto anterior que se opone en ciertos motivos al desarrollo urbano es producto de las decisiones tomadas por la administración municipal con el apoyo de la normatividad vigente referente a las zonas pertenecientes a rondas hídricas tomadas de imágenes digitalizadas por los SIG² provenientes de la información y datos obtenidos de otros estudios técnicos. Esta actualización en la se pretende trabajar con un nuevo distanciamiento de rondas hídricas se refleja en la incorporación en los SIG, los resultados de los estudios técnicos especializados en los que se verifican factores hidráulicos (comportamiento del flujo y geometría del canal) e hidrológicos (Frecuencias de escorrentías que llegan al canal y este los transporta hasta el drenaje natural) como zona de inundación hidráulica por medio de cotas máximas de inundación y caudales presentados tanto de escorrentías de aguas lluvias como de descargas de aguas residuales por parte de la comunidad, problema que se debe mitigar, realizando su conexión al alcantarillado.

1.2 DELIMITACIÓN

Esta situación descrita anteriormente corresponde a un cuerpo hídrico lotico que es la quebrada Lavanderas, quien lleva su curso desde el Oriente hasta el Occidente del Municipio de Barrancabermeja, recogiendo aguas perteneciente a las escorrentías de precipitaciones y algunas aguas residuales de sus servidumbres, desembocando finalmente en la ciénaga Miramar.

¹ POT: Plan de Ordenamiento Territorial.

² SIG: Sistemas de Información Geográfica.

Existen estudios orientados a los factores hidráulicos que soportan la decisión de reducción de franja de ronda hídrica al igual eventos históricos del presente condicionamiento señalado en el Art. 44 del POT, Acuerdo 018 del 2002.

1.3 FORMULACIÓN

- ¿Cómo afectaría el uso de factores técnicos (Estudios físico-hidráulicos) las decisiones tomadas por la administración municipal referentes a la definición de las zonas de rondas hídricas para los sectores aledaños de la quebrada Lavanderas, relacionando esto con el nuevo distanciamiento resultante en la modificación del POT correspondiente al municipio de Barrancabermeja-Santander?.
- ¿Beneficiaria directamente a la comunidad afectada? Y cuáles son los puntos más ilustrativos de esta acción?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Aplicar factores técnicos provenientes de estudios realizados por parte de las entidades municipales, soportados como datos para la demarcación de la nueva ronda hídrica que se establecerá en la modificación del POT, reflejándose así en las futuras decisiones que implicaría ofrecer inversión pública en las áreas de cesión aledañas a la quebrada Lavanderas del municipio de Barrancabermeja.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer zonas de inundación hidráulicas con base a lo determinado por los estudios técnicos hidráulicos-hidrológicos realizados en la quebrada Lavanderas para sustentar la demarcación de la RH en la imagen digitalizada del SIG.
- Identificar el número de predios afectados por la franja de Ronda Hidrica y con altos índices de amenaza por inundación a través del modelamiento geométrico y geográfico del software Hec-Ras y ArcGis.
- Realizar mapas temáticos con apoyo de las herramientas ArcGis 10.2.1 y HecRas.
- Confrontar los resultados de este estudio con relación a lo expuesto en el Art. 44 del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Barrancabermeja-Santander.

3. JUSTIFICACIÓN

En el marco de la modificación del Plan de Ordenamiento Territorial de Barrancabermeja, se establece la reforma del Art. 44 de este documento legal, puntualizando directamente a la franja de ronda hídrica perteneciente a las quebrada Lavanderas, dicha decisión obedece a la verificación de factores hidráulicos-hidrológicos que contemplan las verdaderas distancias de afectación en la zona por medio del cálculo de cotas máximas de inundación y caudales máximos presentados en diferentes puntos de las secciones hidráulicas de los canales, eventos hidrológicos y naturales. Obteniendo esta información se pretende empalmar con el procesamiento de la imagen digitalizada en el SIG que demarca la zona de inundación actual, incorporando la nueva zona afectada modificada y la zona de inundación hidráulica.

De igual forma lo anterior cabe en la necesidad de viabilizar estos sectores descritos en la aplicación y en la aprobación de inversión pública y otros beneficios que se le han negado a la comunidad afectada por parte del gobierno nacional y municipal, por presentar este condicionamiento. Se reitera que esta modificación solo es válida para los sectores pertenecientes a un distanciamiento mayores de 8m desde el eje de cada canal.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA.

Es la conjunción de información con herramientas informáticas, es decir, con programas informáticos o software. Si el objeto concreto de un sistema de información (información +software) es la obtención de datos relacionados con el espacio físico, entonces estaremos hablando de un Sistema de Información Geográfica o SIG (GIS en su acrónimo inglés, Geographic Information Systems).

Así pues, un SIG es un software específico que permite a los usuarios crear consultas interactivas, integrar, analizar y representar de una forma eficiente cualquier tipo de información geográfica referenciada asociada a un territorio, conectando mapas con bases de datos.

El uso de este tipo de sistemas facilita la visualización de los datos obtenidos en un mapa con el fin de reflejar y relacionar fenómenos geográficos de cualquier tipo, desde mapas de carreteras hasta sistemas de identificación de parcelas agrícolas o de densidad de población. Además, permiten realizar las consultas y representar los resultados en entornos web y dispositivos móviles de un modo ágil e intuitivo, con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión, conformándose como un valioso apoyo en la toma de decisiones. (*Sistemas de Información Geográfica, tipos y aplicaciones empresariales, Confederación de Empresarios de Andalucía, España*).

Los SIG constituyen el conjunto de procedimientos diseñados para procesar la captura, recolección, administración, manipulación, transformación, análisis, modelamiento y graficación de información que tiene referencia en el espacio. Los SIG permiten representar y localizar espacialmente estadísticas e indicadores, estudiar su evolución, así como localizar zonas vulnerables o sujetas a riesgos dados por fenómenos naturales o de carácter antrópico, realizar evaluaciones de los sistemas ambientales (suelos, agua, biodiversidad), analizar la distribución de la pobreza, infraestructura y, por la capacidad sintetizadora de la información, contribuir a generar una visión integrada que permita comprender y estudiar la sostenibilidad del desarrollo en los países.

4.1.1 Ejemplo de aplicación de los sistemas de información geográfica: Uso en SIGESALC. La División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de a través del Proyecto "Evaluación de la Sostenibilidad en América Latina y el Caribe" (ESALC) ha desarrollado un SIG (el SIGESALC) que incluye numerosas variables e indicadores para toda la región. El SIGESALC posee más de 240 indicadores georeferenciados (mapas) los cuales se han dispuesto, por separado, para cada país de la región y son accesibles a través de una interface gráfica

amigable de menús interactivos que permiten seleccionar países e indicadores según sean estos sociales, ambientales o económicos y, a partir de otros sub criterios.

La información que contiene el SIGESALC proviene de numerosas fuentes entre las que se destacan, la producción propia (CEPAL y CELADE), fuentes nacionales (Censos de Población y Vivienda y Censos Agropecuarios), las imágenes satelitales de baja resolución (NOAA-AVHRR, Landsat, Spot 4) (provistas por instituciones como la ESA, NASA o la USGS), fuentes provistas por otras Agencias Internacionales (FRA2000-FAO, CIAT, MEA, IUCN, WCMC, PNUMA), proyectos internacionales en curso y ONG (WRI, WWF, GLC2000-UE), y Universidades e Institutos Científicos entre otras. Si bien existen muchas iniciativas nacionales que proveen información georreferenciada, la cualidad de la base de información del SIGESALC es que ha reunido información obtenida de similares fuentes, permitiendo que sea posible la comparación entre países para la evaluación de la sostenibilidad del desarrollo en los países de la región. Por esta razón, no se han incluido en el sistema, indicadores que, estando disponibles para algún país, no lo están para el resto. El SIGESALC es el sistema de información con indicadores georreferenciados más completo (y actualizado) realizado en la región hasta la fecha, no sólo por la cantidad de información disponible, sino también por el nivel de desagregación con que se trabajó.



Figura Nº 1. Imágenes del SIGESALC

Los criterios considerados para incluir la información en el SIGESALC han sido:

1. Disponibilidad de la información.
2. Confiabilidad y calidad de los datos primarios.
3. Representatividad en relación con los problemas y sus causas subyacentes.
4. Usabilidad: Relevancia y utilidad para los usuarios.
5. "Mensurabilidad".

Es posible discriminar entre dos tipos de información georreferenciada disponible:

1. Perfiles de base es decir aquellas características que no cambian en la escala temporal considerada (como pueden ser las elevaciones y pendiente del terreno, los tipo de suelos, el sistema de drenaje, las zonas sísmicas y vulcanismo, etc.)
2. Indicadores propiamente dichos (cobertura forestal, costas y áreas protegidas, cambios en el Índice de Vegetación (NDVI) y la productividad primaria neta (PPN), los indicadores sociales (que provienen de los Censos de Población y Vivienda), las zonas urbanizadas (a partir del Índice de luz nocturna), etc.

El SIGESALC posee información detallada de los metadatos de cada indicador, donde se especifican las fuentes de la información, los investigadores y entidades responsables de su desarrollo, las metodologías empleadas y toda la información que se considere útil para identificar las características principales de los indicadores. (*Naciones Unidas, CEPAL, Evaluación de la sostenibilidad de América Latina y del Caribe*).

4.1.2 Aplicación de sistemas de información geográfica en fenómenos de inundación. La prueba más obvia del potencial de inundación de un área, aparte de los datos históricos, es la identificación de planicies de inundación y de áreas propensas a inundaciones. Estas áreas son generalmente reconocibles en imágenes de sensoramiento remoto. En consecuencia, la aplicación del sensoramiento remoto más valiosa para la evaluación del riesgo de inundación, es el trazado de mapas de áreas susceptibles y la cobertura por satélite de un área de estudio es el medio más práctico - en términos de costo y tiempo - para definir las planicies de inundación. Dichos mapas pueden ayudar a definir las áreas potencialmente propensas a inundaciones, donde el nivel de inundación definido excede los límites de pérdida aceptables. Cuando no han ocurrido inundaciones durante el período de sensoramiento, pueden utilizarse indicadores indirectos de susceptibilidad a inundaciones para determinar dichos niveles.

Sin embargo, las nubes o la neblina pueden ocultar las imágenes de satélite de grandes porciones de los ecosistemas húmedos tropicales. En algunos casos, la vegetación tropical muy densa enmascara muchas características geomórficas que serían obvias en climas secos. En estos casos es recomendable el uso de imágenes de radar ya existentes, tomadas desde satélites o aeronaves. Las imágenes tomadas por radar penetran la capa de nubes y definen muchas características de las planicies de inundación. La humedad de la tierra afecta notoriamente las imágenes que envía el radar, y esto, junto con las variaciones de textura enfatizadas por el sensor, hace que el radar sea una alternativa adecuada para el trazado de mapas de inundaciones.

Colombia ha sufrido periodos de lluvia intensos que han generado un sinnúmero de emergencias y damnificados, involucrando aún más a aquellos que viven cerca de cuerpos hídricos, convirtiéndose en un problema de relevancia nacional, que ha

llevado a reestructurar los sistemas de gestión del riesgo y a su vez las técnicas para la observación y prevención de este tipo de desastres.

Debido a que las inundaciones abarcan generalmente grandes extensiones de terreno y la labor en campo para determinar las áreas de afectación se hace en muchos casos un poco compleja, dadas las difíciles condiciones de acceso y seguridad, el uso de la teledetección y los sistemas de información geográfica surgen como una alternativa para observar este fenómeno ya que proporcionan un medio indirecto de análisis y evaluación de los efectos causados.

Para interpretar la zona de inundación en primer lugar se realiza un sinergismo con imágenes de diferentes características en su resolución, con el fin de obtener una nueva imagen que aumente los niveles de detalle, por tanto, dadas las condiciones topográficas de la zona que aceleran la evacuación de las aguas y al considerar la inundación como un fenómeno imprevisto, el achurado no es identificable debido a la diferencia de tiempo que existe entre la ocurrencia del fenómeno y la toma de la imagen de radar. En consecuencia, se busca, a través del Modelo Digital de Elevación extraer las curvas de nivel con un intervalo de 2m; para delimitar de forma aproximada la zona inundada. Por ultimo a través de una intersección entre las capas correspondientes a la predicción urbana y el área delimitada se realiza un estimativo del número de predios y áreas afectadas por la inundación.

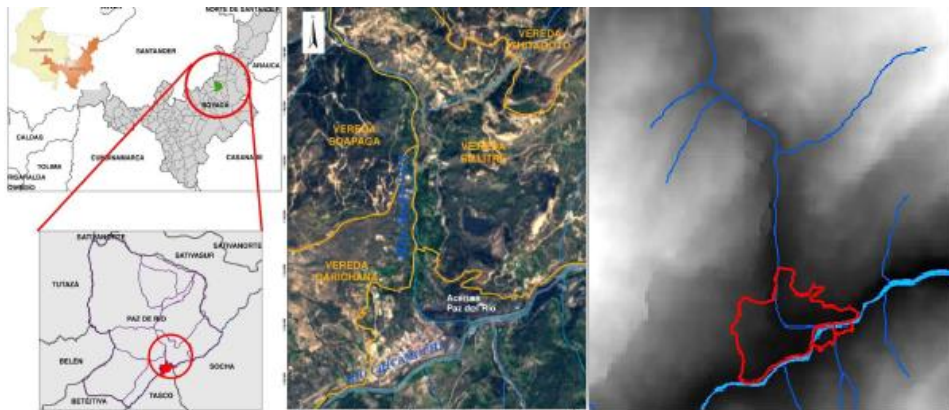


Figura N°2. Localización y Descripción del Área
CONAE, OEA/DSS, 2008.

Figura N°3. Modelo Digital de Elevación, 10m de Resolución.
CONAE, OEA/DSS, 2008.



Figura N°4. Curvas de Nivel
CONAE, OEA/DSS, 2008.



Figura N°5. Sinergismo de Imágenes
CONAE, OEA/DSS, 2008.

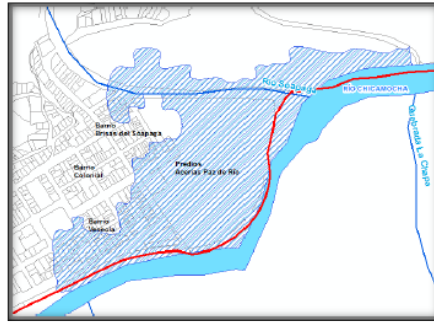


Figura N°6. Área de Inundación Delimitada Siguiendo las Curvas de Nivel.
CONAE, OEA/DSS, 2008.

4.2 HEC-GEORAS Y ARCGIS.

HEC-GeoRAS es un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades para el procesamiento de datos geospaciales en ArcGIS mediante una interfaz gráfica de usuario (GUI). La interfaz permite la preparación de los datos geométricos para la importación en HEC-RAS y procesa los resultados de simulación exportados de HEC-RAS. Para crear el archivo de importación, el usuario debe tener un modelo existente Digital del Terreno (DTM) del sistema fluvial en el formato ArcInfo TIN. El usuario crea una serie de temas de línea pertinentes para la elaboración de datos geométricos para HEC-RAS. Los temas creados son la Corriente de la línea central, el flujo de Líneas centrales Path (opcional), Canal Principal Bancos (opcional), y Corte transversal Líneas denominan los Temas RAS. Temas adicionales RAS se pueden crear / utilizado para extraer datos geométricos adicionales para la importación en HEC-RAS. Estos temas incluyen Uso de la Tierra, Dique Alineación, ineficaces áreas de flujo, y áreas de almacenamiento.

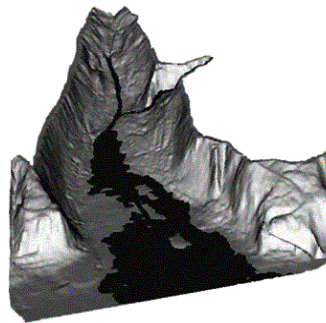


Figura N°7. Modelamiento de Hec-GeoRas. <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-georas/>

Datos del perfil de la superficie del agua y datos de velocidad exportados de simulaciones HEC-RAS podrán ser tratados por HEC-GeoRAS para el análisis SIG para el mapeo de llanura de inundación, los cálculos de daños por inundaciones, restauración de ecosistemas, y la respuesta de alerta de inundaciones y la preparación.

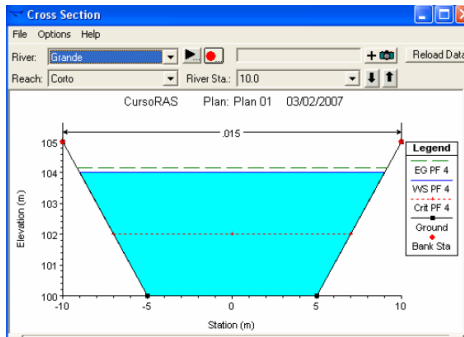


Figura Nº 8. Secciones transversales del canal
 Hec-Ras, Manual Básico, Univ. De Granada, 2007.

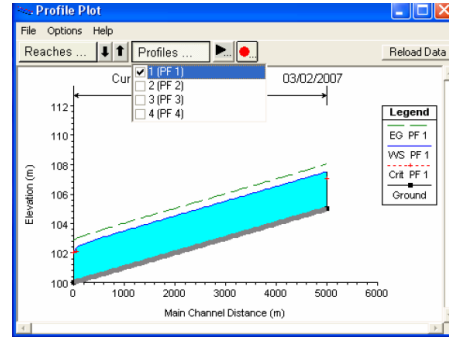


Figura Nº 9. Perfil de la Lámina de Agua
 Hec-Ras, Manual Básico, Univ. De Granada, 2007.

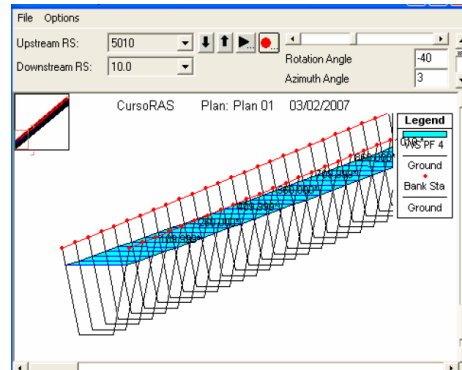


Figura Nº10. Secciones transversales tridimensional.
 Hec-Ras, Manual Básico, Univ. De Granada, 2007.

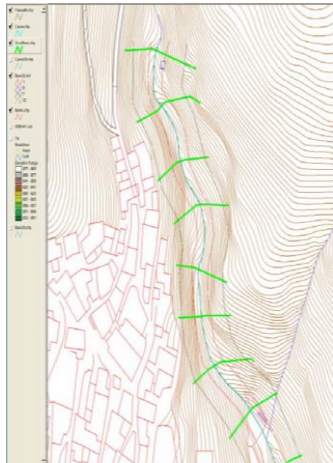


Figura Nº 11. Topología y elección de Secciones Transversales. HecGeoRas, Manual Básico, Univ. De Granada, 2007.

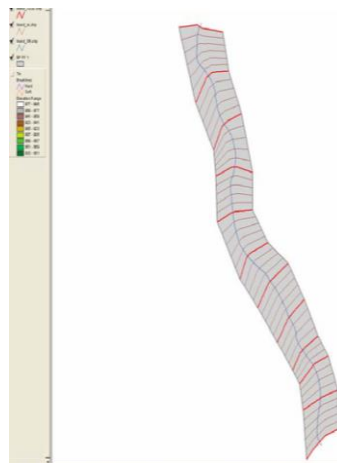


Figura Nº 12. Creación de Polígono. HecGeoRas, Manual Básico, Univ. De Granada, 2007.

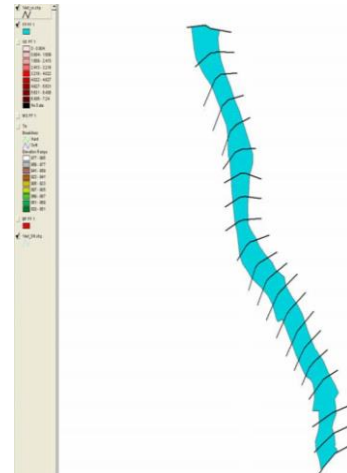


Figura Nº 13. Llanura de inundación para el Tr considerado, HecGeoRas, Manual Básico, Univ. De Granada, 2007.

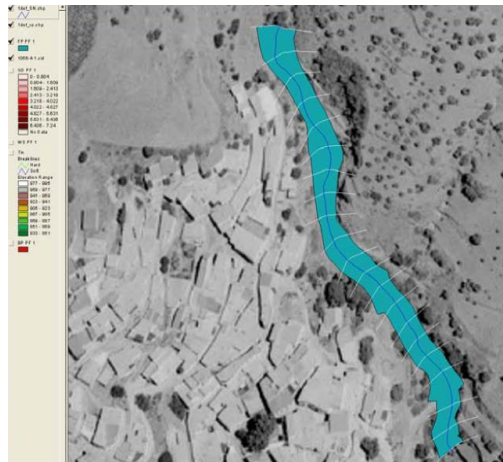


Figura N° 14. Imagen Final de la Llanura de inundación.
HecGeoRas, Manual Básico, Univ. De Granada, 2007.

4.3 ARTICULO 44 DEL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL – QUEBRADA LAVANDERAS.

4.3.1 Art. 44 del POT, Barrancabermeja:

De conformidad con el Artículo 83 del Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y Protección al Medio Ambiente (Decreto Ley 2811 de 1974), se considera como suelo de protección ambiental, la franja de 30 metros de ancho a cada lado de todo curso de agua y 100 m en redondo de todos los nacimientos o manantiales del territorio municipal.

Los objetivos de la ronda hidráulica son:

1. Reservar y restaurar la vegetación leñosa nativa en torno a los cuerpos y cursos de agua (bosque protector de cuenca hidrográfica)
2. Prevenir la ocupación de suelos inestables o inundables asociados a los cursos de agua.
3. Garantizar el acceso público y embellecimiento escénico de las riberas para la recreación pasiva.
4. Asegurar espacio adecuado para las obras de mitigación de inundaciones u otro manejo hidráulico que se requiera.

Parágrafo 1. *El área correspondiente a la ronda de la quebrada Lavanderas, se define como un área de manejo diferido hasta tanto no se elabore el Plan de Manejo y Ordenamiento para estos cuerpos de agua. Para este efecto la Administración Municipal dispone de hasta 6 meses a partir de la aprobación del POT para su elaboración.*

Parágrafo 2. *Mientras esté vigente la declaración de régimen diferido para el área de protección de la quebrada Las Lavanderas, no se podrán realizar procesos de*

ocupación y construcción de obras distintas a las autorizadas por la Corporación Autónoma Regional de Santander, CAS.

Parágrafo 3. El Municipio adelantará las acciones pertinentes ante Ecopetrol, Ejército Nacional, los Clubes Infantas y Miramar, así como propietarios de otros predios, para restituir el espacio público conducente al libre acceso, disfrute paisajístico, y recreación pasiva, alrededor de la Ciénaga Miramar.

4.3.2 Quebrada Lavanderas:

Lavanderas:

El canal de Las Lavanderas nace dentro del casco urbano de la ciudad de Barrancabermeja, en la calle 55 con carrera 18 A del Barrio Uribe Uribe, aproximadamente en la cota 82 m.s.n.m. Por una parte se estableció un área de estudio que comprende los perímetros de las manzanas por donde circula los cursos de agua, cuya área tiene una extensión de 16,37 ha, con el propósito de localizar esta corriente, en su contexto urbano, y como área de operación se definió una franja paralela de 30 metros a cada lado de las orillas del flujo de agua a lo largo de todo el cauce; con una longitud aproximada de 1,5 km hasta su entrega a la ciénaga Miramar. A la altura de la carrera 15 B desemboca en el curso de agua un ramal derecho con una longitud aproximada de 420 metros, que proviene del barrio Pueblo Nuevo, el cual hoy en día es un conducto cerrado subterráneo.

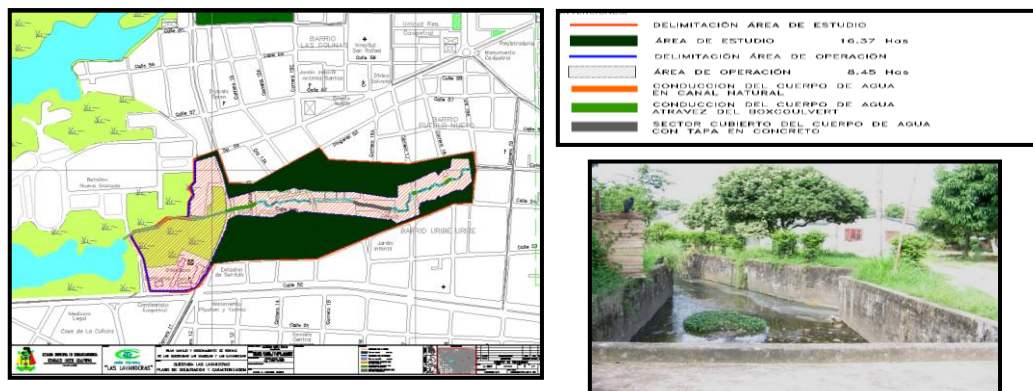


Figura N°15. Área de inundación de Quebrada Lavanderas.

Unión Temporal Las Camelias. (2006): Plan de Manejo y Ordenamiento de Rondas Hídricas de las quebradas Camelias y Lavanderas.

4.4 OTRAS APLICACIONES. Estado del Arte.

Las amenazas por inundación son una de las tantos eventos que pueden ser teledetectados por los sistemas de satélites GNSS; este procedimiento es definido de forma general como la técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, en ellas, debe existir una interacción energética entre la tierra y el sensor ya sea por reflexión de

la energía solar o de un haz energético artificial; a su vez, es preciso que ese haz energético recibido por el sensor se transmita a la superficie terrestre, donde la señal detectada pueda almacenarse y, en última instancia, ser interpretada por una determinada aplicación. De esta forma, las imágenes que se adquieren varían dependiendo del sensor, en donde existen varios tipos, entre las que se encuentran las fotografías aéreas, las imágenes de satélite (ópticas) e imágenes de radar. (Chuvienco E. (1995)).

Es necesario mencionar que para la propuesta se utilizara el estudio de zonas inundable del Municipio de Barrancabermeja por medio del plan de Ordenamiento Territorial (Mosaico 2002), Estudios de Gestión del Riesgo e Hidrológicos, El DMI San Silvestre (Distrito de Manejo Integral de Recursos Naturales), Cartografía Rural y Urbana (Cartografía 2011), Plan de Saneamiento Hídrico (Aguas de Barrancabermeja, 2008) y Estudio de Amenaza de las quebradas Lavanderas.

Como resultado, a lo que establece en la actualidad referente a los temas relacionados con el concepto de “territorio”, el caso de la quebrada Lavanderas, se determina por los siguientes aspectos o elementos en donde se desarrollan fundamentalmente los siguientes temas:

- *Riesgos y afectaciones de los elementos naturales y antrópicos*; En el área se están presentando afectaciones principalmente a los elementos naturales y antrópicos, que generan fragilidad y vulnerabilidad de los mismos y con ello su sostenibilidad ambiental.
- *Fraccionamiento de los sistemas estructurantes*; Los componentes de los sistemas estructurantes, han sido fraccionados, con lo cual no se posibilita la articulación y ordenación tanto interna como externa del área. Por ejemplo; *las leyes y las normas establecidas para la construcción y ocupación del lugar se ha reestructurado tanto que ya no cumple con el principal objetivo por el cuál se realizó, incitando a que las personas infrinja estas normas y edifiquen en lugares no permitidos.*
- *Desarticulación funcional*; Dado el fraccionamiento del sistema del área, y de acuerdo a la vocación de la misma, está aún no se ha logrado integrar a la funcionalidad y dinámica de desarrollo más favorable para la ciudad.
- *Disfunción de actividades e incompatibilidad de usos*; Como consecuencia de lo anterior, se presentan disfunciones relevantes en cuanto a actividades y usos que no han permitido organizar un área funcional como pieza estratégicas de su territorio y que permita un engranaje fundamental para el modelo de ciudad.
- *Dispersión de necesidades y proyectos*; Dado el número de aspectos que configuran el modelo actual del territorio, por obvias razones se presentan un gran listado de necesidades y proyectos para la solución de las mismas, los cuales deben ser organizados por áreas y proyectos estratégicos con el propósito de actuar en forma integral y simultánea en las soluciones, en el marco del modelo de ocupación territorial que se formule para el área.

- *Desarraigo y marginalidad*; La ciudad margina, excluye y expulsa a quienes por distintas circunstancias carecen de valores y/o bienes canjeables.
- *Infravaloración del recurso natural*; Dentro de la situación actual del territorio y que lo determinan, tiene que ver con la ocupación y destinación de las zonas ambientalmente más ricas y más sensibles para diversos fines. Se valora en mayor grado, la productividad aun si es necesario a expensas de los recursos naturales.
(*Plan de manejo y ordenamiento de rondas de las quebradas las camelias y las lavanderas, Documento C-II, Fase Diagnostico Febrero 2010*).

Según lo descrito en las diferentes guías metodológicas de gestión de riesgos por inundación, es necesario proporcionar información precisa para ser utilizada en el ordenamiento territorial de un municipio, tal como la zonificación del uso de suelo, sobre la base de su nivel o susceptibilidad a las amenazas.

Se debe plasmar a través de un documento técnico que debe ser presentado usando un lenguaje claro, sencillo, conciso, de fácil comprensión, y ser lo más descriptivo que se pueda. Puede acompañarse de fotos, esquemas y mapas con el fin de explicar de mejor forma su contenido y por tanto que sea entendible para todos. El documento puede contener recomendaciones en dos niveles de análisis y de propuesta: uno administrativo y otro técnico.

Las recomendaciones correspondientes al primer nivel deben ceñirse al marco legislativo y reglamentario vigente, es decir que deben ser aplicables por el municipio sin mayores problemas jurídicos, dentro del ámbito de sus competencias. En caso de posible conflicto de competencias o superposición de funciones institucionales, se recomienda la negociación entre las partes implicadas o un esquema de reparto de responsabilidades. Sólo cuando se vea que alguna recomendación o propuesta de reforma reglamentaria es factible dentro de la potestad municipal deben hacerse recomendaciones específicas en ese sentido. Ejemplos de éstas son las ordenanzas que puede emitir el Alcalde para regular la construcción de viviendas en la llanura de inundación de cuerpos hídricos.

Las recomendaciones referidas al segundo nivel deben orientarse a propuestas concretas, tras hacer una descripción del fenómeno, un análisis de su evolución y consecuencias potenciales.

Al momento de proponer soluciones de prevención activa siempre deben tomarse en cuenta las posibilidades financieras y técnicas del municipio y el nivel de riesgo existente. Una propuesta costosa o muy complicada no será aplicada en los municipios debido a las condiciones de los mismos.

Para integrar lo anterior es puntual la Identificación de la zona de inundación que se puede objetar desde el campo, observando la superficie del suelo para detectar indicios geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos (forma del relieve), pedológicos (suelos), edafológicos (vegetación) y otros, como por ejemplo humedad del terreno, áreas con aguas empozadas, socavación de suelos, terrazas de aluviones, sedimentos, zonas con vegetación baja o vegetación

dañada y líneas de escombros. En las zonas urbanas, estos elementos no son fácilmente observables por tanto es una causa permanente de las inundaciones inesperadas, por el alto grado de intervención humana estas características naturales del suelo desaparecen a simple vista, Como solución a este caso, se debe tener en cuenta varios factores; como eventos históricos, comportamiento de las estructuras según el suelo donde estén edificadas (agrietamientos por asentamientos diferenciales), estudios de suelos para conocer el nivel freático, etc. Se puede también identificar a través de un análisis multitemporal de imágenes de satélites o fotos aéreas con el fin de determinar los cambios durante periodos de tiempo específicos. Entre estos los eventos hidrológicos e hidráulicos soportados por los cálculos de sus factores, realizando así un estudio detallado para alguna zona de interés definida (a orillas de una quebrada o un río) y aprovechar los datos de precipitación (curvas intensidad-duración-frecuencia) que existen, el procedimiento más común es empezar por un estudio hidrológico de la cuenca vertiente. Para la probabilidad considerada (por ej. 1% / año) se determinan las precipitaciones más desfavorables (intensidades de precipitación en función del tiempo y del espacio); se estiman luego las abstracciones (parte de la lluvia que no contribuye directamente a la escorrentía, debido a la interceptación, la infiltración etc.) para obtener la precipitación efectiva (se utiliza a menudo el "coeficiente de escorrentía" o los 25 números de curva SCS). Luego, se aplican modelos precipitación-escorrentía y modelos de tránsito de avenidas (fórmula racional, hidrograma unitario, onda cinemática, etc.) para obtener el hidrograma (caudal en función del tiempo) en la zona de interés.

Para esta zona, un cálculo hidráulico (*por ej. Con la fórmula de Manning*) permite luego determinar las profundidades y velocidades máximas alcanzadas durante el pico de la crecida.

Finalmente, las profundidades y velocidades permiten definir las intensidades del fenómeno las cuales, en conjunto con las probabilidades asociadas, permiten a su vez definir el grado de amenaza (*Loat y Petraschek, 1997*).

Detalles de los métodos hidrológicos (*Aparicio (1999) y Chow y otros (1994)*). Para los cálculos hidráulicos, (*Chow (1994)*). Se pueden utilizar software como el WMS o el HEC-1 para los cálculos hidrológicos y programas como el HEC-RAS para los cálculos hidráulicos.

Cuando existe una estación hidrográfica cercana (medición continua de niveles del agua de un río) con por lo menos 20 años de monitoreo y se dispone además de buenos registros de aforos (relación entre el nivel y el caudal), se puede proceder a un ajuste de distribución de probabilidad de los caudales, y determinar directamente sobre esta base (sin pasar por las precipitaciones) los caudales que corresponden a cierta probabilidad, para luego proceder a los cálculos hidráulicos.

Existen diferentes modelos de aplicación de este proceso ligado a los eventos de áreas y zonas de inundación o franja de ronda hídrica, alrededor del mundo, entre estos lo estudiado en el documento referente a la *zona de evaluación geográfica de áreas susceptibles a inundación en la cuenca del río Tuxpan, Veracruz, México*. El objetivo de este estudio fue evaluar geográficamente las áreas susceptibles a la

inundación en la cuenca con relación a distintos periodos de retorno de precipitación máxima, en 24 horas. Se integraron técnicas de Sistemas de Información Geográfica para el cálculo de gastos máximos, aplicando el método Ven Te Chow en cada microcuenca o unidad hidrológica. Adicionalmente, se empleó el modelo hidráulico de cauces abiertos, hec-ras 4.0, para modelar la superficie inundada. Para los insumos del modelo se emplearon los datos geográficos de la red hidrológica, el modelo de elevación, edafología y vegetación y uso de suelo. Los resultados indican una superficie de inundación que varía entre 522 km² para periodos de retorno de dos años y hasta 554 km² para periodos de retorno de 100 años.

Las áreas con mayor afectación son las agrícolas, con 343 km² y las áreas urbanas, con 15 km² para periodos de retorno correspondientes a 100 años, resultando con severos daños económicos. Las zonas urbanas más afectadas incluyen las ciudades de Álamo-Temapache y Tuxpan. Los modelos aplicados y los resultados obtenidos en esta evaluación aportan información y validan una herramienta útil para la investigación y toma de decisiones sobre las estrategias y medidas de prevención y mitigación de los impactos inundación. (*Geographical evaluation of areas susceptible to flooding in the Tuxpan River watershed, Veracruz, México.* Ellis, E. A.;¹* Romero, J. A.;¹ Hernández, I.U.;¹ Gallo, C. A.¹ y Alanís, J. L.². s.f.).

De la misma manera existe la relación de estos eventos, centrados más hacia la teledetección; como lo es el siguiente trabajo que se identifica, como la síntesis de una tesis: «Especialización en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica Aplicados al Estudio del Medio Ambiente», de la Universidad de Luján (UNLu), Argentina (Soldano, 2007).

El estudio de la susceptibilidad, es decir, la mayor o menor predisposición a que un evento ocurra sobre determinado espacio geográfico cobra mayor relevancia en un ámbito urbano debido a la afectación directa sobre la variable que determina la vulnerabilidad: la población. Como área de estudio se seleccionó el asentamiento de la ciudad de Goya, que por sus características, presenta una alta susceptibilidad ante este fenómeno natural. En este caso, la susceptibilidad ha sido reducida por la construcción de defensas estructurales (altees de terreno) contra inundaciones.

No obstante, estas obras de arte de la ingeniería, agregan nuevos factores a tener en cuenta, más allá de la posibilidad de falla estructural, estos son: las nuevas relaciones espaciales que plantean al entorno geográfico y su rol funcional ante los excesos hídricos provenientes de lluvias locales.

Como objetivo general del trabajo se propuso el desarrollo de una metodología que utilizando técnicas de Percepción Remota y de Sistemas de Información Geográfica aporte a la elaboración de cartografía de susceptibilidad urbana ante excesos hídricos.

Como objetivos particulares se planteó: realizar un análisis de la evolución del medio físico natural frente a una situación de inundación, establecer la evolución del fenómeno (escala horizontal) relacionado con las variables

hidrometeorológicas registradas (escala vertical), para un mismo evento y generar una zonificación de la susceptibilidad del territorio ante un evento de amenaza de excesos hídricos. Es decir, un mapa de «susceptibilidad» ante inundaciones, en función del análisis conjunto de la recurrencia de superficies afectadas y del uso del suelo u ocupación territorial.

El material utilizado para la realización de este trabajo consistió en información vectorial y raster de diversos orígenes. En particular, se utilizó información cartográfica analógica de estudios anteriores, por ejemplo el Plan Director de Goya (*Bonfanti, 1997*). También, se utilizó información cartográfica digital SIG 250 y la carta Hoja 2760-IV (IGM. 1999). Además, se realizó un levantamiento de puntos de control sobre el terreno utilizando un «navegador» satelital de geo posicionamiento (GPS). La información satelital procesada correspondió a los sensores: Thematic Mapper (*satélite Landsat 5*), ALI (*Satélite EO1*), BGIS 2000 (*satélite QuickBird*). También se procesaron aerofotogramas de escalas 1:25.000 y 1:40.000. El producto final de este trabajo es un mapa de susceptibilidad ante inundaciones por exceso de lluvias locales para el área urbana de la ciudad de Goya, inscrita dentro del perímetro de las defensas. (*Mapa de Susceptibilidad Urbana Ante Inundaciones, Caso: Ciudad de Goya, Provincia de Corrientes Soldano, Álvaro 1 a, Giraut, Miguel b, Goniadzki, Dora a, 2008*).

En Colombia existen casos de estudios que se documentan a través de publicaciones referentes al tema expuesto tales como; La aplicación de la teledetección y los sistemas de información geográfica en la interpretación de zonas inundables. Caso de estudio: río Soapaga, sector paz de río, Boyacá. Este busca a partir de las técnicas de teledetección y los Sistemas de Información Geográfica delimitar el área de inundación ocurrida por el desbordamiento del río Soapaga (sector Paz de Río, Boyacá); la inundación se presenta debido a dos factores fundamentales: la fuerte temporada de lluvias ocurrida durante el primer semestre del año 2012 y agentes geológicos que generaron inestabilidad en el terreno, causando daños a viviendas, redes de acueducto y alcantarillado, vías, puentes, etc., localizados en área urbana del municipio.

El área de inundación se determina a partir de información vector (Curvas de nivel) obtenida del modelo digital de elevación (MDE), asumiendo que el nivel de la inundación no excedió los dos metros de altura con respecto al nivel medio del río Soapaga y tomando como punto de referencia la cota 2210. Adicionalmente, se realiza un geoprocésamiento entre la capa predial urbana del municipio y el área delimitada, para estimar el número de predios y las áreas afectadas por la inundación.

5. METODOLOGÍA

5.1 TIPO DE TRABAJO

Investigación Aplicada. En el cual se referencia el aplicativo de relacionar; la Ingeniería Hidráulica y Sistemas de Información Geográfica.

Para establecer los factores técnicos referentes a la posible zona de inundación hidráulica, se debe tener en cuenta en los cálculos hidráulicos de los estudios técnicos que estarán orientados a establecer la capacidad hidráulica de los canales existentes en relación con una creciente asociada a un período de retorno de 100 años. Con esta actividad se buscará identificar los riesgos por inundación y/o desbordamientos a lo largo del cauce. Además, los resultados de estas evaluaciones permitirán conocer los bordes del agua generados por un nivel máximo que posee un período de retorno de 100 años. A partir de esos bordes se definirán, en la etapa de formulación, las franjas que harán parte de la ronda hidráulica de las corrientes analizadas.

Para conceptuar sobre las características hidráulicas de estas corrientes y conocer su capacidad, se adelantará su modelación de manera individual para cada afluente, calculando el perfil de la lámina a lo largo del flujo por medio del programa HEC-RAS.

5.2 PROCEDIMIENTO

5.2.1 Fase 1. Investigativa –Diagnostica de Estudios Técnicos. Se realiza la recolección de información necesaria de la investigación referente a lo planteado, los aspectos a aplicar, los métodos analíticos y matemáticos que se deben tener en cuenta para los resultados de la información que será utilizada.

5.2.1.1 Cartografía. Plano a escala 1:2000 elaborado por el IGAC, se delimitó las cuencas vertientes del canal Lavanderas y de su afluente, se midieron las características morfométricas principales: área, longitud del cauce, cota superior e inferior, pendiente longitudinal y tiempo de concentración (Etc.).
Cuadro 1.

Cuadro Nº 1. Características morfométricas Lavanderas

Número	Subcuenca	Area ha	Longitud (L) km	Cota superior m.s.n.m.	Cota inferior m.s.n.m.	Pendiente (S) m/m	Tiempo Concentración tc, minutos
1	Lavanderas alto	30	0.45	82	78	0.0089	13.3
2	Brazo derecho	8	0.5	82	78	0.0080	15.1
3	Lavanderas bajo	25	0.56	78	75	0.0054	19.2

1. Los nombres de las subcuencas corresponden a los de la Figura 1
2. Los tiempos de concentración se calcularon con la fórmula de Kirpich:

Plan de Manejo y Ordenamiento de Rondas Hídricas de la quebrada Lavanderas, (Documento C –II Fase Diagnostica, UT LAS CAMELIAS)

5.2.1.2 Hidrometeorología. Se tomará la información de la estación sinóptica secundaria del IDEAM fijado en el Aeropuerto Yariguíes, consistente en las cartas pluviográficas representativas del período 1980 – 2000.

5.2.1.3 Determinación de curvas intensidad-duración-frecuencia. El propósito de la curva es reconocer para la cuenca y subcuenca las corrientes de las Lavanderas. La intensidad y duración de la lluvia para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 30, 50 y 100 años. Para esto es necesario;

Las intensidades de los aguaceros para estos mismos intervalos de tiempo.

$$I = \frac{P}{t} \left(\frac{mm}{hora} \right) \dots Ecuacion 1$$

P: Altura de Precipitación (mm); t: Intervalo de tiempo en horas.

Ajustar la serie de periodos de retornos a la ley de distribución de probabilidades de Gumbel para determinar el evento y el periodo de retorno correspondiente.

$$X_t = X_m + S * K_t \dots Ecuacion 2$$

X_t: Intensidad requerida con un determinado periodo de retorno;

X_m: Valor medio de la serie de intensidades;

S: Desviación Estandar de la serie de intensidades; K_t: Factor de frecuencia;

$$K_t = -0.7797 \left(0.5772 + \ln \left(\ln \left(\frac{T(x)}{T(x) - 1} \right) \right) \right) \dots Ecuacion 3$$

T(x): Periodo de retorno deseado de la intensidad calculada.

Se relacionan las variables mencionadas se plantean las ecuaciones:

$$C = K * t_r^m \dots Ecuacion 4$$

$$\text{Reemplazando 4 en 1; } I = \frac{K * t_r^m}{(d + do)^n} \dots \text{Ecuacion 5}$$

C, K, m, n ; Constantes a determinar; t_r : Periodo de Retorno;
 d : Duracion de la lluvia.

La Ecuación 5, se transforma de la siguiente manera:

$$\text{Log}Y = \text{Log}C - n \text{Log}d \dots \text{Ecuacion 6}$$

Por medio de un análisis de mínimos cuadrados se determinan los valores de n y de C . El valor general es:

$$n = \sum \left(\frac{n_i}{k} \right) \dots \text{Ecuacion 7}$$

k : Es el numero de periodos de retornos considerado.

$$\text{Log}C = \sum \left(\text{Log} \frac{C_i}{k} \right) \dots \text{Ecuacion 8}$$

$$C = \text{Antilogaritmo } C_i \dots \text{Ecuacion 9}$$

En una escala doble logarítmica se plantean los valores de C contra los períodos de retorno analizados.

Se plantean las ecuaciones:

$$C = K * t_r^m \dots \text{Ecuacion 4}$$

Estableciendo el Log para las variables de la Ecuacion 4;

$$\text{Log}C = \text{Log}K + m \text{Log } T_r \dots \text{Ecuacion 10.}$$

Con un análisis de mínimos cuadrados se determinan los valores $\log K$ y m , para deducir K .

Se determinan finalmente los parámetros n, C, K y m , y se escribe la ecuación:

$$Y = \frac{K * T_r^m}{d^n} \dots \text{Ecuacion 11}$$

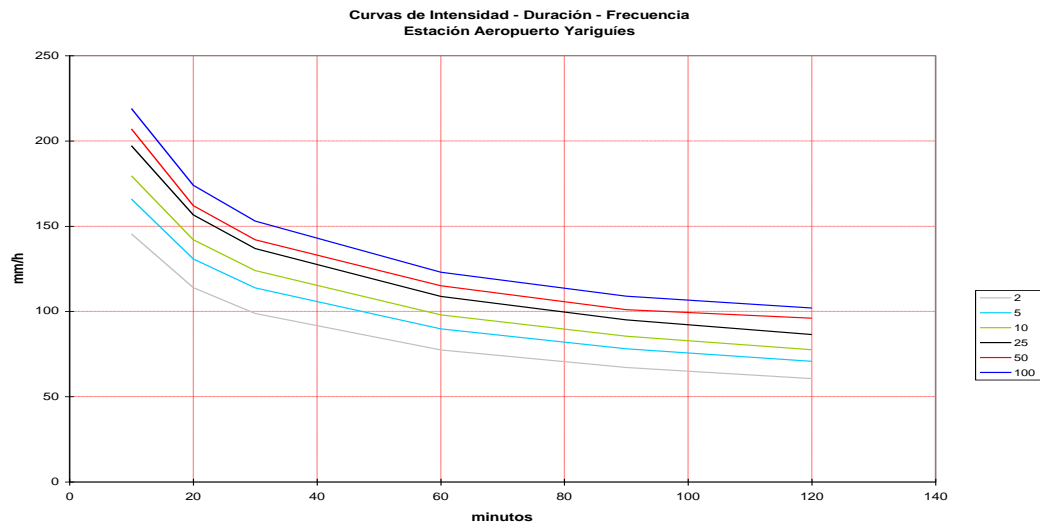


Figura N° 16. Imagen Plan de Manejo y Ordenamiento de Rondas Hídricas de las quebradas Camelias y Lavanderas, Documento C-I y C-II Fase Diagnostica, UT LAS CAMELIAS).

5.2.1.4 Determinación de caudales:

5.2.1.4a Cálculo de crecientes con diferentes periodos de retornos:

Para determinar las magnitudes de las crecientes del canal Lavanderas y sus afluentes se utilizará el método del hidrograma unitario del Soil Conservation Service, SCS, de los Estados Unidos, el cual es apropiado para cuencas rurales y urbanas de características similares a las de las corrientes analizadas.

$$t_c = 4 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77} \dots \text{Ecuacion 12}$$

t_c : Tiempo de concentración en minutos; L: Longitud del cauce más extenso en kilómetros;
 S: Pendiente longitudinal del cauce en $\frac{m}{m}$.

En cada subcuenca se determina la intensidad del aguacero de diseño para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 30, 50 y 100 años.

Se calcula el valor del aguacero de diseño (P_e), para los diferentes períodos de retorno

$$P_e = C * I * D \dots \text{Ecuacion 13}$$

I: Intensidad del aguacero de diseño en $\frac{mm}{hora}$; D: Duracion del aguacero de diseño en horas.

Se definió el tiempo al pico (t_p) del hidrograma triangular del SCS con la ecuación:

$$t_p = \frac{D}{2} + 0.6 * t_c \dots \text{Ecuacion 14}$$

Es posible establecer los valores de los caudales unitarios (q_p) en las subcuencas, con diferentes períodos de retorno.

$$q_p = \frac{0.2083 * A}{t_p} \dots \text{Ecuacion 15}$$

A: Area de cada subcuenca en Km²; t_p: tiempo al pico del hidrograma triangular.

Los caudales máximos de cada una de las crecientes en las subcuencas independientes se determinaron de la siguiente manera:

$$Q_p = A * q_p \dots \text{Ecuacion 16}$$

Q_p: Es el caudal picode creciente para los periodos de retorno seleccionados;

A: Es el area de cada una de las subcuencas en Km².

5.2.1.4b Cálculo de caudales de aguas residuales:

El caudal medio de agua negras se determina a partir del caudal medio para acueducto, afectado por un coeficiente de retorno adecuado y el caudal máximo de aguas servidas se evalúa tomando en consideración los picos horarios transitados, el caudal de infiltración y las conexiones erradas.

5.2.1.4c Caudales para el acueducto:

El Caudal Medio Diario se define como:

$$Q_{md} = \frac{P * d_{neta}}{86.400} \dots \text{Ecuacion 17}$$

P: Poblacion de diseño; d_{neta} =

Duracion $\frac{1}{\text{dia}}$ (se toma neta debidoa que este es el valor que influye en el caudal del alcantarillado).

El Caudal Máximo Diario se obtiene como el producto del Caudal Diario y el Coeficiente de Consumo Máximo Diario (k1) dado como la relación entre el Consumo Máximo diario y el Caudal Medio Diario registrado en un año determinado.

El caudal de las contribuciones domésticas de aguas residuales (QD) se determina de la siguiente manera, combinando la ecuación 13 con la ecuación 17:

$$Q_D = \frac{C * D * A_{rd} * R}{86.400} \dots \text{Ecuacion 18}$$

C : Dotacion neta de agua para acueducto $\frac{200l}{hab}$;
 D : Densidad de la poblacion en el casco urbano, $262.74 \frac{hab}{ha}$;

A_{rd} : Area de cada subcuenca analizada ha;

R : Coeficiente de retorno de aguas negras igual a 0.8.

El caudal medio diario de aguas residuales se toma igual al caudal de las contribuciones domésticas.

QMD - Es el caudal medio diario de aguas residuales

Caudal de diseño de aguas negras se define como la suma del caudal máximo horario del día máximo, el caudal de infiltración y el caudal de conexiones erradas:

$$Q_{DT} = Q_{MH} + Q_{INF} + Q_{CE} \dots \dots \text{Ecuacion 19}$$

Q_{DT} : Caudal de diseño de aguas negras; Q_{MH} : Caudal maximo horario del dia maximo;

Q_{INF} = Caudal de infiltracion; Q_{CE} : Caudal de conexiones erradas.

NOTA 1: El coeficiente de Manning o de Rugosidad para las paredes del canal, comprende de 0.013 para paredes en concreto elaboradas en formaleta sin acabados y 0.03 para paredes en tierra, irregulares con vegetación o maleza.

El caudal promedio final que se utilizará para la quebrada Lavanderas será de $20m^3/s$ y la altura de la lámina de agua será de 1m, para una condición de flujo subcritico, calculados con las ecuaciones anteriores en los estudios técnicos realizados.

5.2.2 Fase 2. Aplicativa o Ejecutora. Es el proceso que lleva toda la información recolectada que entrará a ser digitalizada y transformada para luego llegar a los resultados esperados.

Los datos hidráulicos calculados anteriormente, se incorporan para modelar matemáticamente la zona de inundación hidráulica por medio de un software de ingeniería Hec-Ras y Hec-Georas, evitando los futuros conflictos en el empalme de los datos, que se suministrarán.

Para realizar los modelamientos en el programa se debe tener en cuenta ejecutar lo proyectado en el HEC-RAS con los siguientes pasos:

- ✓ Configuración del Sistema de Unidades SI (Sistema Métrico).
- ✓ Introducir datos geométricos de cada tramo del cauce. Edit/Geometric.
- ✓ Introducir datos de secciones transversales. Geometric Data/Cross Section.
- ✓ Interpolar secciones transversales para obtener de la lámina de agua en un canal prismático C/50m o el rango necesario. Geometric Data/Tools/XS Interpolation.
- ✓ Introducir los datos hidráulicos (Flujo Permanente). Edit/SteadyFlow Data. Definiendo número de perfiles, condiciones de contorno, cambios de caudales y el caudal de cada perfil.
- ✓ Crear un plan y ejecutar una simulación (Flujo Permanente).
- ✓ Ver Resultados; Secciones transversales, perfil de láminas de agua, graficas de varios parámetros a lo largo del perfil, curvas caudal-calados de cada perfil, dibujos perspectiva, tablas de detalle, tablas de resumen y mensajes.

El Hec-GeoRas es una extensión para ArcView desarrollada conjuntamente por el Hidrologic Engineering Center (HEC) del United States Army Corps of Engineers y el Environmental System Research Institute (ESRI). Básicamente es un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades especialmente diseñados para procesar datos georreferenciados que permiten bajo el entorno de los sistemas de información geográfica (SIG) facilitar y complementar el trabajo con HEC-RAS. El Hec-GeoRas está escrito en el lenguaje de programación Avenue y es el resultado de la evolución de la extensión AVRAS.

El Hec-GeoRas crea un archivo para importar a Hec-Ras datos de geometría del terreno incluyendo cauce del rio, secciones transversales, etc. Posteriormente los resultados obtenidos de calados y velocidades se exportan desde Hec-Ras a ArcView pueden ser procesados para obtener mapas de inundación y riesgo.

El proceso de cada trabajo en el software se da:

- ✓ Un Pre proceso (trabajo previo en ArcView y Hec-GeoRas), para generar un archivo de importación para Hec-Ras y que contiene información geométrica de las secciones transversales.
- ✓ La modelización del flujo con Hec-Ras que a su vez genera un archivo de exportación para ArcView.
- ✓ Post proceso que genera los resultados finales; superficies de inundación para cada periodo de retorno.

6. RESULTADOS

6.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

Se establece el procedimiento de los resultados obtenidos del software utilizado (ArcGis 10.2.1 y Hec-Ras 4.0), por medio de imágenes o pantallazos etiquetados y explicados donde finalmente demarca la zona de inundación hidráulica correspondiente a la quebrada Lavanderas, en el municipio de Barrancabermeja-Santander.

6.1.1 Creación del archivo de importación para Hec-Ras en ArcGis 10.2.1.

6.1.1.1 Creación del TIN para una zona de inundación de 8 metros de la quebrada Lavanderas: (tin8).

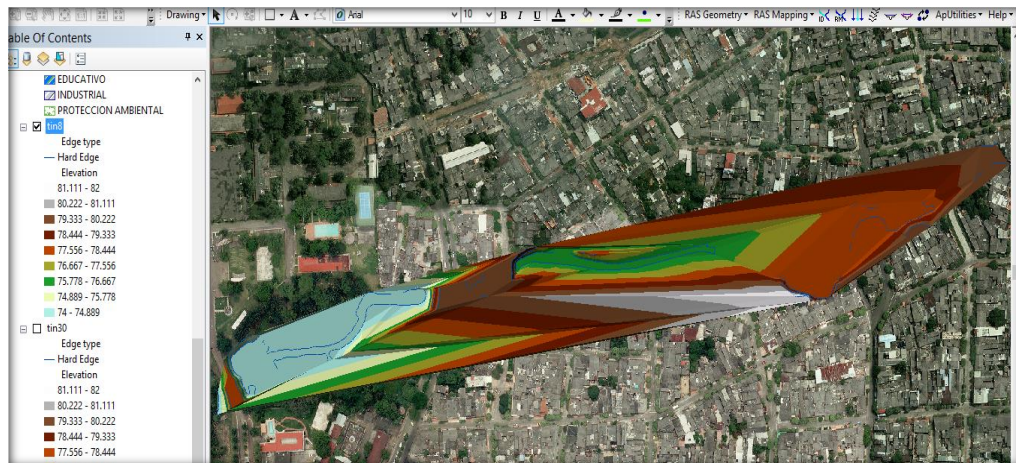


Figura Nº 17. Imagen TIN correspondiente a la quebrada Lavanderas para generación de archivo de exportación a Hec-Ras. (tin8). Resultados, 2015. Mapa Temático (Ver Anexo A).

6.1.1.2 Trazado del cauce, bancas y recorrido de flujo correspondiente a la quebrada Lavanderas.

El trazado del cauce se requiere para dibujar la trayectoria de la quebrada, este se dibuja desde aguas arriba hasta finalizar aguas abajo, bautizándolo con el nombre de “Lavanderas” y de igual forma nombrando los tramos que en el cual está compuesto (para el presente estudio un tramo que compone desde el barrio Pueblo Nuevo hasta la entrega en la Ciénaga Miramar). Luego después de estar representado el cauce con sus respectivos nombres y tramos, se prosigue a la elaboración de las bancas de izquierda, derecha y el recorrido del flujo (se refiere a las zonas por donde se estima que el agua circulará preferentemente por el

cauce principal y los dos desbordamientos) para cada una de ellas incluyendo la línea central del cauce que se digitaliza por separado.

Es importante tener cuidado a la hora de realizar esta delimitación ya que la posición donde se ubiquen las bancas tendrá repercusión en el cálculo de la rugosidad, esto debido a que Hec-Ras trata de diferente forma al cauce principal que a las llanuras de inundación.

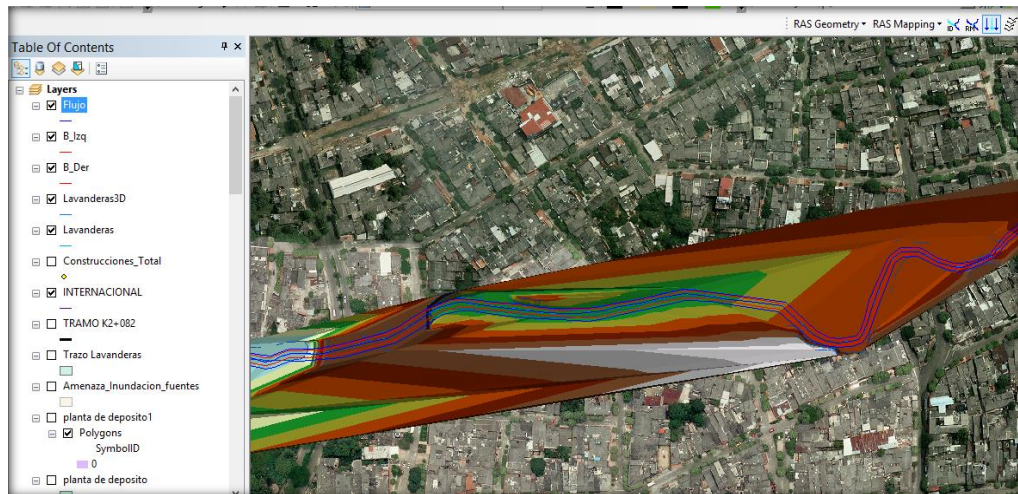


Figura N° 18. Imagen representación del cauce y las bancas, quebrada Lavanderas para generación de archivo de exportación a Hec-Ras. Resultados, 2015. **Mapa Temático (Ver Anexo B).**

6.1.1.3 Elaboración de secciones transversales a lo largo del cauce: XS Cut Lines.

Las secciones transversales se dibujan de izquierda a derecha, ubicándose en zonas de cambios de pendientes, curvas y cualquier otro cambio brusco de topografía. El trazado se debe realizar lo más perpendicular posible a la línea del cauce.

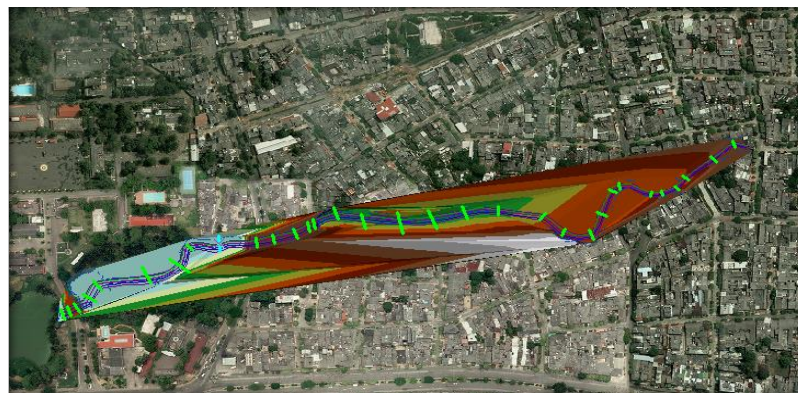


Figura N° 19. Imagen representación secciones transversales, quebrada Lavanderas para generación de archivo de exportación a Hec-Ras. Resultados, 2015. **Mapa Temático (Ver Anexo C).**

6.1.1.4 Creación de los atributos de las capas

Todas las capas que se han creado son dibujos en 2D. Para pasar la información a Hec-Ras se debe tener información en 3D. Con la creación de los atributos del cauce, las secciones transversales y el puente se crearán nuevas capas de estos con datos en 3D para exportar.

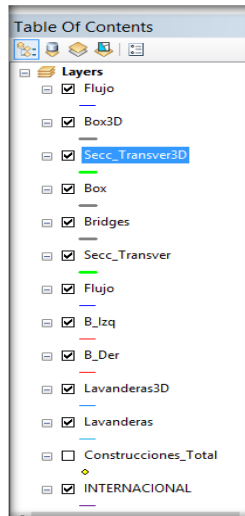


Figura N° 20. Imagen atributo de capas en 2D y 3D, quebrada Lavanderas para generación de archivo de exportación a Hec-Ras. Resultados, 2015.

6.1.1.5 Creación de un fichero o archivo de exportación para Hec-Ras

Por medio de la herramienta Export RAS Data se crea el archivo de exportación con el nombre de EXPORT_HecRas Lavanderas con formato .sdf.

6.1.2 Modelamiento del cauce Lavanderas en Hec-Ras 4.0

6.1.2.1 Importación del archivo LAVANDERASXHECRAS.sdf y creación del proyecto LAVANDERASHECRAS.prj

En la importación del archivo al programa Hec-Ras 4.0, se evidencia el trazado del cauce, las secciones transversales y las estaciones junto a sus elevaciones. Este paso se trabaja en Geometric Data, como herramienta necesaria e inicial para el proceso de modelamiento de la información importada de Arc-Gis a Hec-Ras.

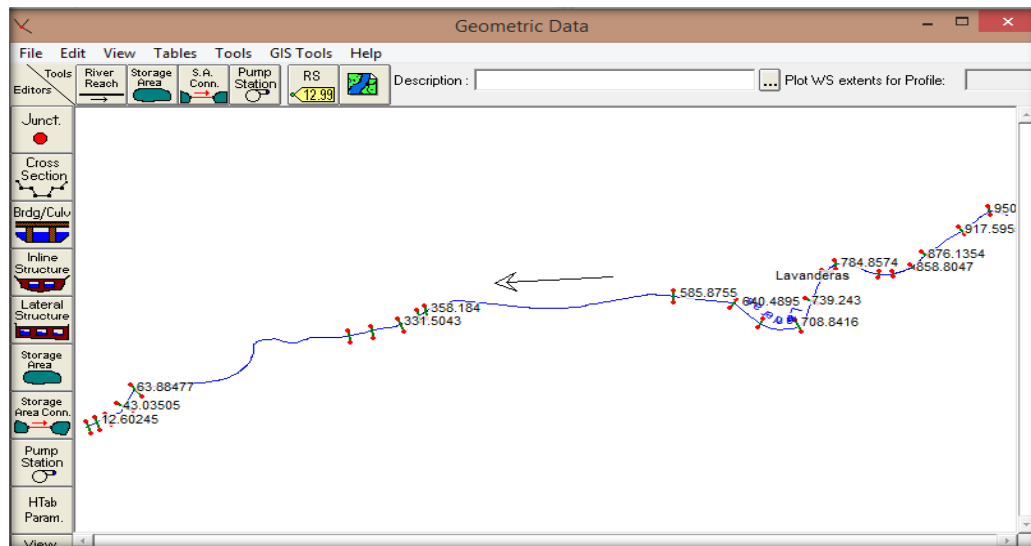


Figura N° 21. Imagen cauce y secciones transversales importadas a Hec-Ras 4.0, quebrada Lavanderas. Resultados, 2015.

6.1.2.2 Secciones Transversales y coeficiente de Manning:

Se observan las secciones transversales por medio de herramienta CrossSection donde se encuentran todos los atributos activados en ArcGis, excepto el coeficiente de Manning cuyo valor se da manualmente, según las condiciones físicas del terreno donde está ubicado.

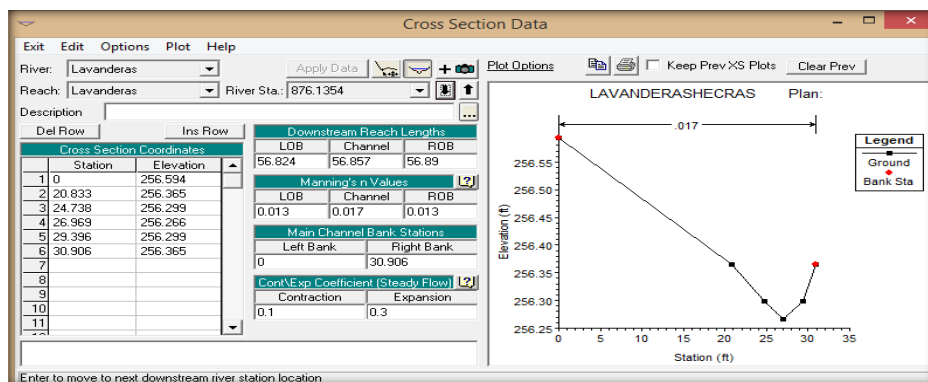


Figura N° 22. Imagen sección Transversal N° 876.1354 y Coeficiente de Manning, Quebrada Lavanderas. Resultados, 2015.

6.1.2.3 Datos Geométricos y Condiciones de flujo:

Según los estudios realizados, la quebrada Lavanderas mantiene un caudal aproximado de 20m³/s, en el cual su variación es muy pequeña ya que las viviendas descarga una cantidad aproximada de 12m³/s de los que circulan por el cauce de aguas residuales. Las condiciones de flujo se reflejan en un “flujo

Subcritico”, en el cual se modela por medio de la Steady Flow Data con condiciones de bordes aguas abajo, últimamente el modelo se ejecuta:

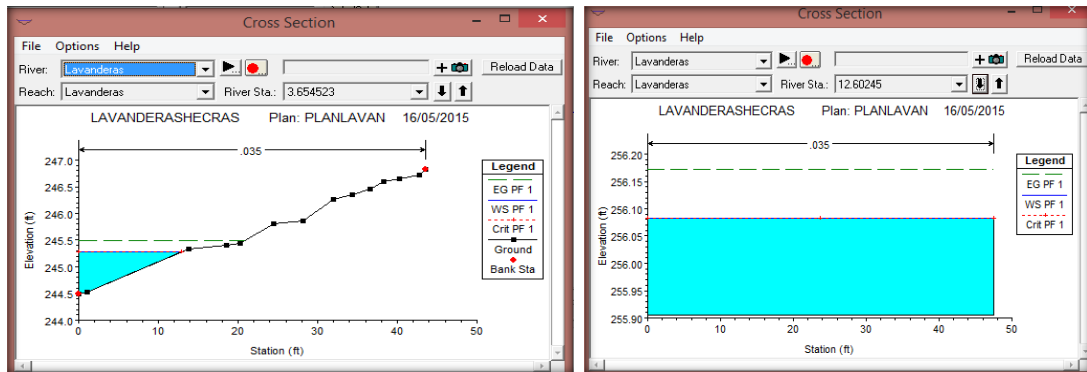
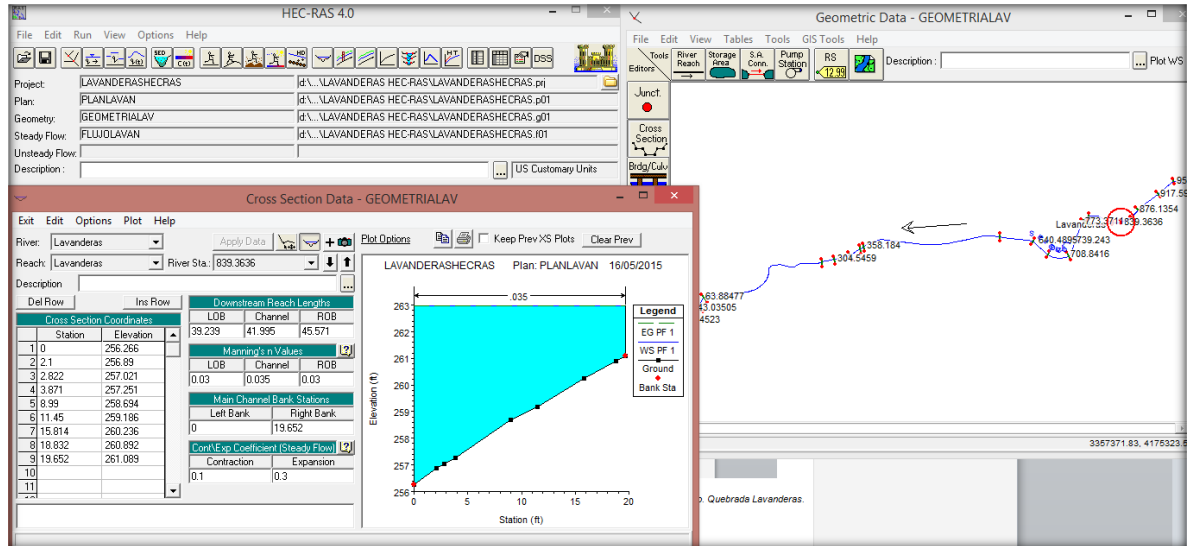


Figura N° 23. Imagen secciones Transversales con modelamiento de geometría y condiciones de flujo. Quebrada Lavanderas. Resultados, 2015.

Los canales diseñados en la mayoría del cauce perteneciente a la quebrada Lavanderas son “canales estables”, estos se deben diseñar de tal forma que no presenten ni erosión, ni depósito de materiales que alteren la geometría original del mismo. Las tres formas de diseño que se emplean son; el método de Copeland, método de la fuerza tractiva (tractive force) y método de Régimen (Regime). El Hec-Ras utiliza este último para calcular canales estables llamándolo método de Régimen de Blech, donde no solo se determina la profundidad, ancho, pendiente en función del caudal y el tamaño de los sedimentos transportados, sino que de igual forma se determina la concentración de los sedimentos, la temperatura del agua y el factor de orilla.

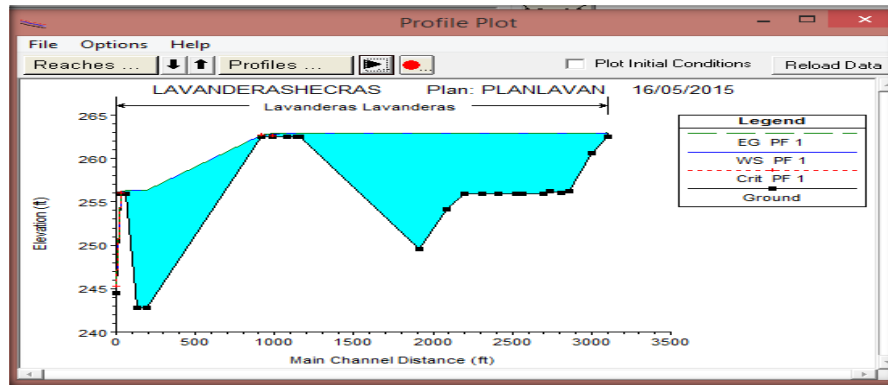


Figura N° 24. Imagen Perfil del cauce con modelamiento de geometría y condiciones de flujo. Quebrada Lavanderas. Resultados, 2015.

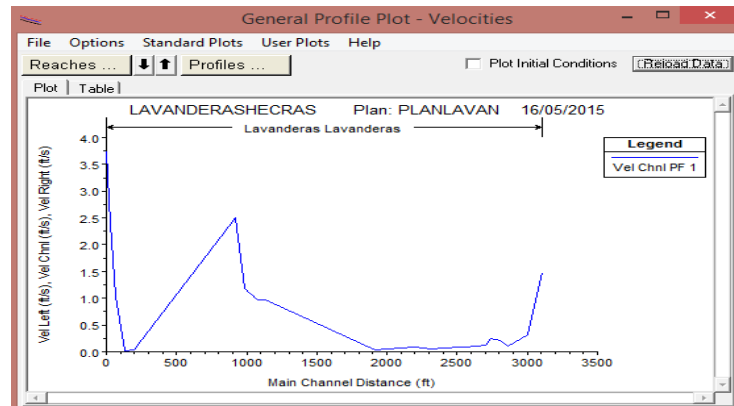


Figura N° 25. Imagen Perfil General del cauce. Quebrada Lavanderas. Resultados, 2015.

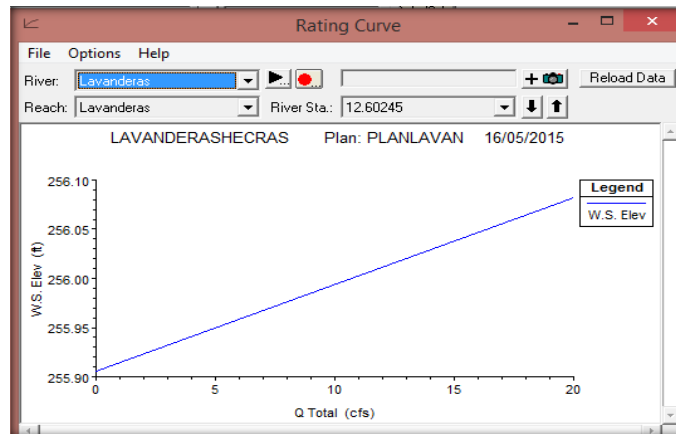


Figura N° 26. Imagen Grafico de Curva de Descarga. Quebrada Lavanderas. Resultados, 2015.

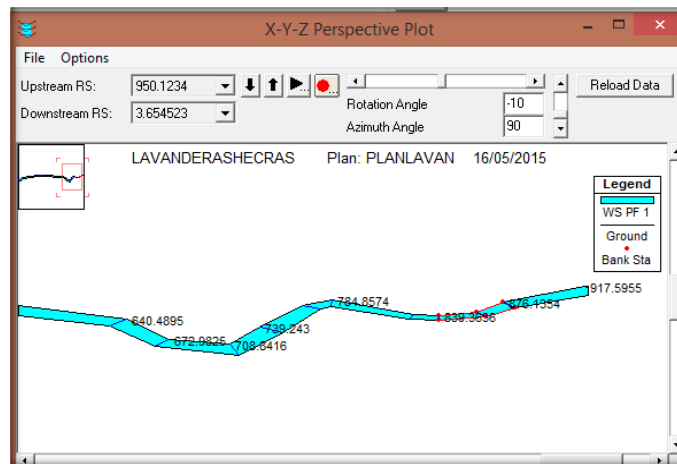


Figura N° 27. Imagen Grafico en perspectiva X-Y-Z. Quebrada Lavanderas. Resultados, 2015.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)
Lavanderas	950.1234	PF 1	20.00	80.00	81.00		81.26	0.001947
Lavanderas	917.5955	PF 1	20.00	79.43	81.10		81.18	0.000391
Lavanderas	876.1354	PF 1	20.00	78.11	81.13		81.16	0.000066
Lavanderas	858.8047	PF 1	20.00	78.05	81.05		81.15	0.000377
Lavanderas	839.3636	PF 1	20.00	78.11	81.02		81.14	0.000539
Lavanderas	826.5683	PF 1	20.00	78.00	81.07		81.11	0.000140
Lavanderas	784.8574	PF 1	20.00	78.00	81.08		81.10	0.000063
Lavanderas	773.3711	PF 1	20.00	78.00	81.08		81.10	0.000057
Lavanderas	739.243	PF 1	20.00	78.00	81.08		81.10	0.000027
Lavanderas	708.8416	PF 1	20.00	78.00	81.08		81.10	0.000021
Lavanderas	672.9825	PF 1	20.00	78.00	81.07		81.09	0.000051
Lavanderas	640.4895	PF 1	20.00	77.45	81.08		81.09	0.000024
Lavanderas	586.8755	PF 1	20.00	76.07	81.08		81.09	0.000009
Lavanderas	358.184	PF 1	20.00	80.00	80.96		81.07	0.000814
Lavanderas	350.4922	PF 1	20.00	80.00	80.94		81.06	0.000905
Lavanderas	331.5043	PF 1	20.00	80.00	80.93		81.04	0.000855
Lavanderas	304.5453	PF 1	20.00	80.00	80.85	80.61	81.01	0.001293

Cuadro N° 2. Imagen Tabla de Resumen de Perfiles. Quebradas Lavanderas. Resultados, 2015.

6.1.3 Modelamiento Final del cauce en ArcGis

6.1.3.1 Importación de datos de Hec-Ras a ArcGis

Por medio de la herramienta incorporada al Arc-Gis; Hec-GeoRas, se importa los archivos trabajados en Hec-Ras, convirtiendo primero el archivo de exportación creado en el software de hidráulica que se encuentra en formato SDF a XML, para el SIG. Se debe tener en cuenta que para que todos los datos sean llamados se debe realizar la activación de “Layer Setup” donde trae el formato convertido en XML y el TIN (Terreno). Luego se importan a través del “Import RAS Mapping”. Las anteriores iconos se encuentran en “RAS Mapping”, dando como resultado un polígono de borde con sus secciones transversales.

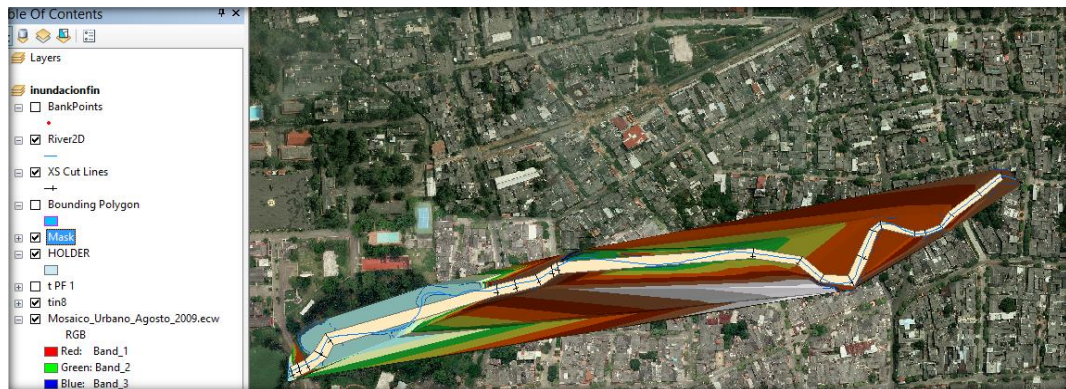


Figura Nº 28. Imagen importación de datos de Hec-Ras a Arc-Gis. Quebrada Lavanderas. Resultados, 2015. Mapa Temático (Ver Anexo D).

6.1.3.2 Superficie de Inundación y zona de inundación hidráulica $Tr=100$ años en ArcGis

Finalmente se crea la superficie de agua generada en Hec-GeoRas y se delimita la zona de inundación hidráulica con un $Tr=100$ años (“*Water Surface Generation*”), graficado sobre la ortofoto por medio de un polígono con datos del perfil hidráulico trabajado en el proceso, llamado “*Perfil1*”, conociendo así los objetivos específicos de este proyecto, donde se evidencia la franja de inundación hidráulica y el número de viviendas afectadas (“*Floodplain delineation using raster*”).

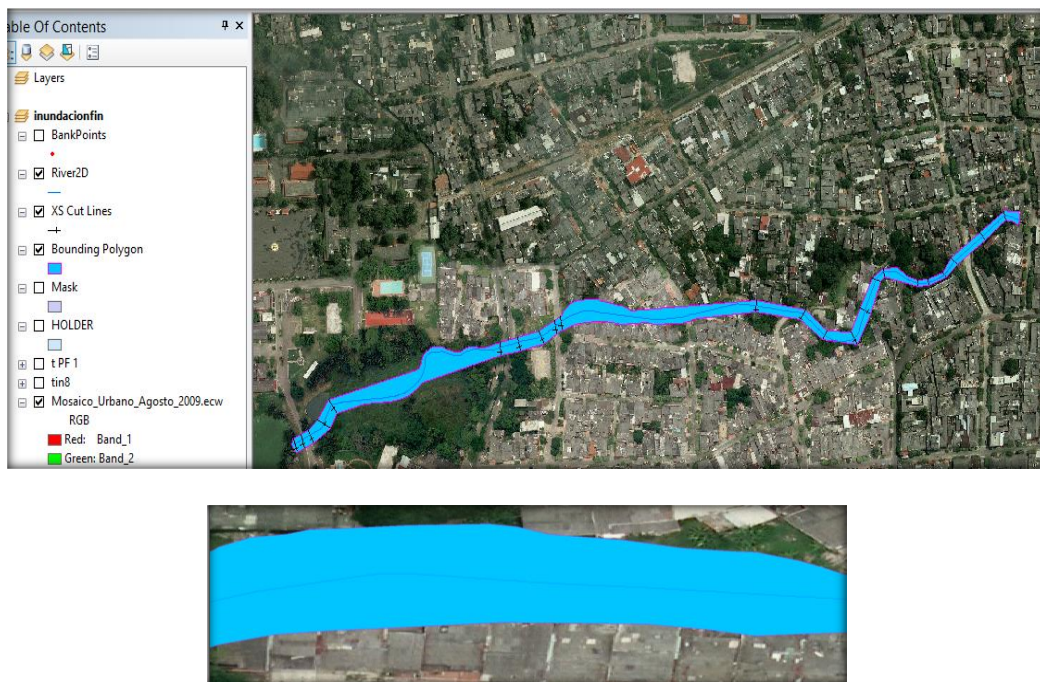


Figura Nº 29. Imagen Final de zona de inundación hidráulica $Tr=100$ años. Quebrada Lavanderas. Resultados, 2015. Mapas Temáticos (Ver Anexo E, Anexo F).

NOTA 2: Los modelamientos realizados en Hec-Ras y Arc-Gis, están diseñados para establecer soluciones a las situaciones lo más real y exacto posible, basado en la precisión de imágenes gráficas y base de datos cuantificables del Arc-Gis y la ingeniería hidráulica del Hec-Ras. Cabe resaltar que en el procesamiento de estas herramientas se pueden obtener resultados no esperados provenientes de diversas fuentes de errores, tales como; mal manejo de los software, suministro de información insuficiente o irreal, desconocimiento de las propiedades hidráulicas y geométricas del canal o cauce, elaboración errada del TIN, incompatibilidad del sistema de coordenadas entre Arc-Gis y Hec-Ras, entre otras.

6.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Por medio de los software trabajados; como el ArcGis 10.2.1 y el Hec-Ras 4.0, se obtuvieron los resultados esperados, estableciendo una gran diferencia entre la zona afectada por la inundación hidráulica modelada y la ronda hídrica de 30 metros demarcada actualmente por el plan de ordenamiento territorial en materia de cuerpos de aguas como quebradas, caños, canales mitigados y no mitigados, escorrentías etc.

Al realizar el modelamiento en el software de ingeniería hidráulica, se trabajaron datos que aplicados a las fórmulas matemáticas obtuvieron variables esenciales para los resultados, tales como; caudales de diseño (incorporando el caudal de aguas residuales) con $Q= 20 \text{ m}^3/\text{s}$, coeficiente de rugosidad o Manning (en este caso como el área de estudio es una quebrada mitigada o canalizada en su mayor extensión, posee paredes elaboradas con pantallas de concreto de 4000psi, altura $h=2.0$ metros y espesor $e=0.3$ metros), el coeficiente de rugosidad tiene un valor de 0.013 y en los sectores donde no se encuentra canalizada, tiene un valor de 0.03 ya que sus paredes son de material original con presencia de vegetación y maleza.

Se tuvo en cuenta otro dato importante como es la altura de la lámina de agua, que se representa con una constante de 1.0 metro, caracterizada por un flujo subcrítico.

Relacionando los datos hidráulicos y los geométricos entregados por las curvas de nivel representadas en un TIN, las secciones transversales, las líneas de flujo; se obtiene finalmente el polígono de inundación y con este la zona de delimitación de la inundación, donde se percibe la franja hidráulica afectada que se conoce como una franja de inundación común pero con mayor precisión ya que su modelamiento va de la mano con las propiedades hidráulicas y la dinámica de la quebrada, incluyendo la geometría y las características ingenieriles de la canalización o mitigación. Siendo así, la franja de afectación hidráulica comprende una totalidad de 66 predios con rondas hídricas que oscilan de 8-11 metros, reduciendo el número de viviendas involucradas a diferencia de la ronda hídrica tomada por el POT de 30 metros cuya afectación comprende 188 predios, por lo tanto menos viviendas con viabilidad de inversión pública u otro tipo de beneficios entregados por el gobierno.

7. CONCLUSIONES

- Al obtener la demarcación de la zona de inundación hidráulica final referente a la quebrada Lavanderas donde los datos hidráulicos y geométricos resultantes provienen de cada uno de los software trabajados, se modifica el dimensionamiento de la ronda hídrica única y exclusivamente para este cuerpo hídrico, donde anteriormente era de 30 metros, reflejando así un área de inundación de 13.073,43 m² y una ronda hídrica que promedia por sectores entre 8 metros y 11 metros.
- En la zona delimitante de inundación hidráulica, se contemplan los predios excluidos por esta afectación como resultado del modelamiento realizado, reduciendo un 65% las viviendas involucradas; de 188 predios afectados, solo 66 de estos persisten en este condicionamiento impuesto por el Art. 44 del POT del municipio de Barrancabermeja, los 122 predios restantes se beneficiarían a futuras inversiones públicas.
- El modelamiento se realizó para una zona de inundación hidráulica con un periodo de retorno de 100 años y una descarga de aguas lluvias - sanitarias promediadas a 20m³/s, en el cual llegan finalmente a la ciénaga Miramar. Cabe resaltar que existe la probabilidad de un incremento de esta carga de solo un 2% por eventos ajenos a los aportes de aguas residuales ya que parte de las zonas aledañas a este cuerpo hídrico están consolidadas (no hay área libre para posibles asentamientos humanos ilegales) y la otra parte son reservas forestales que de igual forma no pueden ser invadidas.
- Una vez haya sido aprobado este nuevo distanciamiento o zona de inundación hidráulica, las entidades municipales involucradas, expedirá certificaciones, conceptos técnicos y mapas de afectación que beneficien en procesos de inversión, subsidio, titulación, etc., a las viviendas que se encuentran fuera de esta condición. De igual forma las viviendas que persisten en esta afectación deben abstenerse de realizar algún tipo de construcción en el lugar, y mucho menos permitir las invasiones en las pocas áreas que se encuentran en protección.

8. RECOMENDACIONES

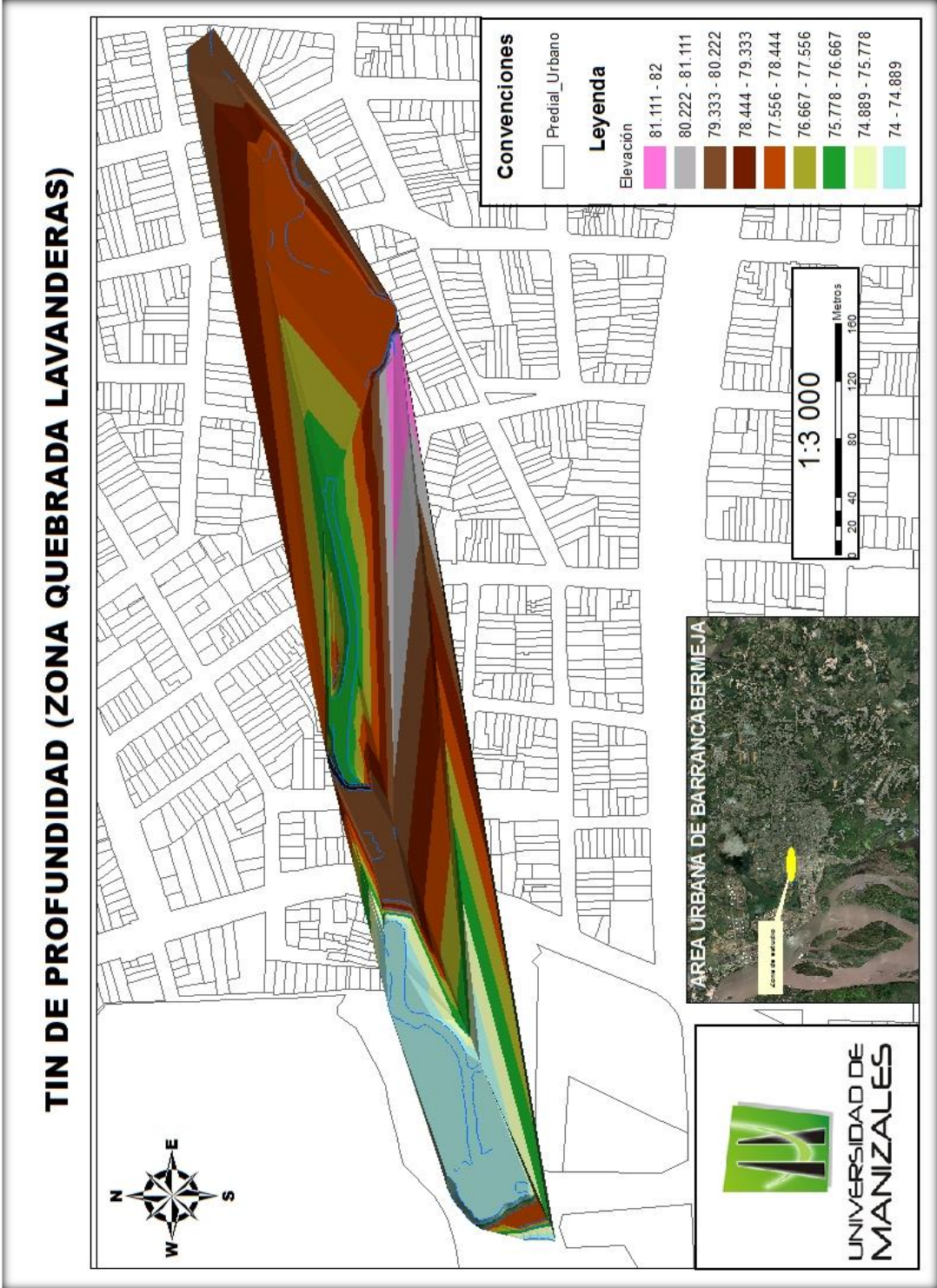
- Es indispensable realizar estudios igual o mayormente detallados para cuerpos hídricos y canales más grandes e influyentes en la región para conocer la zona de inundación hidráulica que aporta al crear el modelamiento con diferentes posibles caudales futuros.
- Las entidades municipales debe controlar e impedir el aumento de invasiones y posicionamientos ilegales dentro de la zona de inundación, ya que este es un fenómeno que se presenta muy seguido afectando la estabilidad del flujo del cauce al descargar sus aguas a esta quebrada, aumentando así el caudal, la condición de flujo y sobresaturación que eleva la altura de la lámina de agua, provocando futuros eventos de inundación mayor al calculado.
- Realizar proyectos de reasentamientos o reubicación equivalentes a las condiciones de vivienda para los predios afectados y posteriormente planteando un urbanismo referente a zonas verdes, zonas de protección en las áreas de afectación, no olvidando la continuidad en la ejecución de obras de mitigación sobre áreas que aún siguen involucradas en el condicionamiento.
- Todas las entidades municipales deben conocer e interpretar los mapas de afectación elaborados por imágenes y procesamientos de un programa de sistemas de información geográfica y manejar básicamente este software para emitir con exactitud los conceptos técnicos.

• BIBLIOGRAFÍA

- Ardila Jhon Fredy, Quintero Oscar Yesid. (2013): *Aplicación de la teledetección y los sistemas de información geográfica en la interpretación de zonas inundables. caso de estudio: río Soapaga, sector Paz de Río, Boyacá*. Universidad militar nueva granada, Facultad de ingeniería, especialización en geomántica, Bogotá D.C, Colombia.
- Chow, Ven Te; Maidment, David R.; Mays, Larry W. (1994): *Hidrología Aplicada*. McGraw-Hill, Bogotá, Colombia.
- Colorado Claudio, Quiza Mauricio (Unión Temporal Las Camelias). (2006): *Plan de Manejo y Ordenamiento de Rondas Hídricas de las quebradas Camelias y Lavanderas, Documento B Fase Preliminar*. Barrancabermeja, Santander, Colombia.
- Colorado Claudio, Quiza Mauricio (Unión Temporal Las Camelias). (2006): *Plan de Manejo y Ordenamiento de Rondas Hídricas de las quebradas Camelias y Lavanderas, Documento C-II Fase Diagnóstica*. Barrancabermeja, Santander, Colombia.
- *Diseño y construcción de obras de control de inundación y erosión en el Municipio de Barrancabermeja, Departamento de Santander*. Proyecto, diseños Básicos. Cormagdalena, Barrancabermeja, Santander, Colombia.
<http://fs03eja1.cormagdalena.com.co/nuevaweb/AdmonCon/Documentos/Informe%20de%20Dise%C3%B1o.pdf>
- Ellis, E. A.;1* Romero, J. A.;1 Hernández, I.U.;1 Gallo, C. A.1 y Alanís, J. L.2.b. (s.f.): *Evaluación geográfica de áreas susceptibles a inundación en la cuenca del río Tuxpan, Veracruz*. Centro de Investigaciones Tropicales (CITRO) Universidad Veracruzana. Ex-Hacienda Lucas Martín Calle Araucarias s/n, Colonia Periodistas Xalapa, Veracruz, México (C. P. 91019).
- Nanía Leonardo S. y Molero Emilio. (14 al 16 Febrero 2007): *Manual Básico de HEC-RAS y HEC-GeoRas, Curso especialización Modelación de Ríos con Hec-Ras y SIG; Régimen permanente 1-D*. Universidad de Granada, Área de Ingeniería Hidráulica/Área de Urbanismo y Ordenación del Territorio, Granada, España.
- Soldano Álvaro. *Teledetección Aplicada a la reducción de riesgo por inundación*.(2008): CONAE, OEA/DSS, Argentina.

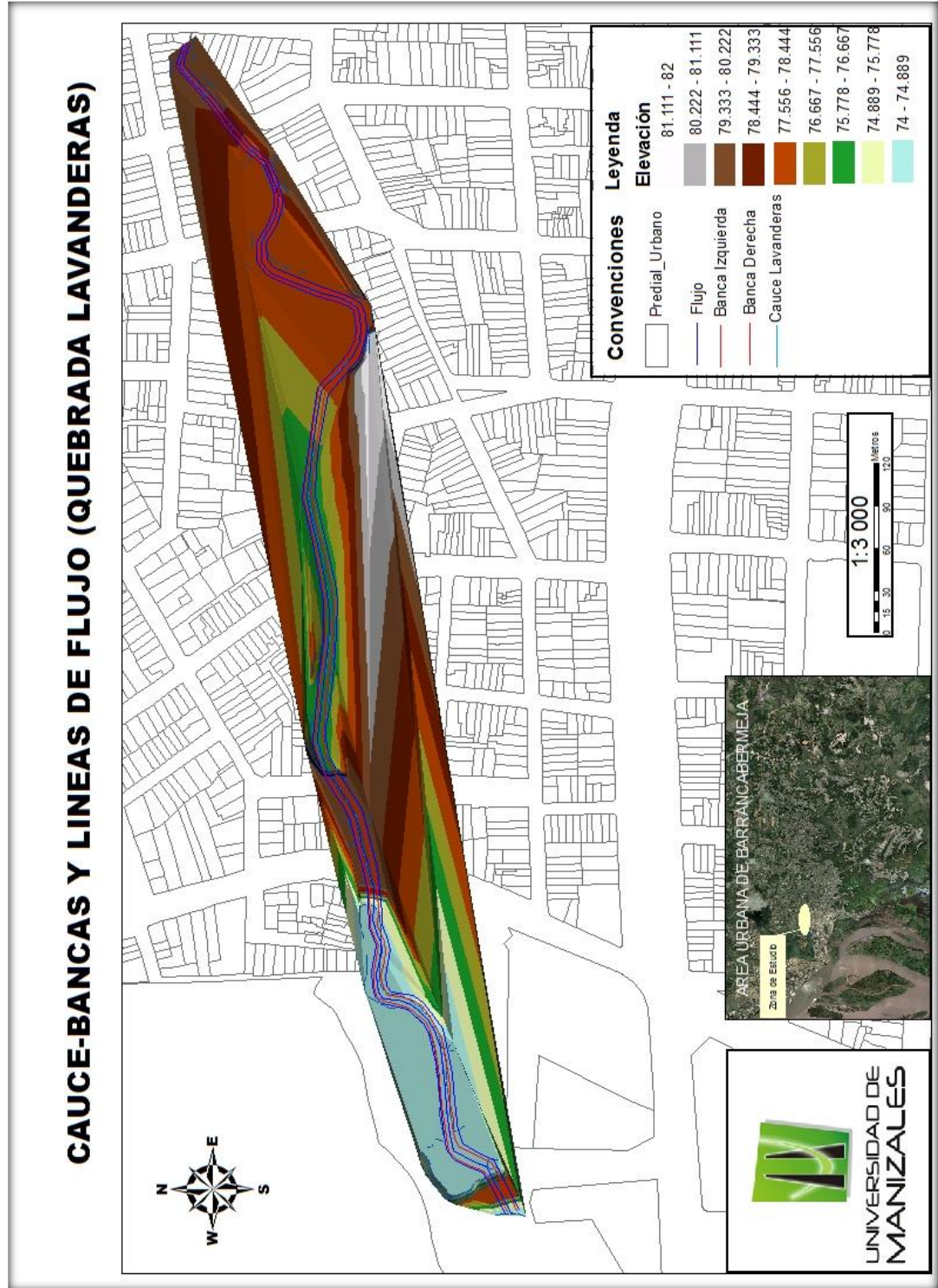
ANEXO A

MAPA TEMÁTICO: TIN de Profundidad (Zona Quebrada Lavanderas).



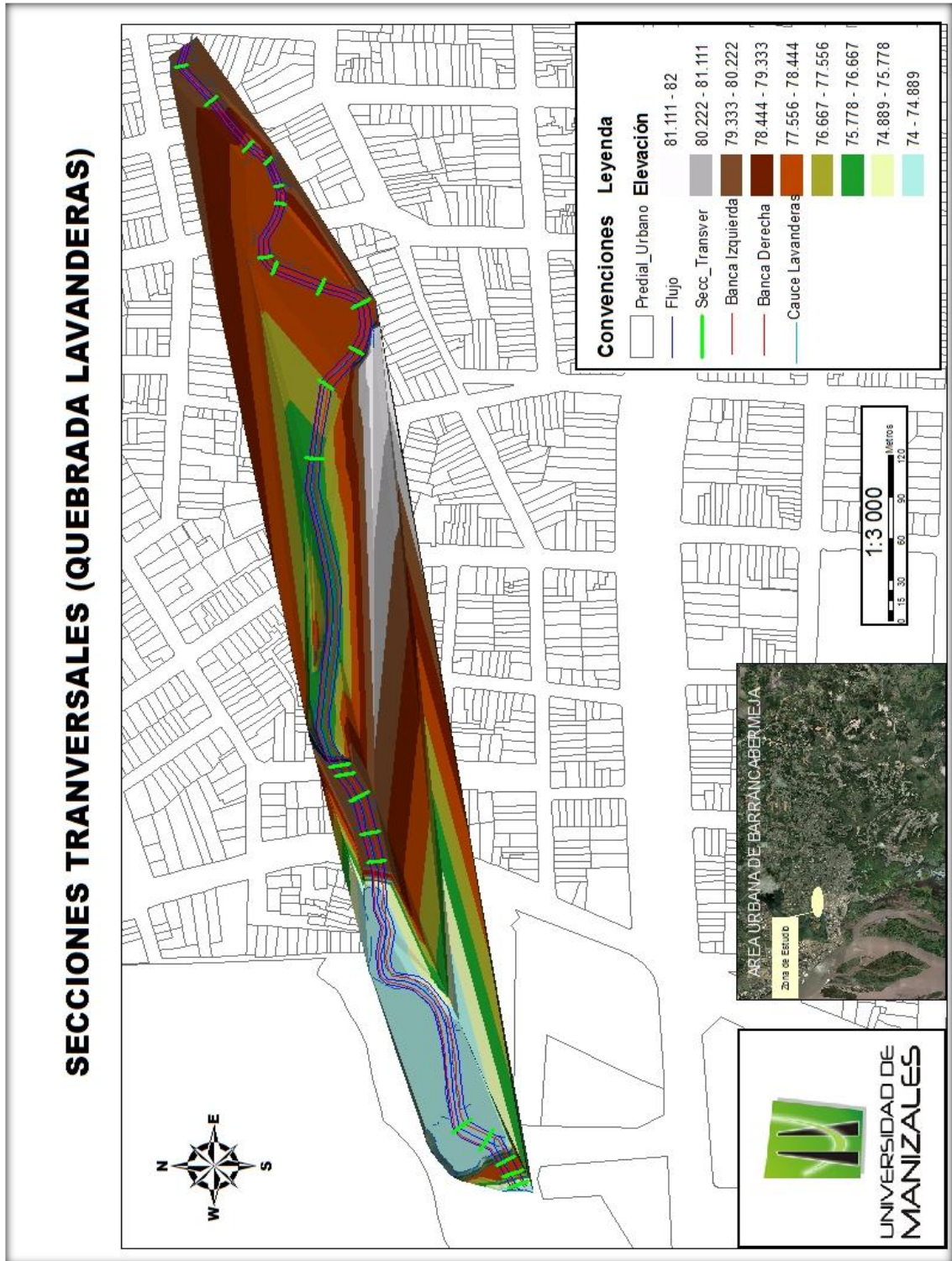
ANEXO B

MAPA TEMÁTICO: Cauce-Bancas y Líneas de Flujo (Quebrada Lavanderas).



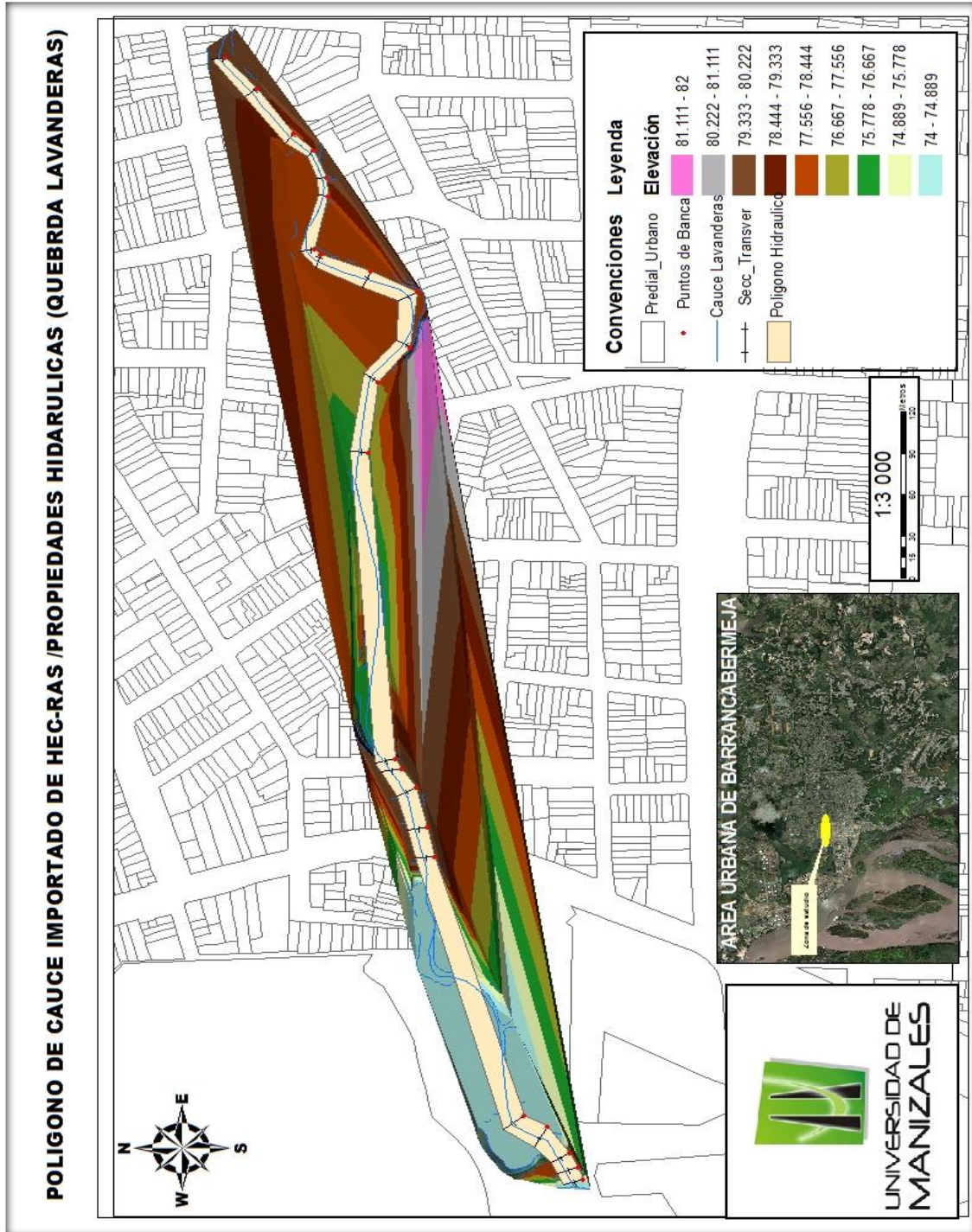
ANEXO C

MAPA TEMÁTICO: Secciones Transversales (Quebrada Lavanderas).



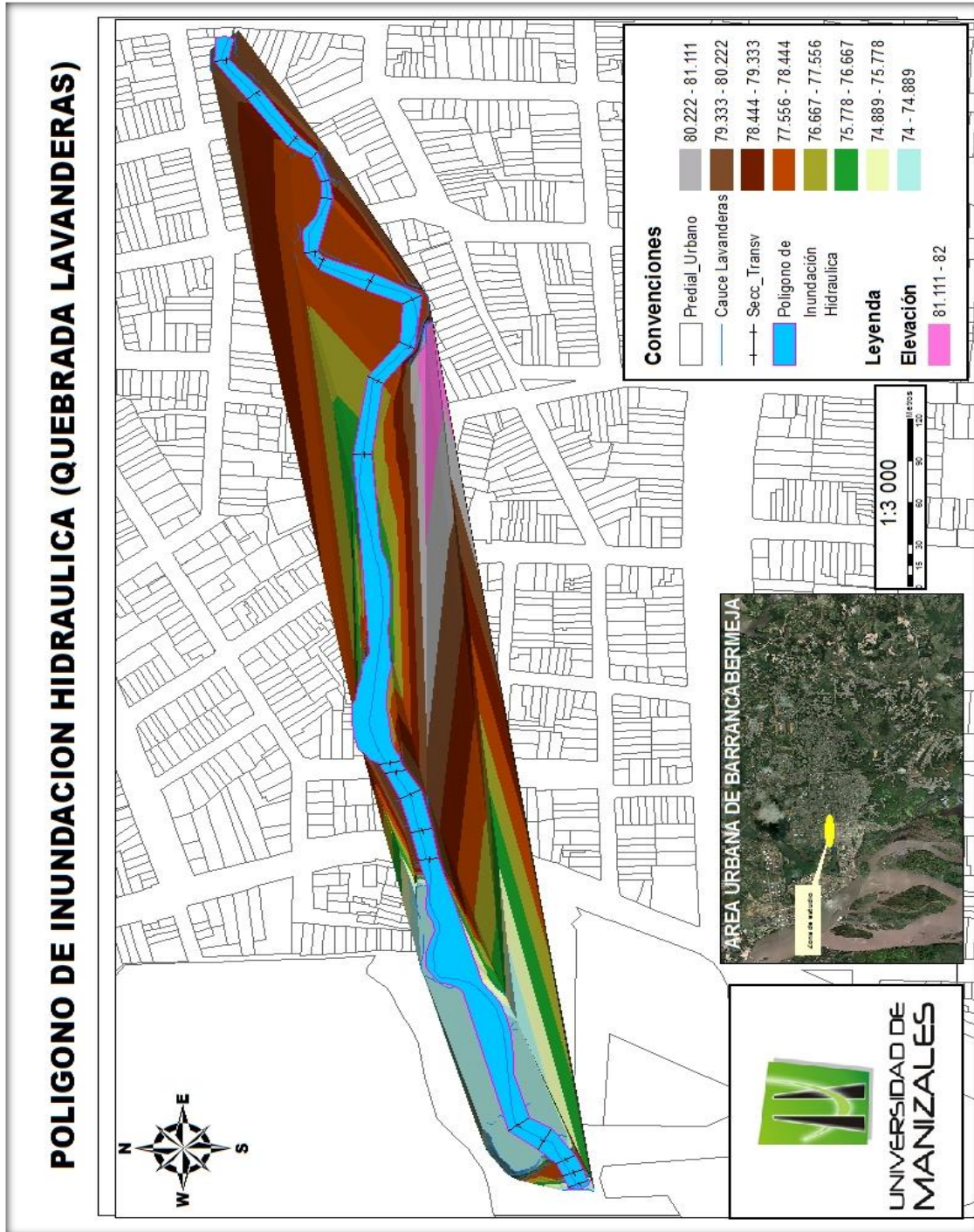
ANEXO D

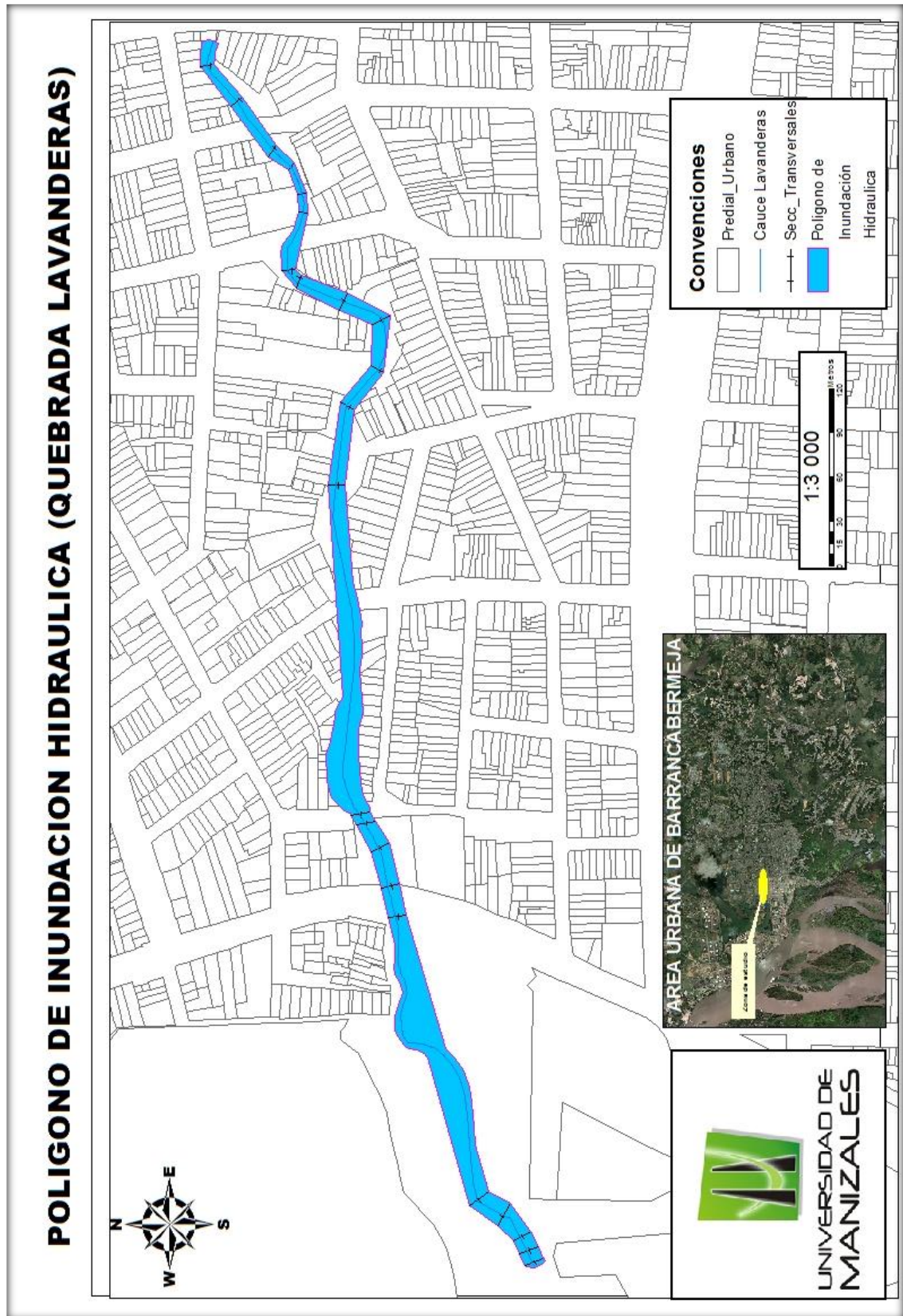
MAPA TEMÁTICO: Polígono de Cauce importado de Hec-Ras / Propiedades Hidráulicas (Quebrada Lavanderas).



ANEXO E

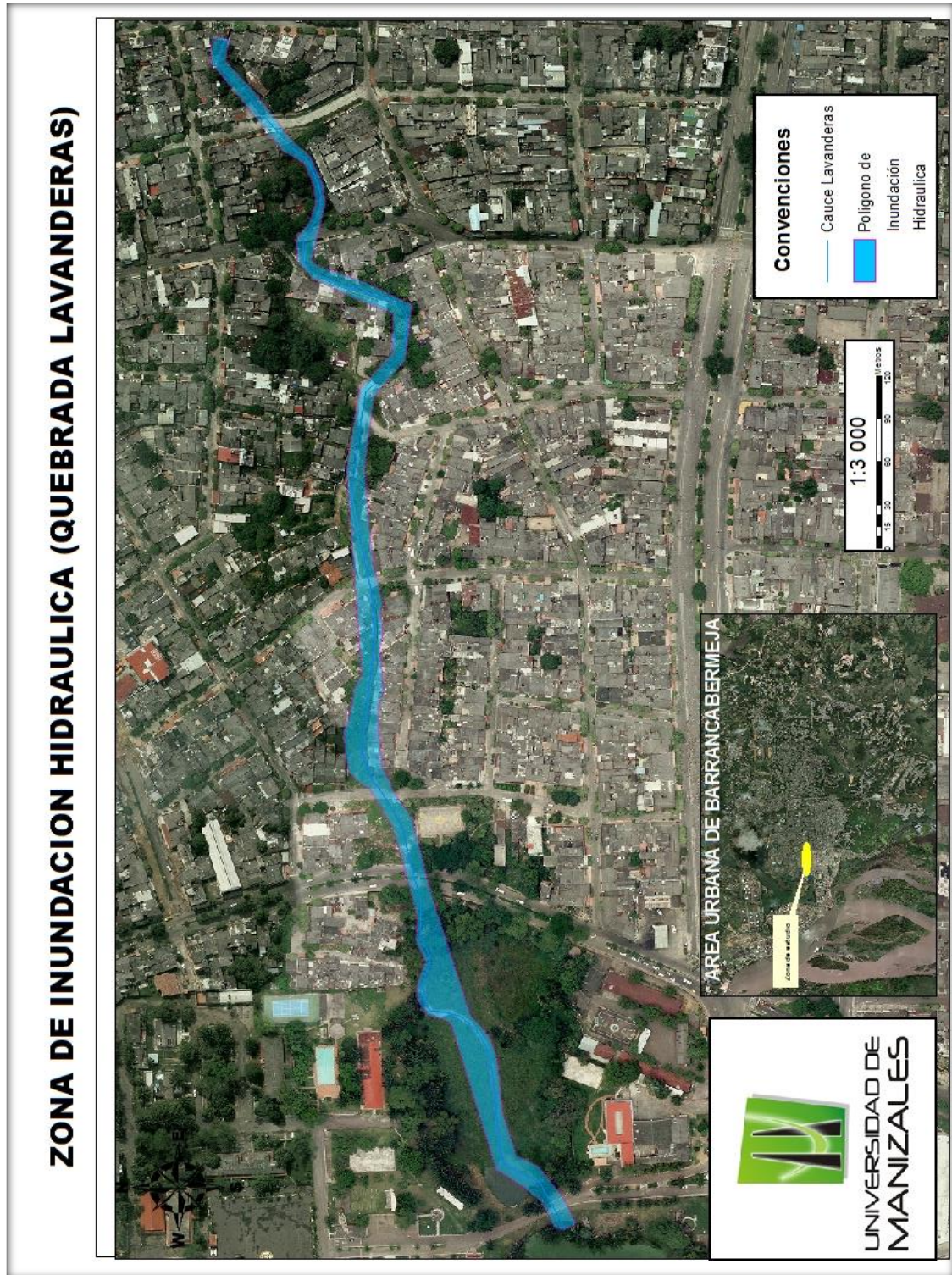
MAPAS TEMÁTICOS: Polígono de Inundación Hidráulica (Quebrada Lavanderas).





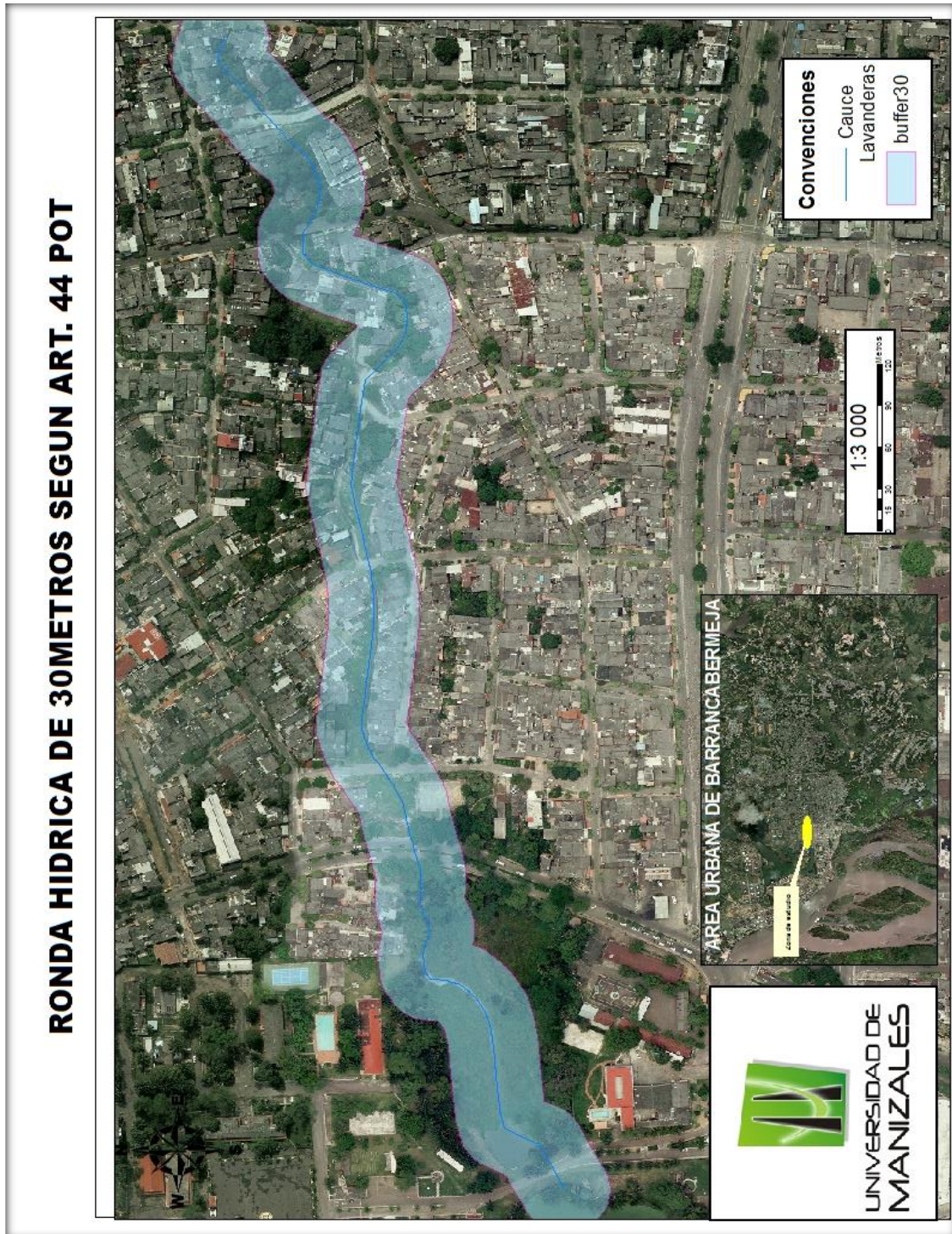
ANEXO F

MAPAS TEMÁTICOS: Zona de Inundación Hidráulica (Quebrada Lavanderas).



ANEXO G

MAPAS TEMÁTICOS: Zona de Inundación, franja hídrica de 30 metros (Quebrada Lavanderas).



ANEXO H RESUMEN ANALÍTICO

Título del proyecto	Demarcación de la nueva franja de ronda hídrica y posible inundación hidráulica según estudios técnicos en la modificación del POT correspondiente a la quebrada lavanderas del municipio de Barrancabermeja-Santander.
Presidente	AMAYA AREVALO, María Fernanda mafamare@gmail.com Ingeniera Civil, Universidad Industrial de Santander.
Tipo de documento	Trabajo de grado
Referencia documento	Amaya Arévalo María Fernanda. Demarcación de la nueva franja de ronda hídrica y posible inundación hidráulica según estudios técnicos en la modificación del POT correspondiente a la quebrada lavanderas del municipio de Barrancabermeja-Santander. Manizales, 2015, Paginas totales (62). Designación de trabajo de grado para especialista en sistemas de información geográfica. Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias e Ingeniería.
Institución	Especialización en Sistemas de Información Geográfica, facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Manizales.
Palabras claves	Lavanderas, SIG, HEC-RAS, ARC-GIS, Caudal, TIN
Descripción	Se Demarcan zonas de inundación por Ronda hídrica de 30metros según el POT de Barrancabermeja (Santander) para la quebrada Lavanderas, en el cuál se realizaron estudios técnicos donde soporta que dicha franja puede reducirse de 8-10 metros. En este proyecto se verifica esta situación modelando el cauce de la quebrada por medio de un software de ingeniería hidráulica (Hec-Ras 4.0) que junto con un software de SIG (Arc-Gis 10.2.1), se obtiene una zona de inundación hidráulica, cuya franja de inundación oscila entre los 8 y 10 metros.

Fuentes	<ul style="list-style-type: none">- Aplicación de la teledetección y los sistemas de información geográfica en la interpretación de zonas inundables. Caso río Soapaga, sector Paz de Río, Boyacá.- Hidrología Aplicada. McGraw-Hill.- Plan de Manejo y Ordenamiento de Rondas Hídricas de las quebradas Camelias y Lavanderas, Documento B Fase Preliminar.- Plan de Manejo y Ordenamiento de Rondas Hídricas de las quebradas Camelias y Lavanderas, Documento C-II Fase Diagnostica.- Evaluación geográfica de áreas susceptibles a inundación en la cuenca del río Tuxpan, Veracruz.- Curso especialización Modelación de Ríos con Hec-Ras y SIG; Régimen permanente 1-D.- Teledetección Aplicada a la reducción de riesgo por inundación.(2008): CONAE, OEA/DSS.
Contenido	<p>El trabajo consta de una introducción, un área problemática, delimitación de la situación presentada, formulación, objetivos y justificación que encabezan el proyecto y dan a conocer a grandes rasgos el problema. Luego se presentan las soluciones primeramente planteando la parte investigativa; con el marco teórico y el estado del arte, posteriormente se presenta la metodología del cómo se puede dar solución a dicha situación (aplicación de métodos, fórmulas matemáticas y software de ingeniería). Por último se presenta los resultados obtenidos que deben reflejar lo requerido en los objetivos, siendo estos las conclusiones. Finalmente se muestra una lista de anexos que hacen parte igualmente del trabajo y lo complementa.</p>
Metodología	<p>Se presenta una fase investigativa-diagnostica donde se recopilan los estudios técnicos, como; cartografía, determinación de curvas intensidad-duración-frecuencia, determinación de caudales y precipitaciones, obteniéndose de la aplicación de fórmulas matemáticas que luego se procesaran en el software de ingeniería como el Hec-ras y el Arc-Gis, resultando los datos esperados (en el presente caso la zona de inundación hidráulica de la quebrada Lavanderas).</p>

Conclusiones

- Se demarca la zona de inundación hidráulica de la quebrada Lavanderas por medio de un polígono de inundación resultante del modelamiento del cauce a través de ArcGis 10.2.1 y Hec-Ras 4.0.
- Se presenta los predios excluidos por la inundación hidráulica en el modelamiento realizado.
- Viabilidad para inversión pública para la zona que anteriormente estaba siendo afectada por la franja de 30 metros expresada en el art.44 del POT.

Anexos

Se realizan anexos desde el numeral A hasta el numeral G, donde se presenta los mapas temáticos resultantes del proceso metodológico tales como; Mapa del Terreno (TIN de profundidad), Mapa de cauce, bancas y líneas de flujo, Mapa de secciones transversales, Mapa del Polígono de cauce importado de Hec-Ras a Arc-Gis, Mapa del polígono de inundación hidráulica, Mapa de zona de inundación hidráulica y Mapa de zona de inundación (30 metros) según el POT de Barrancabermeja.