

**DIAGNÓSTICO DE LOS PROCESOS DINÁMICOS EN EL RÍO FRÍO, DERIVADOS
DEL DESARROLLO URBANO EN EL MUNICIPIO DE CHÍA, DEPARTAMENTO DE
CUNDINAMARCA**



Lady Diana Afanador Torres

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Especialización en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente
Bogotá, Colombia

2019

**“DIAGNÓSTICO DE LOS PROCESOS DINÁMICOS EN EL RÍO FRÍO, DERIVADOS
DEL DESARROLLO URBANO EN EL MUNICIPIO DE CHÍA, DEPARTAMENTO DE
CUNDINAMARCA”**

LADY DIANA AFANADOR TORRES

DIRECTOR:

HÉCTOR ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ

Informe final del trabajo de grado para optar al título de
Especialista en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Especialización en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente
Bogotá D.C, Colombia

2019

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado “Diagnóstico de los Procesos Dinámicos en el Río Frío, Derivados del Desarrollo Urbano en el Municipio De Chía, Departamento de Cundinamarca”, presentado para optar el título de Especialista en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente, cumple todos los requisitos y recibe nota aprobatoria.

Nota: _____

Ing. Héctor Alfonso Rodríguez Díaz, M. Sc.
Director del Trabajo de Grado

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
OBJETIVOS	7
1.1.1 General.....	7
1.1.2 Específicos	7
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
3. GENERALIDADES.....	9
3.1 EL RÍO FRÍO.....	9
3.1.1 GEOLOGÍA	10
3.1.2 ESTRATIGRAFÍA	11
3.1.3 LA TERRAZA FLUVIO-LACUSTRE.....	13
3.1.3.1 SISTEMA ALUVIAL.....	15
3.1.4 HIDROCLIMATOLOGA.....	16
3.1.5 PRECIPITACIONES:.....	16
3.1.6 EL RÍO FRÍO EN EL MUNICIPIO DE CHÍA.....	17
4. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RÍO FRÍO EN SU PASO POR EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE CHÍA	18
4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	19
4.2 ANÁLISIS ENTRE LOS AÑOS 1978 Y 1996.....	20
4.2.1.1 DESCRIPCIÓN DEL USO DEL SUELO ENTRE 1978 y 1996	20
4.2.2 PROCESOS MORFOLÓGICOS AFECTADOS EN EL RÍO FRÍO EN EL CASCO URBANO ENTRE 1978 Y 1996.....	22
4.2.2.1 LLANURA DE INUNDACIÓN.....	22
4.2.2.2 SINUOSIDAD	25
4.2.2.3 CAUDAL DOMINANTE.....	27
4.2.2.4 INTERVENCIÓN DEL CAUCE DOMINANTE ENTRE 1978 Y 1996	27
4.2.2.4.1 TRAMO 1. SECTOR PUENTE DE FONQUETÁ CON AVENIDA CHILACOS	28
4.2.2.4.2 TRAMO 2. SECTOR LA LORENA.....	29
4.2.2.4.3 PENDIENTE DEL SECTOR MODIFICADO TRAMOS 1 Y 2	31
4.2.3 ANÁLISIS DEL PERIODO 1997 - 2007	41
4.2.3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL USO DEL SUELO ENTRE 1997 Y 2007	41
4.2.3.2 MORFOLOGÍA DEL RÍO ENTRE 1997 Y 2007	44
4.2.3.2.1 CAUCE.....	44

4.2.3.2.2	PROPUESTA DE OBRAS HIDRÁULICAS. PERIODO 1997 - 2006	45
4.2.3.2.3	INUNDACIÓN DEL AÑO 2006.....	52
4.2.4	ANÁLISIS ENTRE LOS AÑOS 2007 Y 2017.....	53
4.2.4.1	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL USO DEL SUELO ENTRE LOS AÑOS 2007 Y 2017	54
4.2.4.2	INUNDACIÓN AÑOS 2010 Y 2011	54
4.2.4.2.1	RESPUESTA DE LOS ENTES GUBERNAMENTALES	55
4.2.4.2.2	BOLSACRETOS EN EL SECTOR PUENTE TÍQUIZA.....	57
4.2.4.3	ESTUDIOS POSTERIORES A LA INUNDACIÓN DEL AÑO 2010	59
4.2.4.4	MODIFICACIÓN AL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL. ACUERDO 100 DE 2016	63
5.	CONCLUSIONES	65
	Referencias.....	67

IMÁGENES

<i>Imagen 1. Red de drenajes y ubicación de la subcuenca del río Frío en la cuenca del río Bogotá Ubicación del municipio de Chía (2014). Pomca. Río Bogotá. CAR.....</i>	<i>9</i>
<i>Imagen 2. Perfil del cauce principal de la subcuenca del río Frío (2014). Pomca. Río Bogotá. CAR.</i>	<i>9</i>
<i>Imagen 3. Ubicación de la subcuenca del río Frío en el departamento de Cundinamarca.....</i>	<i>10</i>
<i>Imagen 4. Esquema estructural de la sabana de Bogotá.</i>	<i>11</i>
<i>Imagen 5. Estratigrafía de la cuenca del río Frío</i>	<i>12</i>
<i>Imagen 6. Depósitos aluviales en el municipio de Chía</i>	<i>13</i>
<i>Imagen 7. Ubicación de las estaciones pluviométricas sobre la subcuenca del río Frío.</i>	<i>16</i>
<i>Imagen 8. Isolíneas de precipitación.</i>	<i>17</i>
<i>Imagen 9. Ubicación del río Frío en el municipio de Chía.</i>	<i>18</i>
<i>Imagen 10. Ubicación del río Frío en el casco urbano del municipio de Chía.</i>	<i>18</i>
<i>Imagen 11. Ubicación del sector objeto de estudio.</i>	<i>19</i>
<i>Imagen 12. Área de libre de construcción, costado occidental del casco urbano del municipio de Chía en el año 1978 frente a 1996.</i>	<i>20</i>
<i>Imagen 13. Límite de construcciones entre 1978 y 1996.....</i>	<i>21</i>
<i>Imagen 14. Corte de meandros tras el cierre del botadero (CAR 1991).....</i>	<i>22</i>
<i>Imagen 15. Valle de inundación 1978 vs. 1996.</i>	<i>24</i>
<i>Imagen 16. Valle aluvial (contorno de color verde) y recorrido del río Frío en 1978. Casco urbano, municipio de Chía.....</i>	<i>25</i>
<i>Imagen 17. Valle aluvial (color rosado claro) y recorrido de río Frío en 1996. Casco urbano del municipio de Chía.....</i>	<i>26</i>
<i>Imagen 18. Ubicación del sector y división de tramos, sobrepuesto en aerofotografía de 1978.....</i>	<i>27</i>
<i>Imagen 19. Muestra de la reducción del recorrido del río (tramo 1) entre 1978 y 1996.</i>	<i>28</i>
<i>Imagen 20. Vista de la reducción del recorrido del río (tramo 2) entre 1978 y 1996.</i>	<i>29</i>
<i>Imagen 21. Ampliación del sector con fotografía de 1978, en la que se observa el tramo original (azul) y la rectificación (rojo).</i>	<i>30</i>
<i>Imagen 22. Ubicación de la sección transversal en el tramo 1.....</i>	<i>32</i>
<i>Imagen 23. Sección transversal del tramo 1.....</i>	<i>32</i>
<i>Imagen 24. Sección transversal (HecRas). Sector tramo 1.</i>	<i>32</i>
<i>Imagen 25. Imagen actual del tramo Shapelli.</i>	<i>35</i>
<i>Imagen 26. Ubicación de las secciones transversales del tramo 2 (sector La Lorena).....</i>	<i>35</i>
<i>Imagen 27. Sección transversal, ubicación 1.....</i>	<i>36</i>
<i>Imagen 28. Sección transversal, ubicación 2.....</i>	<i>36</i>
<i>Imagen 29. Sección transversal, ubicación 3.....</i>	<i>37</i>
<i>Imagen 30. Ubicación de la sección transversal del puente variante Chía-Cota.....</i>	<i>38</i>
<i>Imagen 31. Sección vertical, estudio 1. Sector puente variante Chía-Cota.....</i>	<i>38</i>
<i>Imagen 32. Sección vertical estudio 3, sector puente variante Chía-Cota.</i>	<i>39</i>
<i>Imagen 33. Ubicación de canchas y senderos peatonales de conjuntos cerrados en la ronda del río Frío.</i>	<i>42</i>
<i>Imagen 34. Río Frío en el año 1997.....</i>	<i>43</i>
<i>Imagen 35. Perfil de la vía Chilacos, año 2000.</i>	<i>43</i>
<i>Imagen 36. Límite de construcciones entre 1996 y 2007.....</i>	<i>44</i>
<i>Imagen 37. Fotografía del río Frío en la zona intervenida por reducción en la longitud del cauce</i>	<i>45</i>
<i>Imagen 38. Ubicación de las propuestas de jarillones en el río Frío, sector puente Tiquiza.</i>	<i>46</i>
<i>Imagen 39. Sección transversal propuesta. Ubicación E.</i>	<i>46</i>
<i>Imagen 40. Sección transversal propuesta. Ubicación F.</i>	<i>47</i>

<i>Imagen 41. Sección transversal propuesta. Ubicación G.</i>	47
Imagen 42. Ubicación de las propuestas de jarillones en el río Frío entre los puentes Tíquiza y Fonquetá. ...	48
<i>Imagen 43. Sección transversal propuesta. Ubicación C.</i>	48
Imagen 44. Sección transversal propuesta. Ubicación D.....	49
Imagen 45. Ubicación de las propuestas de jarillones en el río Frío entre el puente Fonquetá y la variante Chía-Cota.	49
Imagen 46. Sección transversal propuesta. Ubicación B.	50
<i>Imagen 47. Ubicación de los jarillones propuesta por el estudio Obras de control de crecientes río Frío-Chía</i>	<i>51</i>
<i>Imagen 48. Sección transversal y especificaciones técnicas para la construcción del jarillón.</i>	<i>51</i>
Imagen 49. Fotografía de la inundación que se presentó en Chía en el año 2006.....	52
Imagen 50. Época de comienzo y finalización del fenómeno de La Niña, sabana de Bogotá.....	53
Imagen 51. Fotografías de la inundación que se presentó en el municipio de Chía en el año 2010.	55
Imagen 52. Datos estadísticos de la alcaldía municipal de Chía. Año 2011.	56
Imagen 53. Huella de la inundación del año 2010.....	57
Imagen 54. Fotografía del sector en el año 2006.	58
Imagen 55. Información geográfica de los diferentes tiempos de retorno de las crecientes.....	60
Imagen 56. Cota de inundación a 100 años.	61
Imagen 57. Comparativos de cota de inundación con periodos de retorno de 100 años.....	62
Imagen 58. Áreas que serán adecuadas como expansión urbana.	63

TABLAS

<i>Tabla 1. Datos de los estudios realizados en el año 2003..</i>	33
<i>Tabla 2. Datos de los estudios realizados en el año 2012.</i>	33
<i>Tabla 3. Información final comparada.</i>	34
<i>Tabla 4. Datos de estudios realizados en el año 2003 estudio 1.</i>	40
<i>Tabla 5. Datos de estudios realizados en el año 2012 estudio 3.</i>	40
<i>Tabla 6. Información final comparada.</i>	40

1. INTRODUCCIÓN

A finales del siglo XX se identificaron en la sabana de Bogotá dos procesos interrelacionados y concomitantes: urbanización y modernización. Una urbanización física de crecimiento de las ciudades que se realiza de forma desigual y diferenciada con el desarrollo acelerado de las cabeceras municipales y la suburbanización de áreas antes rurales; y una modernización que introduce “cada vez más, elementos de la racionalidad económica capitalista y técnico-científica en las decisiones y ejecuciones individuales, sociales e institucionales” (Montañez, Arcila, & Pacheco, 1991).

Las actividades económicas de la capital del país trajeron consigo una construcción importante de vivienda unifamiliar, bifamiliar y multifamiliar en los municipios que se encuentran en la sabana de Bogotá, como es el caso de Chía.

Este fenómeno ha propiciado una crisis ambiental, especialmente para los cuerpos hídricos, a pesar de que los planes de ordenamiento territorial pretenden proteger y conservar la estructural ecológica principal; sin embargo, no han sido efectivos, toda vez que su implementación presenta falencias legales, siendo la más relevante la ocupación de zonas de protección como secciones de esparcimiento privadas para los conjuntos y condominios campestres.

Uno de los cuerpo hídrico más importante de Chía es el río Frío, que nace en Zipaquirá, con un recorrido de 14 km en el municipio de Chía, de los cuales 4 km limitan con el casco urbano, en los que han presentado impactos negativos como la limitación de su cauce, la eliminación de su sinuosidad, la construcción de casas en su ronda hídrica, etc., lo cual ha ocasionado que en sus crecientes el río busque su equilibrio, impactando con desbordamientos e inundaciones.

Con el fin de conocer estos impactos se realizó un estudio multitemporal, con información cualitativa y cuantitativa sobre la situación del río Frío durante el periodo comprendido entre 1978 y 2017. La metodología incluye el comparativo de aerofotografías para la generación de imágenes y la utilización de datos, estudios y propuestas de obras en el sector objeto del estudio.

El siguiente trabajo pretende dar a conocer las afectaciones que trae consigo alterar el equilibrio natural de los cuerpos hídricos y sus consecuencias a futuro.

OBJETIVOS

1.1.1 General

Diagnosticar de manera multitemporal cómo algunos procesos dinámicos han afectado al río Frío en su paso por el casco urbano del municipio de Chía, Cundinamarca.

1.1.2 Específicos

- Realizar un comparativo multitemporal de los periodos 1978-1996, 1997-2006 y 2007-2017, mediante aerofotografías, estudios, tesis de grado y obras hidráulicas, para determinar las consecuencias de la construcción de vivienda en el paso del río Frío por el casco urbano del municipio de Chía, Cundinamarca.
- Analizar en detalle el periodo 1978-1996, en el que se produjo la mayor interacción de los procesos dinámicos (construcción de vivienda y migración de población) en el municipio de Chía.
- Determinar las alteraciones y sus consecuencias en la modificación del cauce del río Frío en su paso por el casco urbano del municipio de Chía.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La subcuenca del río Frío pertenece a la cuenca alta del río Bogotá, está ubicada en el centro oriente de la sabana de Bogotá, entre 3700 y 2550 msnm, presenta relieves montañosos ondulados a fuertemente quebrados, con clima frío húmedo y temperatura promedio de 12 °C (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR, 2012).

Desde hace varios años esta subcuenca se ha venido configurando como un lugar dormitorio y centro alternativo de desarrollo urbano por sus procesos de metropolización y urbanización, producto de su cercanía con la capital del país.

La urbanización no sólo es el crecimiento físico de las ciudades, sino también, y fundamentalmente, los cambios de estilo de vida que surgen como efecto del impacto de las ciudades en la sociedad. Es decir, la urbanización física está acompañada de la urbanización económica, social y cultural, pero se realiza en forma desigual y diferenciada en los diversos espacios, actividades económicas y grupos sociales (Fedesarrollo, 1990).

Esta carga no la tenía contemplada la dinámica fluvial del río Frío por el recorrido que hace en la sabana de Bogotá, especialmente en el municipio de Chía, que se caracteriza por ser llanura de inundación, “la cual cumple una función elemental en la amortiguación de caudales máximos y en la recepción de los sedimentos aluviales” (Rodríguez, 2010).

El desconocimiento de esta situación generó consecuencias producto de las alteraciones, que es necesario conocer y orientar para futuros proyectos en un sistema fluvial de similares características.

3. GENERALIDADES

3.1 EL RÍO FRÍO

La subcuenca del río Frío tiene un área de 202 km² y cuenta con un relieve de altas pendientes en el costado occidental y de menores pendientes en la parte baja, cerca de la entrega del río Frío al río Bogotá. Posee buenas condiciones de drenaje, siendo este río un cauce de tipo rectilíneo, distribuido uniformemente en la cuenca y con altas pendientes del cauce entre los 5 y los 15 km de recorrido desde su nacimiento (Minambiente; Minhacienda; Corpornoquia; CAR; Fondo de Adaptación, 2014)

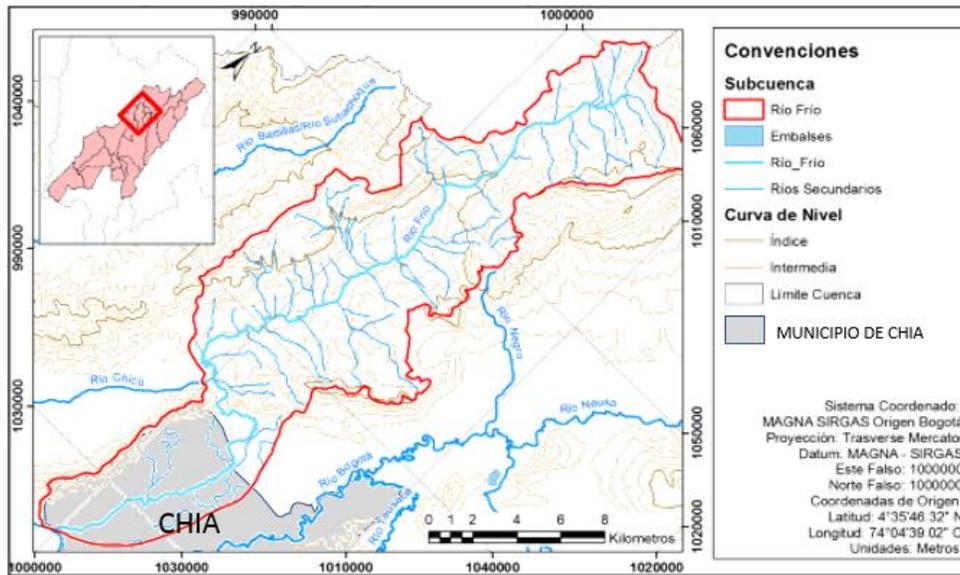


Imagen 1. Red de drenajes y ubicación de la subcuenca del río Frío en la cuenca del río Bogotá. Ubicación del municipio de Chía (2014). Pomca. Río Bogotá. CAR.

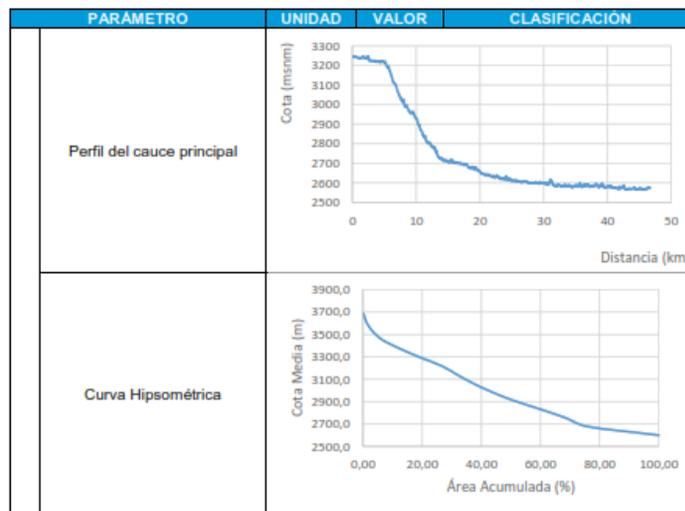


Imagen 2. Perfil del cauce principal de la subcuenca del río Frío (2014). Pomca. Río Bogotá. CAR.

La subcuenca del río Frío comprende parcialmente los municipios de Tabío, Cajicá, Zipaquirá y Chía, y en menor proporción Tenjo, Cogua, Pacho, Cota y Subachoque.

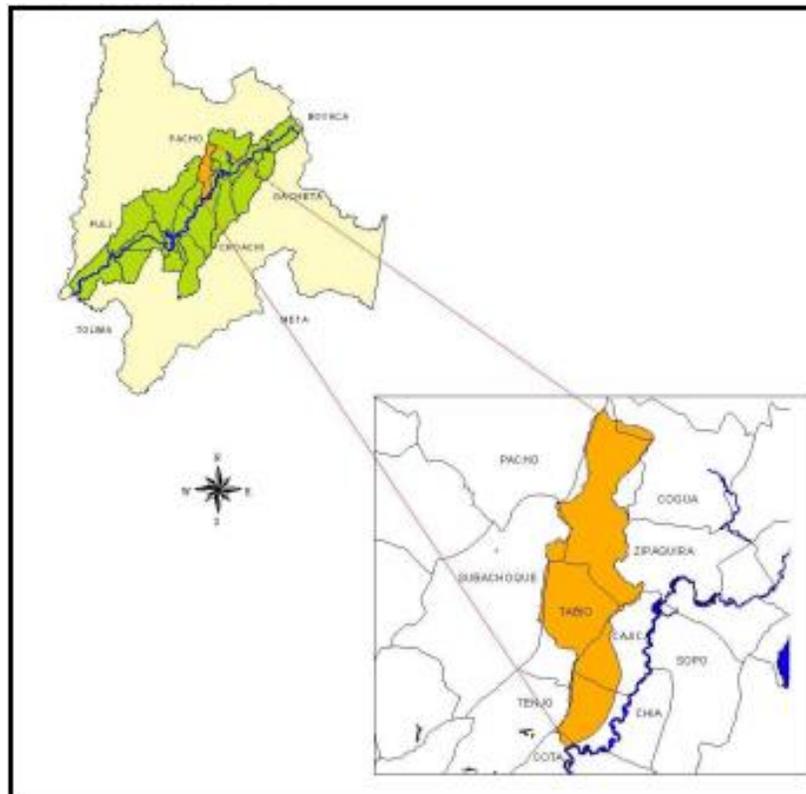


Imagen 3. Ubicación de la subcuenca del río Frío en el departamento de Cundinamarca. Fuente: elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del río Bogotá, subcuenca del río Frío (2120-12).

3.1.1 GEOLOGÍA

“La parte central de la cordillera Oriental se caracteriza por poseer una zona plana, la sabana de Bogotá, y una zona montañosa circundante conformada por unidades sedimentarias de los periodos Cretácico y Paleógeno-Neógeno, cubiertas por depósitos cuaternarios de diverso origen, dispuestas en amplios sinclinales y estrechos anticlinales, cuyos ejes generalmente tienen una dirección NE.

En el sector central de la cordillera se reconocen dos sistemas de fallas: longitudinales con dirección NE y transversales con dirección NW. Las fallas que se observan en la sabana son de tipo inverso con diferentes ángulos de inclinación, en su mayoría de cabalgamiento, y con una dirección de transporte tectónico al SE y NW, según correspondan con el frente principal de cabalgamiento de la Cordillera Oriental o a fallas de retrocabalgamientos, respectivamente (Velandia & Bermoudes, 2002)” (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR, 2012).

Las fallas encontradas en el municipio de Chía, se presentan en las uniones del valle con los cerros orientales y occidentales, como se observa a continuación (imagen 4).

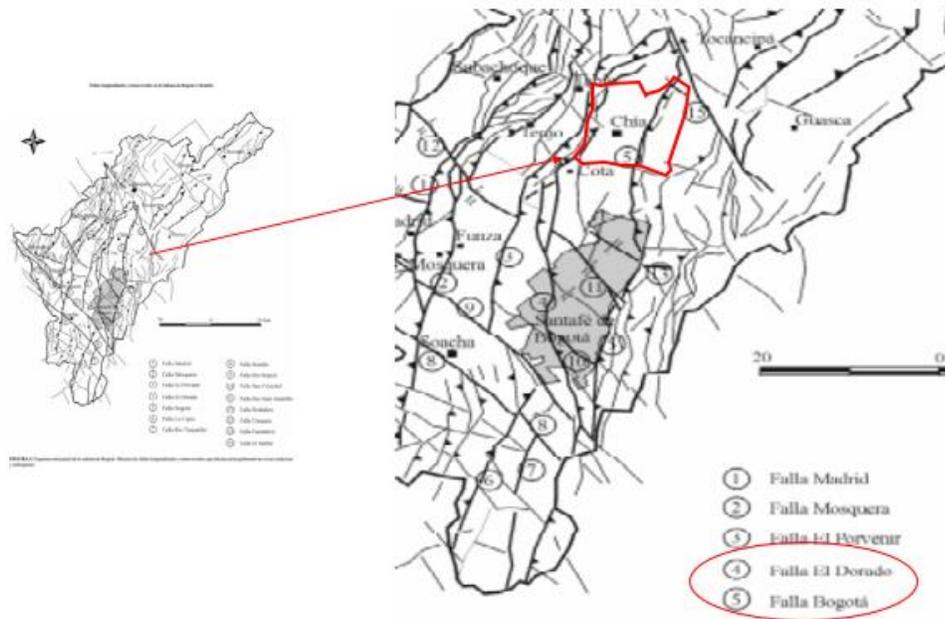


Imagen 4. Esquema estructural de la sabana de Bogotá (Patiño & Bermoudes, 2002).

3.1.2 ESTRATIGRAFÍA

En la subcuenca de río Frío de base a techo afloran unidades litológicas con edades entre el Cretácico y el Cuaternario, correspondiendo a la Formación Chipaque, el Grupo Guadalupe, y las formaciones Guaduas, Cacho, Bogotá y depósitos aluviales. La cartografía geológica es de Ingeominas, correspondiente a la plancha 1:25.000 del Estudio Hidrogeológico Cuantitativo de la Sabana de Bogotá. La nomenclatura litoestratigráfica descrita corresponde a la utilizada por Ingeominas (1969,1996).

También cuenta con depósitos coluviales (Qc), los cuales son de origen hidrogravitacional que se encuentran en las laderas y partes bajas, constituidos por fragmentos angulares a subredondeados con matriz areno lodosa (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR, 2012).

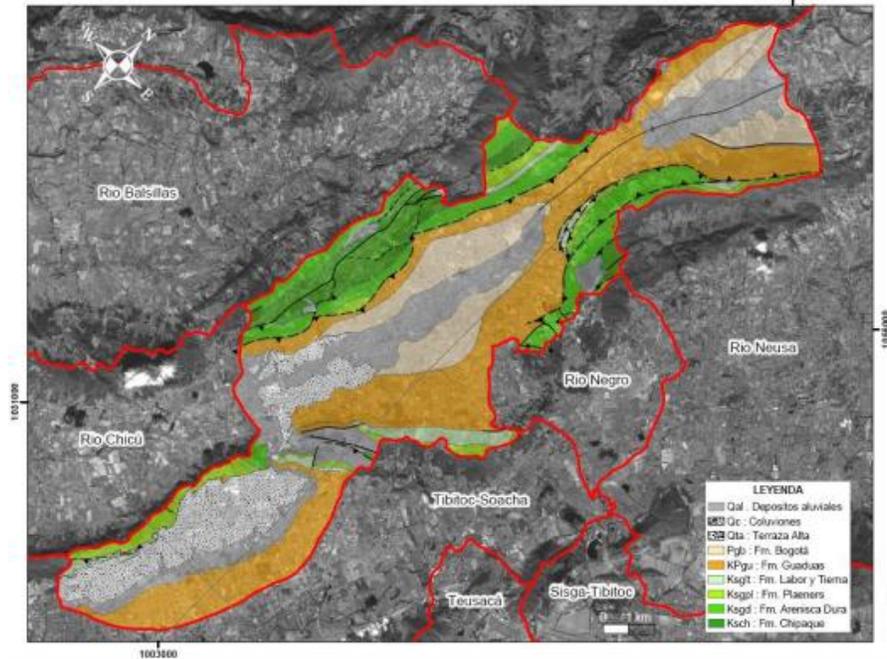


Imagen 5. Estratigrafía de la cuenca del río Frío. Fuente: Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del río Bogotá, subcuenca del río Frío, 2120-12.

De acuerdo con la información obtenida por el estudio de la CAR, “Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del río Bogotá, subcuenca del río Frío, 2120-12”, se identificaron las formaciones que se encuentran en el municipio de Chía.

- Formación arenisca dura

Son areniscas del periodo Coniaciano, que clasificados como cuarzodiolitas. Se presentan con fuertes escarpes especialmente en el páramo Guerrero y el pantano Redondo. Presenta tonos grises. Desde el punto de vista geotécnico son de carácter estable y masivo.

- Formación Plaeners

Son rocas predominantemente arcillosas, con interrelaciones de areniscas y liditas. Morfológicamente se caracterizan por desarrollar áreas deprimidas en contraste con las areniscas de Guadalupe. Presentan taludes estables y constituyen una buena fuente de materiales para afirmados.

- Formación arenisca Labor

Está formada por arenisca en algunas ocasiones friables, de menor grado de litificación que la arenisca dura. Geotécnicamente presenta cortes estables, cuando estos se efectúan perpendicularmente a las capas (Quijano González, 2012).

- Depósitos de Terraza Alta (Qta)

Litológicamente están compuestos por guijarros y arenas gruesas a finas de arenisca y cuarzo alternando con arcillas y limos de color marrón. Su expresión morfológica corresponde a terrazas con 15 metros de espesor. Su edad es Pleistoceno – Holoceno y está expuesta en un área de 2378.04 ha. en las veredas Río Frío Oriental, Fagua, Fonquetá, Tíquiza y el Salitre.

- Depósitos aluviales (Qal)

Aflora en el norte y sur en el núcleo del sinclinal de río Frío sobre la vereda Tíquiza y el municipio de Chía. Compuesto por depósitos fluvio-lacustres de material no consolidado, el área de exposición en esta subcuenca es de 3732,22 ha, aflorando en las veredas Venta Larga, San Isidro, Río Frío, Alto del Águila, Barro Blanco Fagua, Fonquetá y Tíquiza.

Los depósitos aluviales del sector se observan a continuación en color azul rey claro.

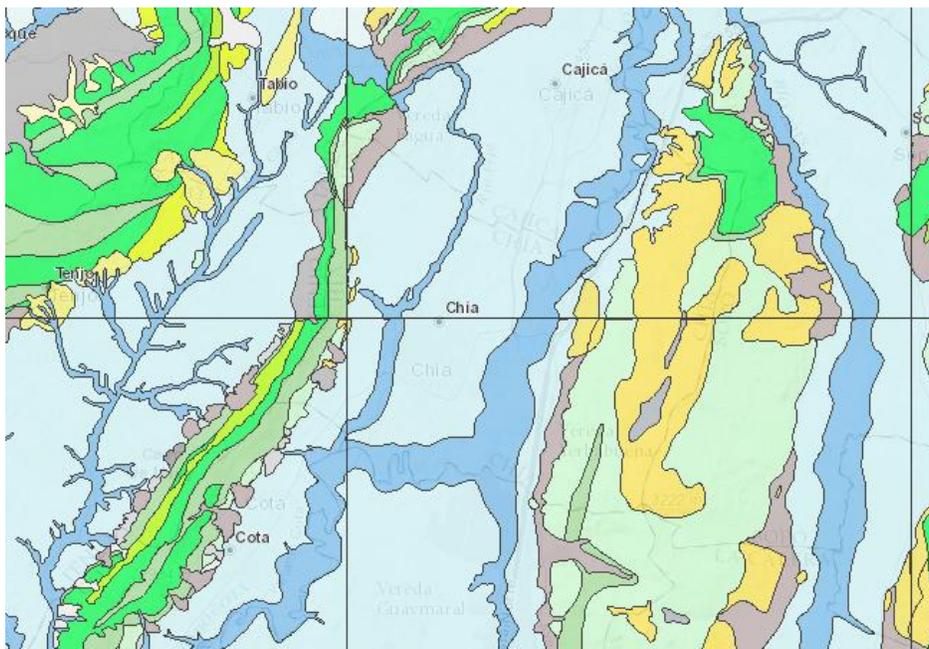


Imagen 6. Depósitos aluviales en el municipio de Chía. Fuente: www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=21311057a63f46779be8893741e10938.

3.1.3 LA TERRAZA FLUVIO-LACUSTRE

El desecamiento del lago del altiplano permitió la continuidad de la red de drenaje hacia las partes más centrales, organizando sus cauces mediante una disección muy superficial. Por esta razón, los sedimentos lacustres y fluvio-lacustres se encuentran hoy en posición de terraza, sedimentos que en su parte superior integran la Formación Sabana (Van Der Hammen & Helmes, 1995).

Para el documento *Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del río Bogotá, subcuenca del río Frío, 2120-12*, En este sistema se identifican las siguientes características principales:

“- Composición arcillosa con arenas y gravillas, incluyendo arcillas turbosas. En los contactos con las áreas montañosas la pendiente adquiere un perfil cóncavo suave, por los aportes laterales de granulometría un poco más gruesa”.

- La pendiente, de apariencia plana, muestra valores del orden del 0,20 %, con discontinuidades menores de tipo zural, relacionadas con retracción de arcillas y montículos resaltados por macollas de pasto. También aparecen ondulaciones por compactación (baches).

- El uso principal es en pastos, seguidos por la agricultura. En este último caso, el proceso principal es la saltación pluvial que participa en la desagregación de los suelos.

- El límite entre la terraza lacustre y el cauce mayor del río Frío lo constituye el talud de disección, que el talud progresa hacia formas de disección menores de tipo cárcava, y a su vez se proyectan en túneles identificables en campo como depresiones ligeras sin rupturas en el suelo.

- No se identifica una disección activa en la terraza lacustre. En relación con las lluvias, se presentan encharcamientos.

Sistemas en formaciones coluviales y coluvio-aluviales

El río Frío fluye, como corriente anticlinal, por el sinclinal de río Frío y, parecería que su cauce fue continuo alguna vez, siguiendo el valle de lo que hoy es el río Chica. El río Frío se desvía al este por una falla, dos kilómetros al norte de Tabío, en el sitio el Recodo. La divisoria entre los dos ríos se hace con depósitos lacustres y es muy baja, es el nivel del altiplano. La última fase lacustre (del lago del altiplano) empezó su descenso (deseccamiento) hace unos 40.000 años en las partes marginales y unos 28.000 años en la parte central (Van Der Hammen & Helmes, 1995). La divisoria entre los ríos Frío y Chica (en el Recodo) es en la parte marginal del lago y una vez que éste empezó su descenso el río pudo simplemente adaptar su curso a la falla transversal preexistente.

Antes del Recodo, el río Frío construyó un cono de deyección que continúa a la salida de la garganta hacia el altiplano, al occidente de Cajicá, antes de retomar su curso al suroeste. Como cono, es muy estrecho y no tiene la forma típica; sin embargo, los materiales sí lo son: cantos subredondeados a redondeados en matriz de gravilla, arena e incluye materiales más finos.

La pendiente no supera los 5° y se observa una disección (por el río Frío) del orden de 2 m. de profundidad, disección que es superior a la que presentan otros ríos en su cono, como el Neusa.

Como todos los conos, el cono del río Frío se ubica en un cambio de pendiente hacia la depresión sedimentaria. El uso dominante son pastos y cultivos y no se observan impactos evidentes en las formas y procesos por estas actividades, lo que permite suponer una dinámica muy discreta. Las pequeñas irregularidades en la superficie del suelo, sin llegar a presentar rupturas, indican una reptación lenta”.

3.1.3.1 SISTEMA ALUVIAL

Así mismo, el *Diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del río Bogotá, subcuenca del río Frío, 2120-12*, informa lo siguiente

“... en cuanto a los sedimentos aluviales, que por razón de la escala fueron cartografiados, se encuentran a lo largo del río Frío desde su salida del cono aluvial (occidente de Cajicá) hasta su desembocadura en el río Bogotá. Helmens (1990) clasificó estos sedimentos como parte de la Formación Chía, de edad principalmente holocena.

En esta parte baja del río Frío, los aluviones son básicamente arcillas y limos de inundación, seguidos por arenas y gravas finas, depositados en lo que se define como valle mayor.

En este sistema los encharcamientos por lluvia son estacionales y los desbordes hacia el valle mayor son frecuentes también, pues el valle mayor contiene las cubetas inundables. Aquí se encuentran humedales, aunque en su mayoría no funcionan como tales y se consideran como residuales, pues han sido modificados para labores agropecuarias. Entre las modificaciones se destacan el aumento en la altura de los diques aluviales con acumulación de escombros y el uso con pastos en la cubeta (humedal)

La separación entre los depósitos aluviales y el cauce menor o río actual está definida por diques aluviales de poca altura (1 a 2 m. aprox.).

El río Frío, abajo de Cajicá, muestra sinuosidades pequeñas de tipo meandro, pequeñas comparadas con el río Bogotá. Esto se debe a las diferencias en el gradiente de la pendiente: 0.04 para el río Bogotá, 0.20 % en el río Frío y 0.11 % en el río Neusa. En la parte media del río Frío no hay meandros, puesto que la pendiente es del orden del 0.54 %.

En el tramo de la parte baja, aguas arriba de la población de Chía y paralelo al río Bogotá, el cauce del río Frío se ubica del lado izquierdo junto al talud de disección de la terraza fluvio-lacustre. Esta posición y la baja altura del talud (del orden de 1 m) hacen que este tramo sea muy susceptible a los desbordes en momentos de crecidas. Aproximadamente 1 km arriba de Chía el río trata de girar al lado derecho dentro del valle mayor y es el punto crítico

de desbordes hacia la terraza. Al respecto, el día 5 de mayo de 2006, luego de fuertes precipitaciones, ocurrió este evento con inundación de algunos barrios de Chía”.

3.1.4 HIDROCLIMATOLOGA

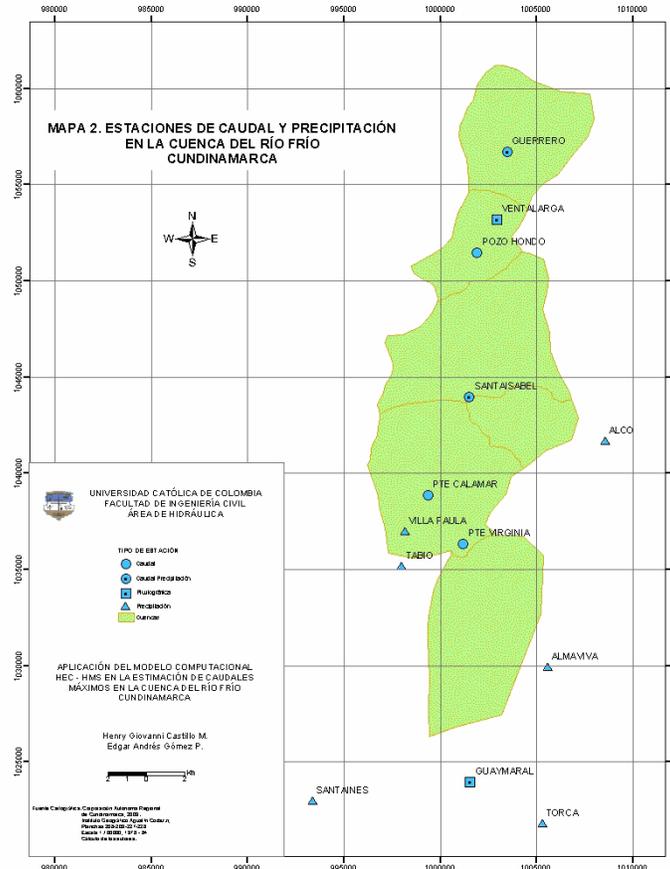


Imagen 7. Ubicación de las estaciones pluviométricas sobre la subcuenca del río Frío. Fuente: *Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del río Bogotá, subcuenca del río Frío, 2120-12.*

En la cuenca media alta, en los municipios de Zipaquirá y Subachoque principalmente, entre las cotas 2.500 y 2.800 msnm, los valores varían entre 9 y 12 °C. Finalmente, las partes bajas de la subcuenca, en los municipios de Chía y Cota, presentan valores que fluctúan entre 12 °C y los 15 °C. La temperatura media en la subcuenca, es de aproximadamente 12 °C. (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR, 2012)

3.1.5 PRECIPITACIONES:

La precipitación media multianual en la hoya del Río Frío, varía desde los 1200 mm, en la Laguna de Pantano Redondo, hasta los 800mm en la zona de Chía, como puede apreciarse en la siguiente imagen. Su precipitación media multianual es de 1050 mm.

La variación intra-anual de la precipitación se caracteriza por tener dos épocas lluviosas; una en Abril – Mayo y otra en Octubre – Noviembre, siendo mayor ésta última y dos períodos secos; Diciembre, marzo y Junio –Septiembre, notándose mayor intensidad en el primero.

La humedad relativa oscila en promedio del 78%, en la parte baja y 81% en la parte alta.

La velocidad media del viento en la zona es de 1.7 m/s. (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR, 2012)

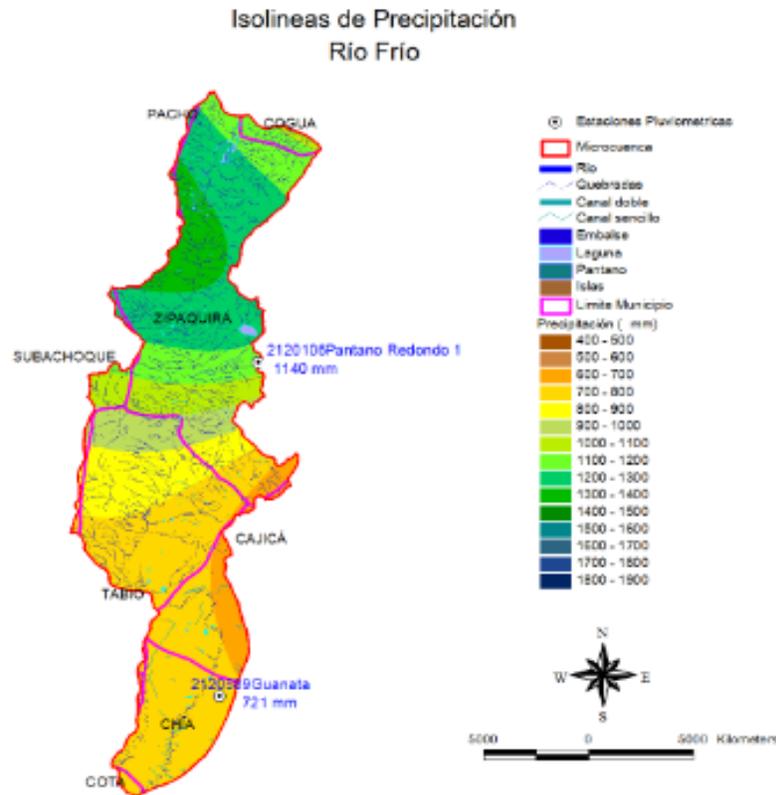


Imagen 8. Isolíneas de Precipitación. Fuente. *Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del río Bogotá, subcuenca del río Frío, 2120-12.*

3.1.6 EL RÍO FRÍO EN EL MUNICIPIO DE CHÍA

En su paso por el municipio de Chía, el río Frío se encuentra en su etapa de madurez, ya que desemboca en el río Bogotá. La subcuenca tiene un recorrido de 14,23 km, que comienza en límites con Cajicá y termina en límites con la localidad de Suba, en Bogotá.

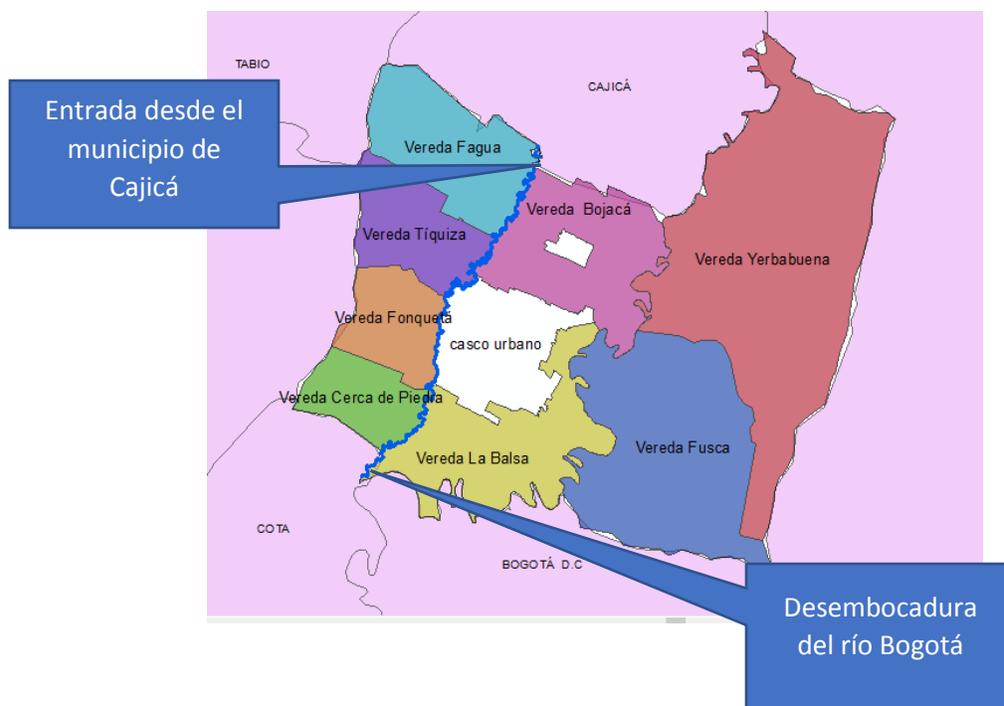


Imagen 9. Ubicación del río Frío en el municipio de Chía. Fuente Propia

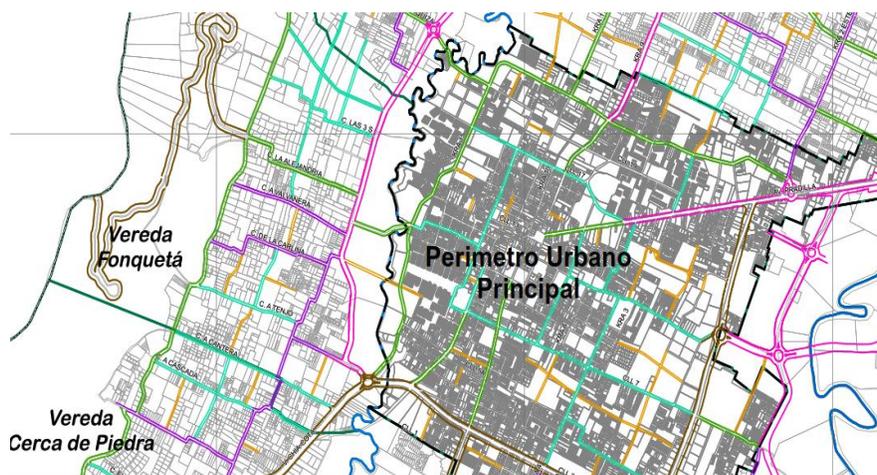


Imagen 10. Ubicación del río Frío en el casco urbano del municipio de Chía. Fuente. elaboración propia.

El río Frío se desplaza por el costado occidental del casco urbano del municipio, con un recorrido de 4,23 km. Este tramo se estudia en el presente trabajo de grado.

4. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RÍO FRÍO EN SU PASO POR EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE CHÍA

Este análisis multitemporal se realizó con información obtenida de la alcaldía municipal de Chía, para lo cual se contó con aerofotografías de los años 1978, 1996, 2006 y 2010, y

fotografías con una escala de 1:1000, que se considera buena resolución para este tipo de análisis y permite obtener información clara y veraz. Además, para analizar información de los últimos años se utilizó fotografía satelital de googleearth del año 2017.

Con base en esta información se hizo una descripción multitemporal y un estudio profundo de algunas zonas, en las que los cambios que sufre el río en su recorrido son de mayor magnitud.

4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona en la que se realizó el estudio multitemporal se encuentra en el municipio de Chía, específicamente en la interacción del río Frío con el casco urbano. En la siguiente figura se ubica la zona espacialmente (imagen 11).



Imagen 11. Ubicación del sector objeto de estudio. Fuente: elaboración propia (2010).

El río inicia su recorrido por el casco urbano de Chía en el conjunto residencial Santa María del Río, ubicado en el costado noroccidental. Las coordenadas geográficas de este punto son las siguientes:

X: 1001902.Y: 1030609.

El punto final del recorrido es el puente de la variante Chía-Cota, cuyas coordenadas geográficas son las siguientes:

X: 1001105.Y: 1028587.

Este sector presenta un proceso dinámico intenso, razón por la cual se utilizaron aerofotografías por tramos de épocas, para determinar la afectación a los procesos morfológicos del río Frío en su paso por el casco urbano.

4.2 ANÁLISIS ENTRE LOS AÑOS 1978 Y 1996

Para realizar esta comparación se utilizaron aerofotografías, mapas y datos que brindan un detalle de la afectación negativa del río Frío, producto de la interacción del ser humano tanto en la cuenca como en su cauce permanente.

4.2.1.1 DESCRIPCIÓN DEL USO DEL SUELO ENTRE 1978 y 1996

De acuerdo con la información obtenida de la aerofotografía del año 1978, el casco urbano se encontraba retirado del cauce del río Frío por 535,78 m. Tras realizar un acercamiento de la imagen se pudo constatar que este sector tenía una vocación agrícola y pecuaria. Los procesos de urbanización que se iniciaron en 1984 tenían como propósito proveer vivienda a las personas que trabajaban en actividades de floricultura, lo cual ya era una problemática por el rebotamiento económico y demográfico del municipio, y contribuyó a acelerar la construcción de vivienda para esta población en particular (Fedesarrollo, 1990).

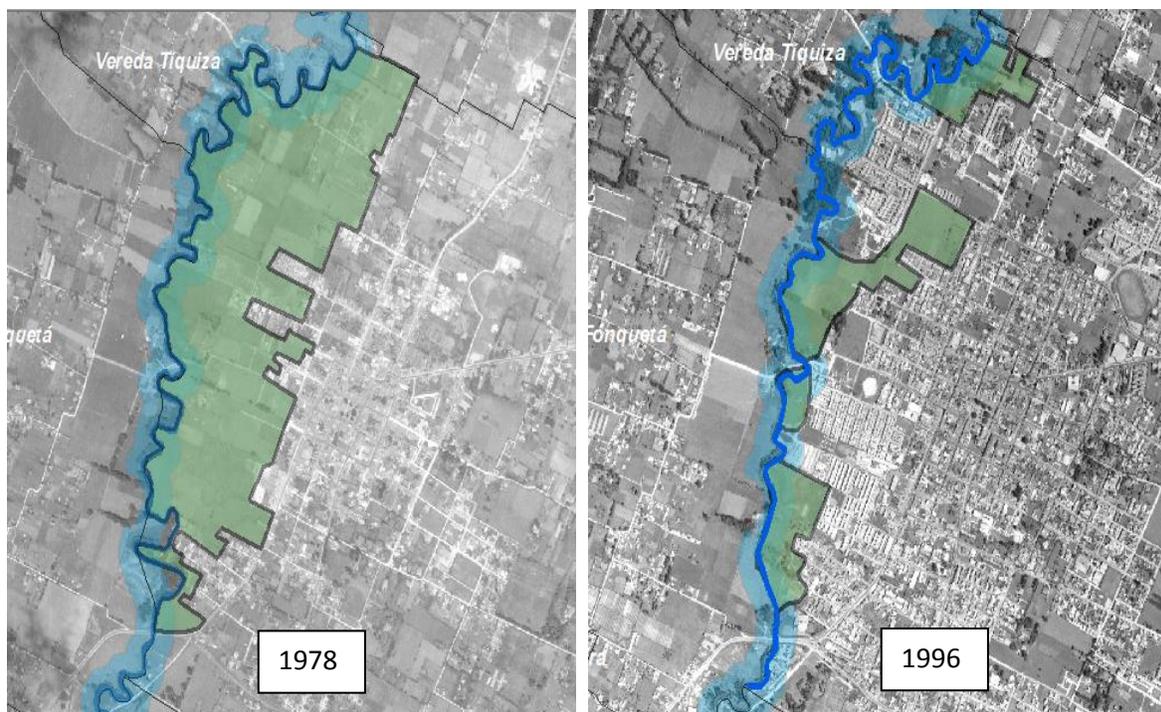


Imagen 12. Área de libre de construcción, costado occidental del casco urbano del municipio de Chía en el año 1978 frente a 1996. Fuente: elaboración propia.

En 1978 existían 90 ha sin construir, de las cuales sólo quedaron 30 en 1996, lo cual significa una construcción del 67 % de esta área.

Con base en los datos del *software* Arc Map 10.4, la aerofotografía del año 1996 muestra cerca de 1.000 edificaciones, de las cuales el 90 % corresponden a viviendas de interés social.

Estas viviendas se construyeron en el valle de inundación que utilizaba el río Frío como amortiguación en tiempo de crecidas, lo cual no se tuvo en cuenta ni tampoco se dimensionó hasta la temporada invernal del año 2006, de la que se hablará más adelante, en el periodo 1997-2007.

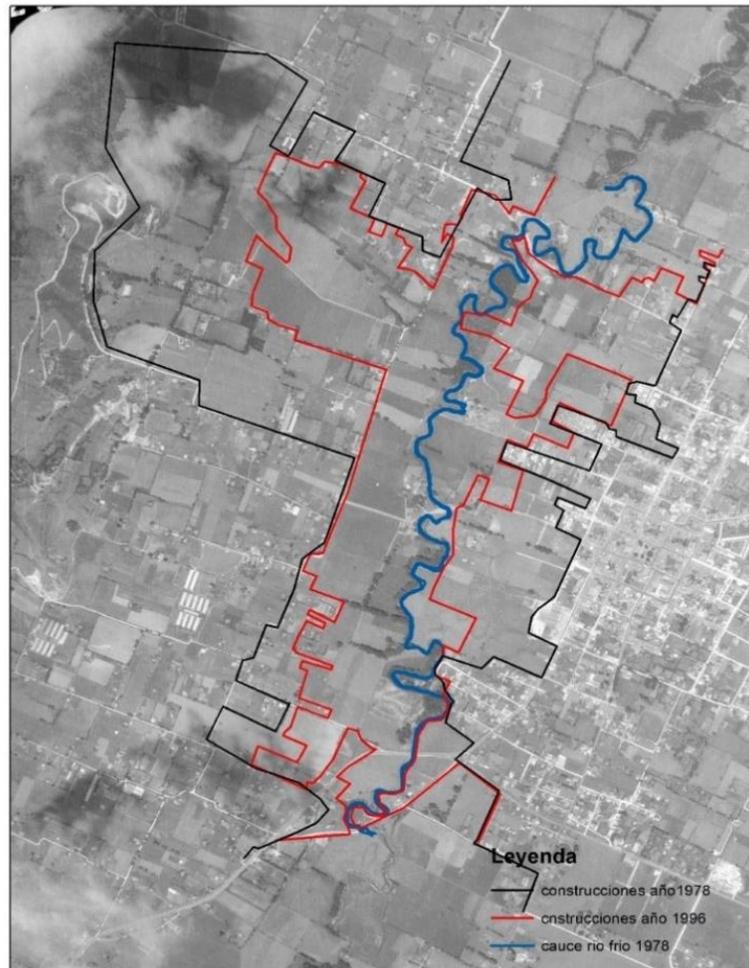


Imagen 13. Límite de construcciones entre 1978 y 1996. Fuente: elaboración propia.

En la anterior imagen se puede observar el límite de construcciones en el año 1978 a los dos costados del río, frente a la línea de color rojo que marca el límite de construcciones para 1996.

La construcción se amplió aproximadamente en 190 ha en 18 años, que representa una carga muy fuerte para la morfología del río. Así mismo, se puede evidenciar la constricción al cuerpo hídrico.

Con el fin de identificar la afectación a los procesos morfológicos del río, a continuación, se trata cada uno de ellos.

Para esos años los urbanizadores ya estaban proponiendo la canalización del río Frío, con el fin de darle más cabida al desarrollo vial del municipio y responder a la solicitud de los ribereños preocupados por las inundaciones. Igualmente, se hizo la solicitud en 1993 a la CAR, porque el río estaba prácticamente convertido en una cloaca, en la que se estancaba el agua y producía mal olor (Soler López, 2018).

Cabe resaltar que Chía tenía en este sector el botadero municipal, que se cerró en 1990. Este cierre permitió desarrollar las viviendas mencionadas.

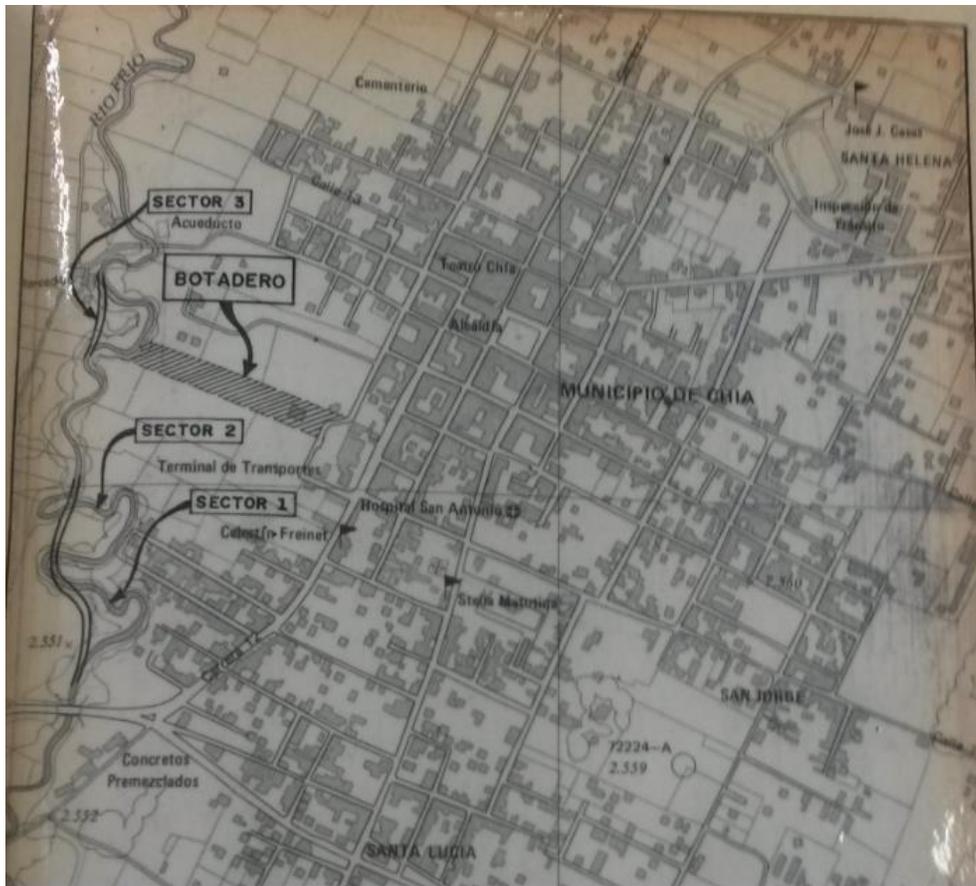


Imagen 14. Corte de meandros tras el cierre del botadero (CAR 1991). Fuente: Soler López, 2018.

4.2.2 PROCESOS MORFOLÓGICOS AFECTADOS EN EL RÍO FRÍO EN EL CASCO URBANO ENTRE 1978 Y 1996

4.2.2.1 LLANURA DE INUNDACIÓN

El valle del río Frío se formó después de la desaparición de la Gran Laguna de la Sabana hace 30.000 años, quedando expuesta la superficie del antiguo fondo con sedimentos de laguna,

y los ríos que antes desembocaban en ella comenzaron a correr sobre la superficie y a cortar su lecho en estos sedimentos. Los valles en principio son inundables durante épocas de lluvia, con bosques especialmente de alisos que son reguladores del agua de inundación. Adicionalmente, la mayor parte de los humedales contienen pantanos abiertos de juncos y eneas, que permiten mantener agua más o menos estancada a su nivel o encima de éste, a través de lagunas o chucuas (Van Der Hammen, 1998).

Así mismo, la llanura de inundación corresponde a regiones planas y amplias sujetas a la dinámica de los ríos y las inundaciones periódicas. Su compleja morfología resulta de la migración lateral de los ríos principales y los procesos de desborde, que aportan agua y sedimentos a la llanura. El ancho de una llanura de inundación está en función del caudal del río, de la pendiente longitudinal del valle y del cauce, de las características geológicas y de la tasa de erosión.

Las llanuras de inundación cumplen una función vital en los ríos, ya que amortiguan los caudales máximos en tiempos de lluvias y reciben sedimentos aluviales, aparte de que son las más extensas planicies de depósitos (Rodríguez, 2010).

En general, estas llanuras de inundación resultan de la interacción de tres factores:

- Desborde de los ríos.
- Encharcamiento por lluvias locales.
- Escorrentía lateral provenientes de las laderas cercanas (Rodríguez, 2010).

De acuerdo con lo anterior, se puede establecer que el río Frío en su recorrido por el casco urbano del municipio de Chía tiene una llanura de inundación importante, en la cual existe un cauce aluvial con dimensiones, forma y pendiente de cauce establecidos, que por los cambios de las actividades económicas causaron una variación en su morfología.

Otra característica de los valles de inundación es que este proceso morfológico es característico en la madurez de un río, en la que generalmente se propician meandros debido a sus bajas velocidades.

Para este periodo la llanura de inundación del río Frío en el municipio de Chía no tuvo cambios significativos en su área, pero sí un cambio drástico en el uso del suelo, el cual no tiene compatibilidad con la función estratégica del valle; al contrario, genera afectaciones, ya que el río no reconoce las construcciones y sigue realizando su labor de nutrición e inundaciones.

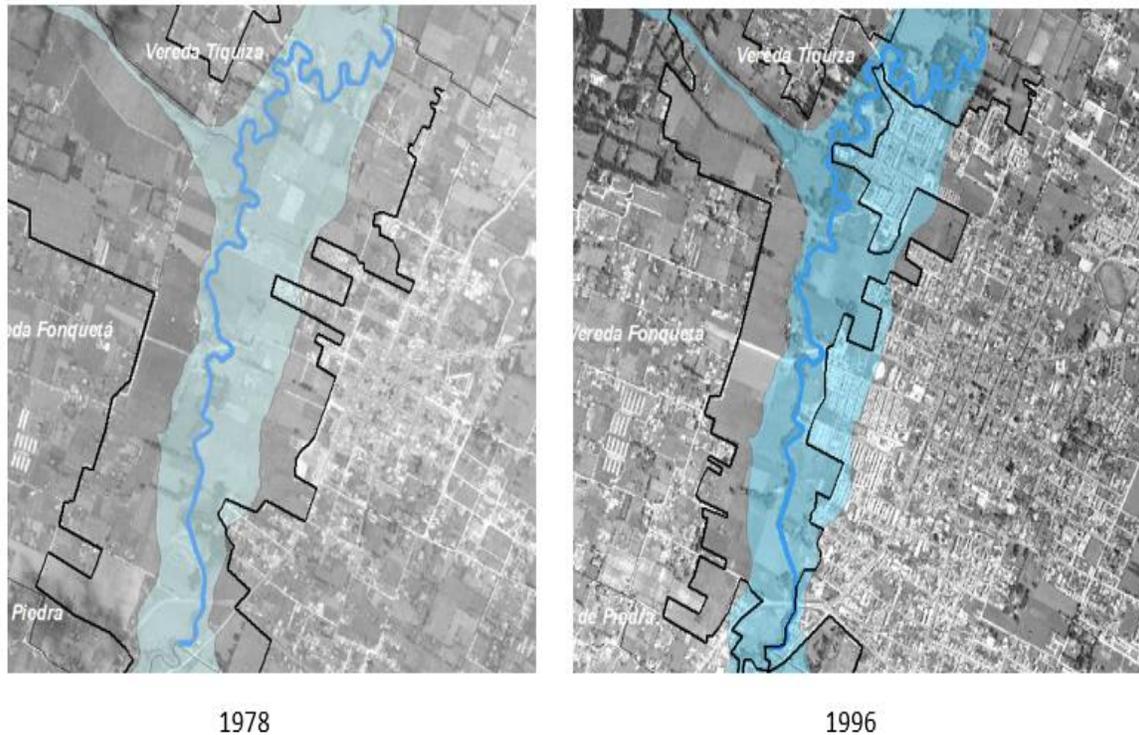


Imagen 15. Valle de inundación 1978 vs. 1996. Fuente: elaboración propia.

La anterior imagen permite observar el grado de interacción humana con el río Frío entre 1978 y 1996 en el valle de inundación. En 1978 existía un valle de inundación sin interacción, salvo para actividades agropecuarias. Ya para 1996 se puede observar la afectación al valle por la construcción de viviendas, en la que se desconoció un sector necesario para el desborde y amortiguación de crecidas, necesario para equilibrar su energía en temporada de crecidas.

Esta situación se legitimó mediante la normativa urbanística vigente de los años 1984 y 1996, demostrando un deficiente marco normativo para la protección del valle aluvial.

De acuerdo con información del programa ArcMap 10.4, se puede concluir que entre 1978 y 1996 se construyeron 32 ha de conjuntos, urbanizaciones, condominios y vías de acceso en la llanura de inundación del río Frío, en su paso por el casco urbano de Chía.

Otra consecuencia que trajo la afectación negativa al valle de inundación es la reducción en el proceso de meandrificación, mediante la erosión y sedimentación simultánea en sus propias orillas (Ochoa, 2012). Este proceso es muy importante para la llanura aluvial porque favorece el desarrollo de coberturas vegetales y genera suelos fértiles.

4.2.2.2 SINUOSIDAD

La sinuosidad es la relación entre la longitud del tramo de un río, medida a lo largo de su eje, y la longitud del valle a lo largo de una línea recta que conecta los extremos del tramo (Ochoa, 2012).

En 1978 el cauce del río Frío en el sector urbano tenía un comportamiento meándrico, lo cual se puede evidenciar a través de las curvas propias de esta situación en forma de S, característica que se produce debido a la baja velocidad que lleva el cauce predominante.

Con el fin de realizar un comparativo de la pérdida de recorrido del cauce del río Frío para este año se utilizó la relación que se obtiene entre la longitud del cauce principal y la del valle aluvial.

Ecuación 1.
$$S = L_T / L_V > 1,5$$

S= sinuosidad.

Lt= longitud del cauce en el tramo.

Lv= longitud del valle aluvial en el tramo.

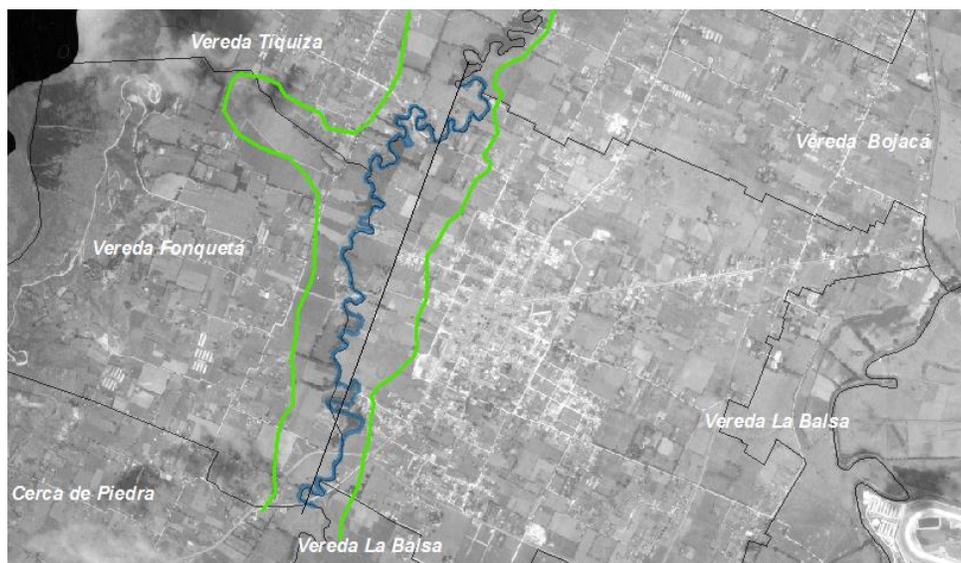


Imagen 16. Valle aluvial (contorno de color verde) y recorrido del río Frío en 1978. Casco urbano, municipio de Chía. Fuente: elaboración propia.

Para obtener esta información se tomó el contorno del valle aluvial de 1978, con datos suministrados por las planchas curvas de nivel IGAC, 1978.

Con la plancha topográfica de este mismo año y la incorporación de la aerofotografía en el *software* ArcMap 4.1 se obtuvo la siguiente información:

- Longitud del río Frío por el thalweg, de tramo en estudio para 1978: **5.709 m.**
- Longitud del valle de inundación del tramo en estudio para 1978: **2.694 m.**
- Sinuosidad año 1978: $\frac{5709}{2694} = 2,12$ mayor a 1,5 cauce meándrico.

Para 1996 se adicionó la cobertura Shp Geomorfología de 2010 (se utilizó esta cobertura, ya que desde 1996 no se conocen cambios drásticos que afecten las zonas geomorfológicas) y aerofotografía de 1996, con lo cual se obtuvo lo siguiente:

- Longitud del río Frío por el thalweg del tramo en estudio para 1996: **4.313 m.**
- Longitud del valle de inundación del tramo en estudio para 1996: **2.567 m.**
- Sinuosidad año 1996: $\frac{4313}{2567} = 1,68$ mayor a 1,5 cauce meándrico.

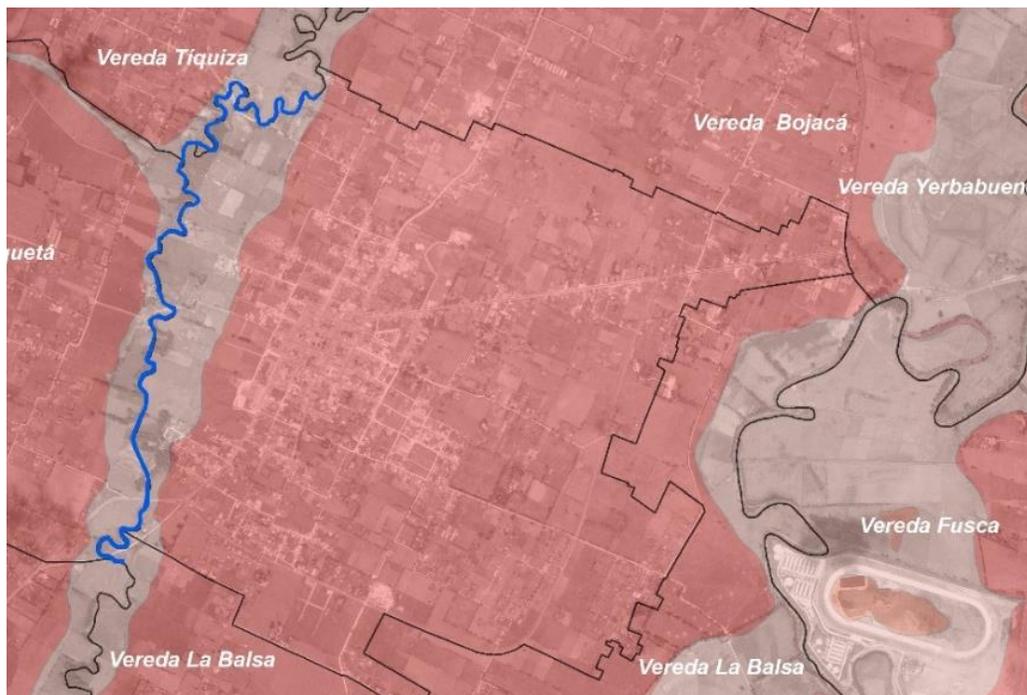


Imagen 17. Valle aluvial (color rosado claro) y recorrido de río Frío en 1996. Casco urbano del municipio de Chía. Fuente: elaboración propia.

A partir de la información obtenida se pudo determinar lo siguiente:

- En su recorrido por el casco urbano el río Frío tuvo una pérdida entre 1978 y 1996 de 766 m, equivalente al 24 % del recorrido total.

4.2.2.3 CAUDAL DOMINANTE

El caudal dominante establece ciertos parámetros geométricos del cauce, tales como la sección transversal o la longitud de la onda de sinuosidad. También se define como el caudal que realiza mayor trabajo en el transporte de sedimentos (Rodríguez, 2010).

El caudal dominante del río Frío en la zona de estudio se establece para un periodo de 2,33 años en **16,25** m³/s (Universidad Libre, 2012), el cual ha tenido modificaciones importantes en el recorrido por el casco urbano del municipio.

4.2.2.4 INTERVENCIÓN DEL CAUCE DOMINANTE ENTRE 1978 Y 1996

Con base en la información de la sinuosidad del río se identificó el sector más intervenido, que va desde el puente de Fonquetá hasta el puente de la variante Chía-Cota. Con el fin de puntualizar la afectación se dividió en dos tramos (imagen 18).

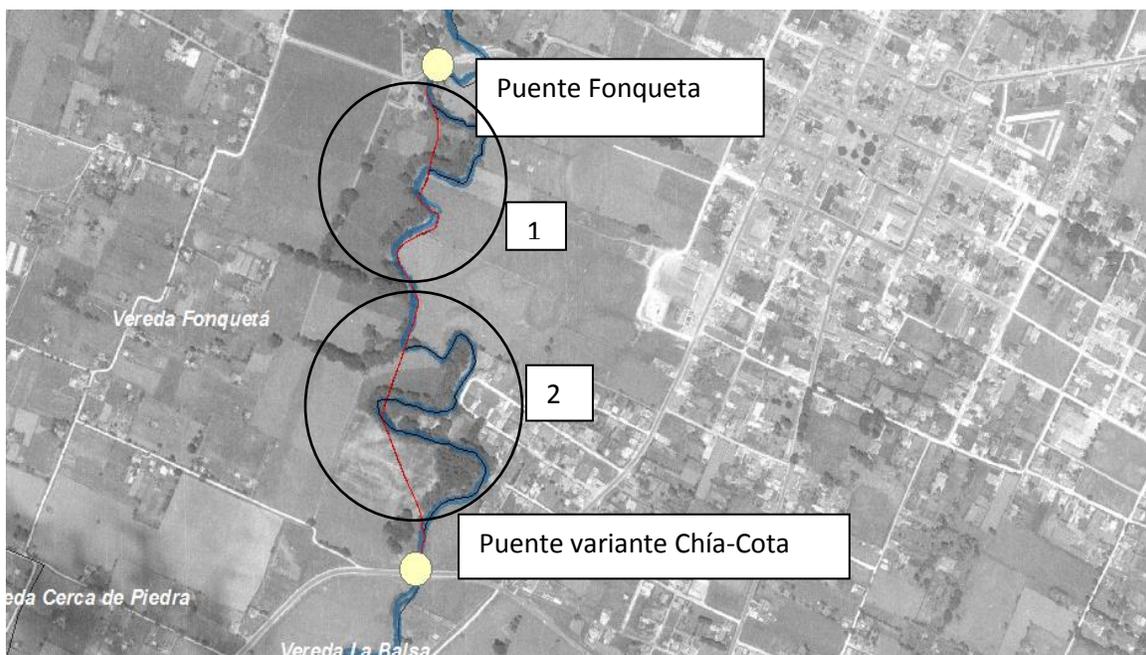


Imagen 18. Ubicación del sector y división de tramos, sobrepuesto en aerofotografía de 1978. Fuente: elaboración propia.

Esta es la intervención más grande que se realizó en 30 años, de acuerdo con las aerofotografías que sustentan este diagnóstico, razón por la cual el trabajo de investigación se centró en este sector, para determinar las afectaciones negativas y el comportamiento del río aguas arriba y aguas abajo de este tramo.

Para determinar las afectaciones primordialmente se utilizó lo que establece la balanza de Lane, en la que se puede determinar cualitativamente la respuesta a la variación de los caudales líquido y sólido, ya que la sinuosidad (S) es directamente proporcional a la pendiente del valle e inversamente proporcional a la carga de sedimentos (Qs) (Rodríguez, 2010). La ecuación que utiliza Lane es la siguiente:

Ecuación 2
$$Q S \approx Q_s d_{50}$$

Donde:

Q= caudal líquido

S= pendiente

Qs= caudal sólido

d_{50} = tamaño de la partícula

Los tramos objeto de estudio permiten observar puntualmente lo que determina Lane.

4.2.2.4.1 TRAMO 1. SECTOR PUENTE DE FONQUETÁ CON AVENIDA CHILACOS

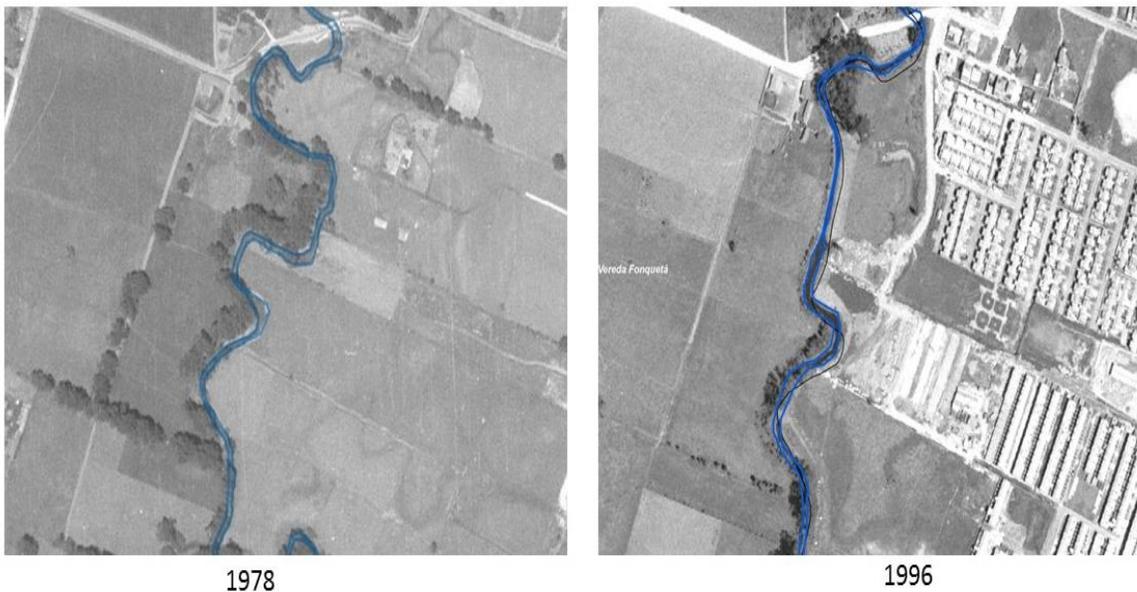


Imagen 19. Muestra de la reducción del recorrido del río (tramo 1) entre 1978 y 1996. Fuente: elaboración propia.

En el primer tramo se hizo el corte de un meandro y un nuevo recorrido, con características rectas. Esta afectación implica un aumento en la pendiente, que trae consigo la erosión del cauce, de acuerdo con la balanza de Lane.

Esto se evidencia con base en la siguiente ecuación.

Ecuación 3
$$Q_L S^+ \approx Q_s^+ d_{50}$$

La ecuación de Lane permite predecir cualitativamente la respuesta general de un río a cualquier cambio. Para el caso de estudio se presume que el caudal líquido (Ql) y el diámetro de las partículas (d50) se mantienen en equilibrio, pero no la pendiente (S), que aumenta debido al encauzamiento y reducción, lo cual produce un incremento del caudal sólido (Qs) al final del tramo reducido.

El recorrido total de este sector es de 263 m y se redujo a 112 m, equivalente a una pérdida de 43 %.

4.2.2.4.2 TRAMO 2. SECTOR LA LORENA

Este tramo se ubica al costado suroccidental del casco urbano del municipio de Chía, allí se rectificó el cauce debido a inundaciones provocadas por el río.



Imagen 20. Vista de la reducción del recorrido del río (tramo 2) entre 1978 y 1996. Fuente: elaboración propia.

El sector alterado actualmente sólo se utiliza para pastoreo de ganado y vegetación de baja altura.

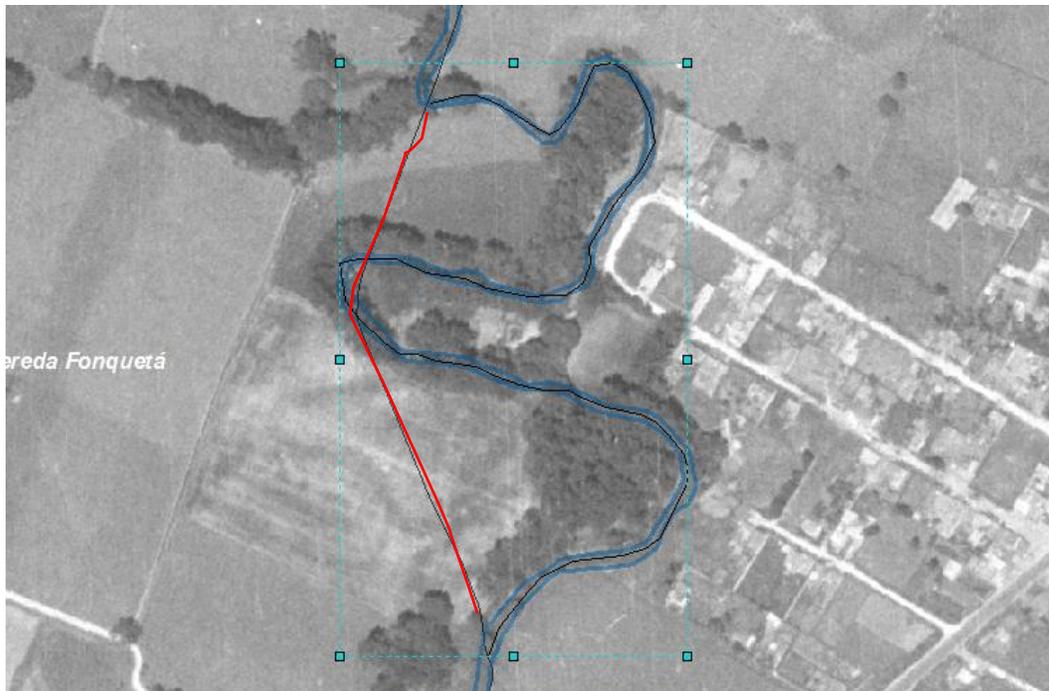


Imagen 21. Ampliación del sector con fotografía de 1978, en la que se observa el tramo original (azul) y la rectificación (rojo).

Tal como se determinó en el primer tramo, la carga de sedimentos en el punto final de la rectificación es mucho mayor, por lo que se producen desbordamientos en la parte superior y un incremento desmedido de los niveles del río en crecientes. Esto es producto de la alteración a que fue sometido; por consiguiente, presentaron desbordamientos e inundaciones en los años 2006 y 2011 en el municipio de Chía.

De acuerdo con la balanza de Lane y a una evaluación cualitativa de este tramo se puede relacionar la ecuación como se hizo en el primer tramo.

$$Q_L S^+ \approx Q_S^+ d_{50}$$

Para lo cual se presume un caudal líquido (Ql) y un diámetro de las partículas (d50) en equilibrio, pero no así la pendiente (S), que aumenta debido al encauzamiento y reducción, produciendo un incremento en el caudal sólido (Qs) al final del tramo reducido.

Generalmente un río tiende a adquirir un ancho, una profundidad, una pendiente y un tamaño de meandros de acuerdo con sus características geomorfológicas; por lo tanto, cuando se alteran dichas condiciones cambia la forma general que debe reflejar el río en su recorrido.

El tramo 2 tenía un recorrido original de 840,30 m, que se redujo a 343 m, equivalente a una pérdida de 41 % del recorrido del río en este tramo.

Con el fin de verificar los datos obtenidos mediante el balance de Lane, a continuación se comparan algunos estudios que se tienen del río Frío.

4.2.2.4.3 PENDIENTE DEL SECTOR MODIFICADO TRAMOS 1 Y 2

Para conocer el comportamiento de la pendiente en los sectores modificados se compararon estudios correspondientes a los años 2003 a 2012, con el fin de evidenciar de manera cuantitativa si este cambio se desarrolló de acuerdo con lo que establece la balanza de Lane.

Los estudios que se compararon son los siguientes:

- ESTUDIO HIDRÁULICO A NIVEL DE FACTIBILIDAD DEL RÍO FRÍO PARA ESTABLECER EL RIESGO DE INUNDACIÓN Y EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE CHÍA (CHAPARRO MUÑOZ, CARLOS ALFREDO, 2003) (1)
- NIVELES DE INUNDACIÓN RÍO FRÍO (SANDRA WALTEROS, 2006) (2)
- INFORMACIÓN MODELACIÓN HIDRÁULICA RÍO FRÍO PARTE BAJA (JUAN CARLOS LOAIZA QUINTERO, 2012) (3)

La evaluación de la pendiente en el tramo modificado se comienza de aguas arriba hacia aguas abajo.

4.2.2.4.3.1 SECCIÓN TRANSVERSAL EN EL TRAMO 1

En esta sección la pendiente presentó un cambio significativo, por lo que se hizo un análisis más detallado. Este punto se encuentra aguas arriba de la rectificación hecha en el sector de las canchas deportivas, para lo cual se compararon los estudios 1 y 3, respectivamente.

DIAGNÓSTICO DE LOS PROCESOS DINÁMICOS EN EL RÍO FRÍO, DERIVADOS DEL DESARROLLO URBANO EN EL MUNICIPIO DE CHÍA, DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA



Imagen 22. Ubicación de la sección transversal en el tramo 1. Fuente: elaboración propia.

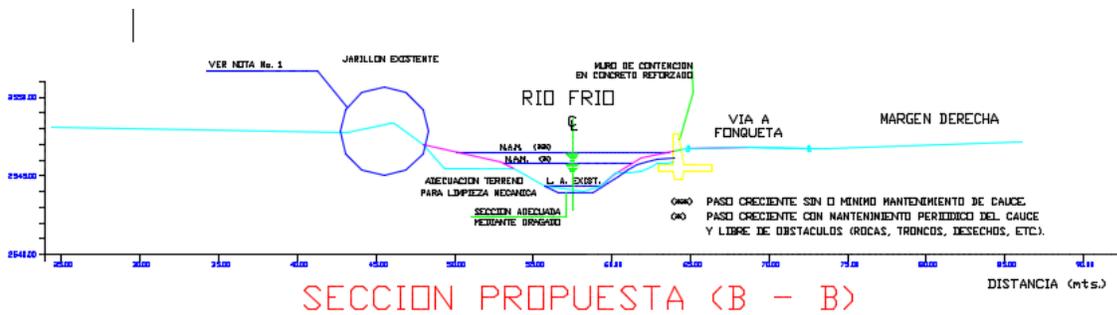


Imagen 23. Sección transversal del tramo 1. Fuente: estudio 1.

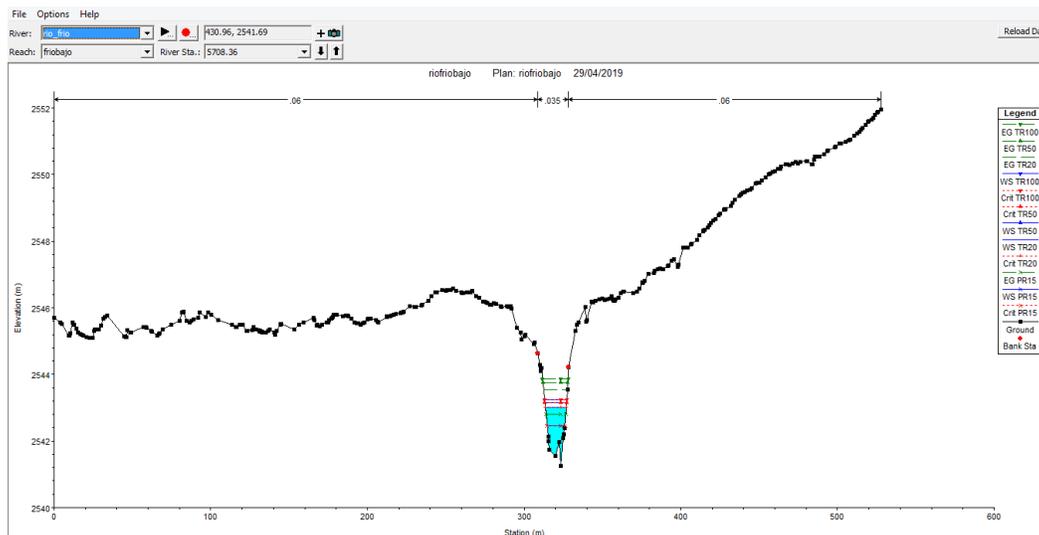


Imagen 24. Sección transversal (HecRas). Sector tramo 1. Fuente: estudio 3.

Esta sección transversal se encuentra aguas abajo de un puente vehicular, el cual ha sido objeto de varias intervenciones hidráulicas, como dragados y adecuaciones de tierra para aumentar la altura de los jarillones.

A continuación, se identifican los ítems que se compararon:

Donde:

Y= profundidad por caudales tiempo de retorno.

$AR^{2/3}$ = dato obtenido para hacer calibración Área. Radio Hidráulico.

Caudales – Tr= tiempo de retorno para 5, 25, 50 y 100 años.

Caudales m³/s= caudales de cada tiempo de retorno

N= coeficiente de rugosidad (este se obtiene por el estudio).

Pendiente S= pendiente obtenida de Manning.

Después de identificar estos ítems se comparó la información.

ESTUDIO CHAPARRO 2003				
Datos de la Grafica			n	0.058
Y	AR ^(2/3)	Caudales-Tr	Caudales m ³ /s	pendiente S
2.96325846	62.05	5	37	0.001196123
3.56641214	92.024	25	55	0.001201653
3.80559591	105.65	50	63	0.001196184
4.02565271	119.07	100	71	0.001196101

Tabla 1. Datos de los estudios realizados en el año 2003. Fuente: estudio 1.

ESTUDIO LOAIZA QUINTERO 2012 station 5708,36				
Datos de la Grafica			n	0.035
Y	AR ^(2/3)	Caudales-Tr	Caudales m ³ /s	pendiente S
0	0	0	0	0
1.99	14.64	25	47.73	0.013020774
2.19	17.64	50	56.68	0.012647323
2.32	19.63	100	63.04	0.012633623

Tabla 2. Datos de los estudios realizados en el año 2012. Fuente: estudio 3.

DATOS OBTENIDOS	
Diferencia de altura	Diferencia de pendiente (s)
2.96325846	0.0000000000
1.57641214	0.011819121
1.61559591	0.011451139
1.70565271	0.011437521

Tabla 3. Información final comparada. Fuente: elaboración propia.

A partir de estos datos se pudo determinar que efectivamente la pendiente del cauce tuvo un aumento de 9 % en promedio durante 9 años, así como un incremento de sedimentos en el fondo del río, lo cual se puede verificar por la diferencia de altura, que según muestra el último estudio se redujo 1,96 m en promedio.

4.2.2.4.3.2 SECTOR SHAPELLI

No se tiene información de cortes transversales de este sector para realizar comparativos; no obstante, con el fin de conocer la pendiente se promedió con información obtenida del estudio 3.

El tramo del sector Shapelli también es objeto de intervenciones periódicas de limpieza, retiro de maleza y dragado. En este sector se reservó un terreno para el paso de la maquinaria. Aunque en este tramo no se ha desbordado el río sí hubo problemas de inundación, debido al rebose del alcantarillado. La zona de mantenimiento se puede observar en la imagen 25.



Imagen 25. Imagen actual del tramo Shapelli. Fuente: Googleearth 2019.

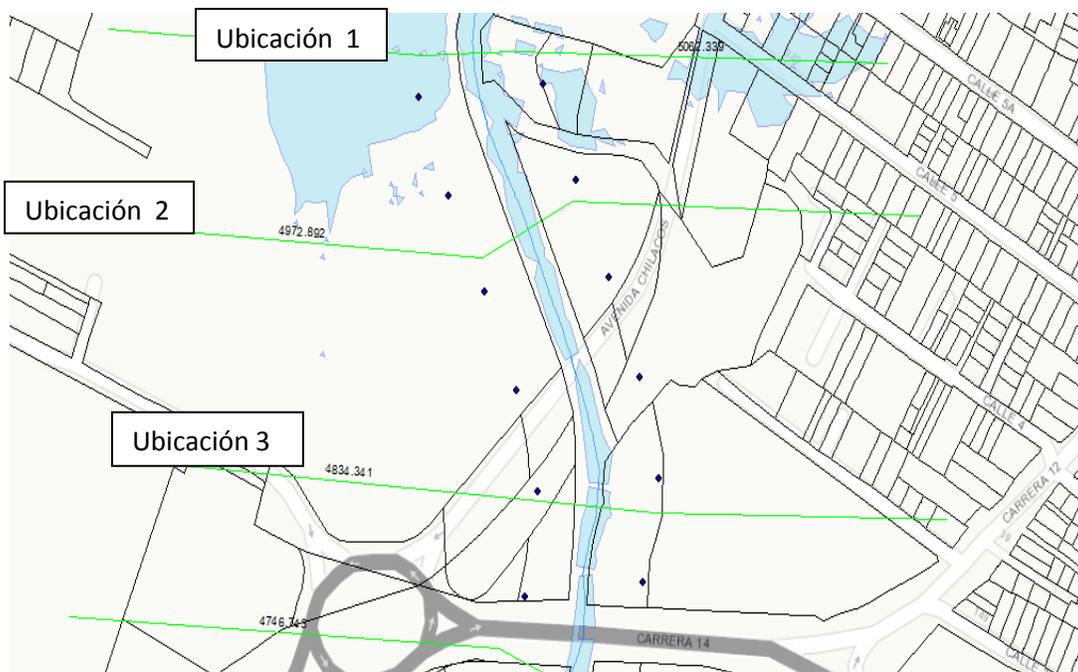


Imagen 26. Ubicación de las secciones transversales del tramo 2 (sector La Lorena). Fuente: estudio 3.

Este tramo tiene una sinuosidad muy baja, no es nula, ya que el fondo del cauce puede crear depósitos de sedimentos así el río tenga un recorrido recto. Estos sedimentos se crean por las velocidades del cauce.

DIAGNÓSTICO DE LOS PROCESOS DINÁMICOS EN EL RÍO FRÍO, DERIVADOS DEL DESARROLLO URBANO EN EL MUNICIPIO DE CHÍA, DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA

Se determinó que este tramo también fue objeto de una profundización afectada por el hombre, adicional al proceso de socavación del río por su granulometría, que en este caso son limos característicos del valle aluvial.

A continuación se muestran las secciones transversales obtenidas mediante HecRas 5.3, de las cuales se pudo obtener información de los niveles del cauce para los años de retorno (5, 10, 15, 25, 50 y 100).

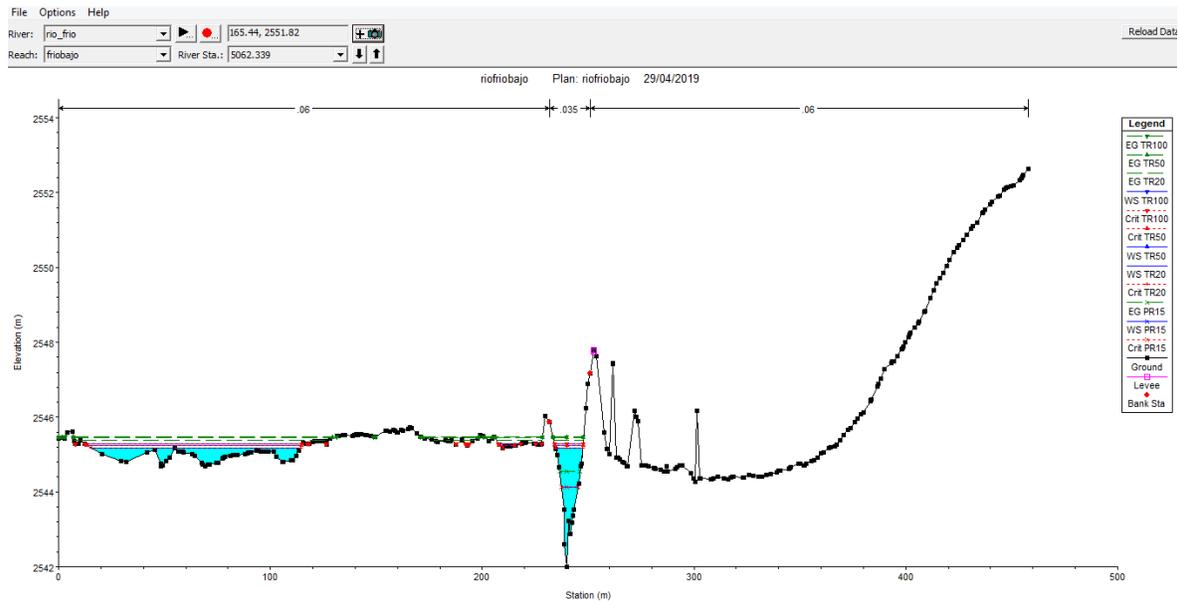


Imagen 27. Sección transversal, ubicación 1. Fuente: estudio 3.

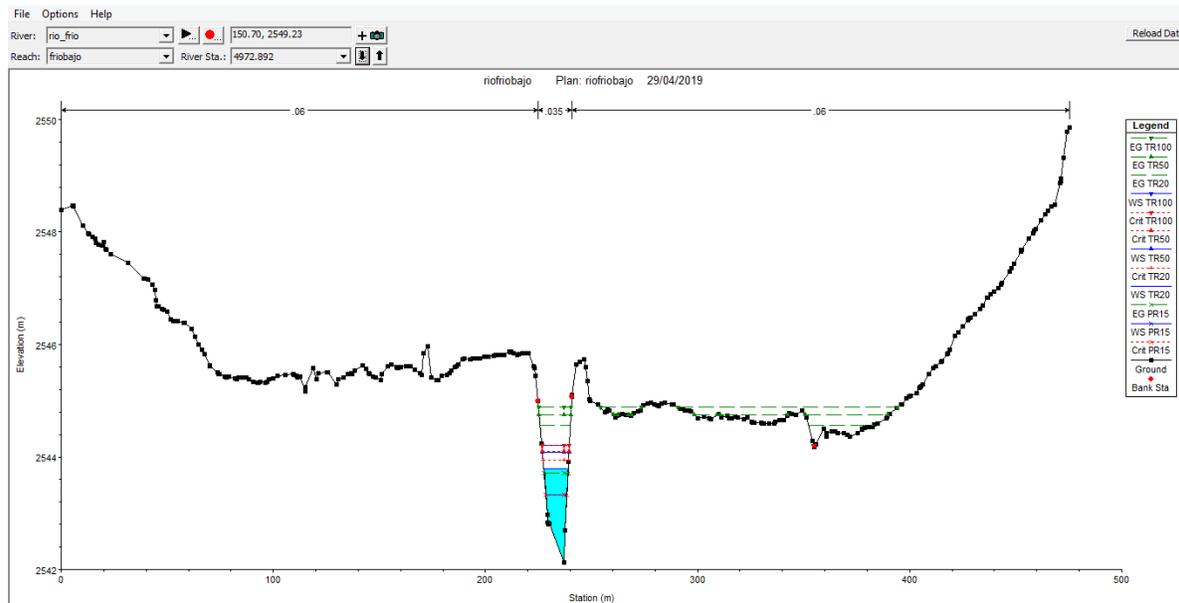


Imagen 28. Sección transversal, ubicación 2. Fuente: estudio 3.

DIAGNÓSTICO DE LOS PROCESOS DINÁMICOS EN EL RÍO FRÍO, DERIVADOS DEL DESARROLLO URBANO EN EL MUNICIPIO DE CHÍA, DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA

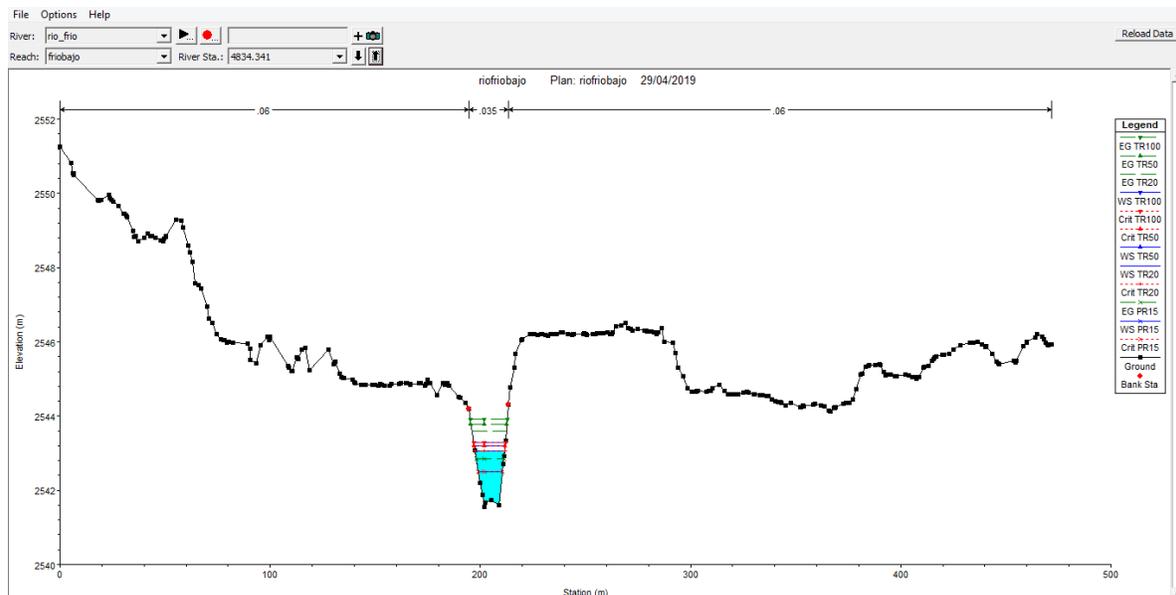


Imagen 29. Sección transversal, ubicación 3. Fuente: estudio 3.

El aumento local en la pendiente de un río, debido al corte de un meandro, usualmente produce un incremento en la tasa de crecimiento de los meandros adyacentes y en el ancho del río en el punto de corte. Adicionalmente, se presenta un aumento abrupto en la gradiente longitudinal del río en el punto de corte, una socavación y su propagación aguas arriba. Aguas abajo de un corte el gradiente del río no cambia y, por lo tanto, el incremento en la carga de sedimentos causados por la socavación aguas arriba, generalmente se deposita en el sitio del corte (Ochoa, 2012).

Se presentan muchos problemas asociados a los recortes de los meandros, los cuales se acentúan con la ubicación de un puente, ya que éste también puede cambiar la dirección del flujo con los niveles de las crecientes. Esto es lo que sucedió con el puente que se encuentra al final del tramo en estudio.

En el sector donde está ubicado el puente el nivel de la lámina de agua para los distintos periodos de retorno no ha superado el nivel de las estructuras y, por consiguiente, ante una creciente de caudal de hasta 100 años no se producirá desbordamiento del caudal y el área aledaña no se verá afectada por inundaciones (Pérez & Sandoval, 2016). Esta afirmación es verdadera, ya que en las dos temporadas invernales registradas en 2006 y 2010 no se evidenció lámina de agua.

4.2.2.4.3.3 SECTOR PUENTE COTA CHÍA-PREMEZCLADOS

Este punto se encuentra pasando el puente en la variante Chía-Cota (imagen 30).

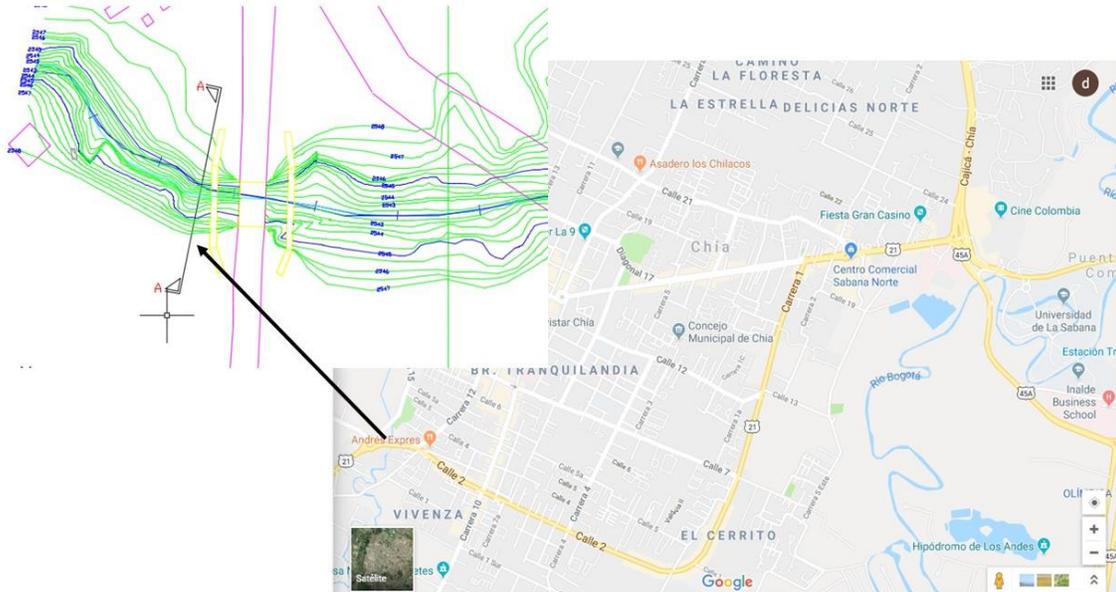


Imagen 30. Ubicación de la sección transversal del puente variante Chía-Cota. Fuente: elaboración propia.

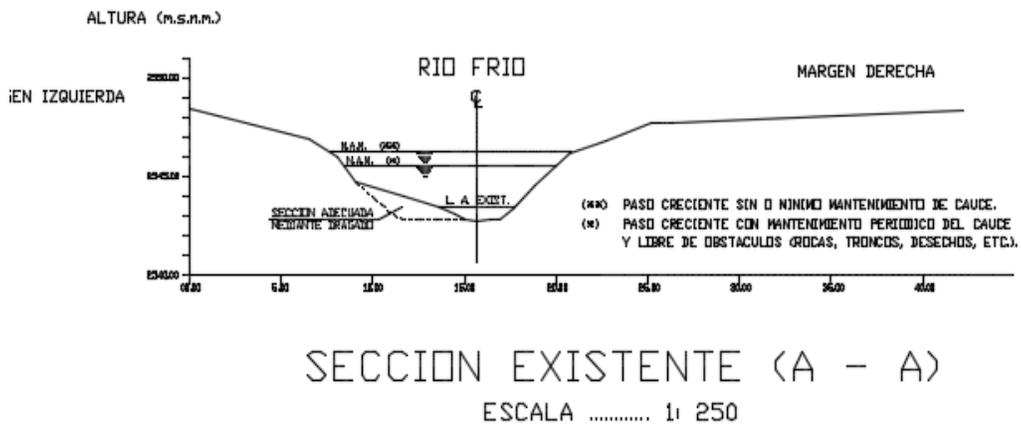


Imagen 31. Sección vertical, estudio 1. Sector puente variante Chía-Cota. Fuente: elaboración propia.

DIAGNÓSTICO DE LOS PROCESOS DINÁMICOS EN EL RÍO FRÍO, DERIVADOS DEL DESARROLLO URBANO EN EL MUNICIPIO DE CHÍA, DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA

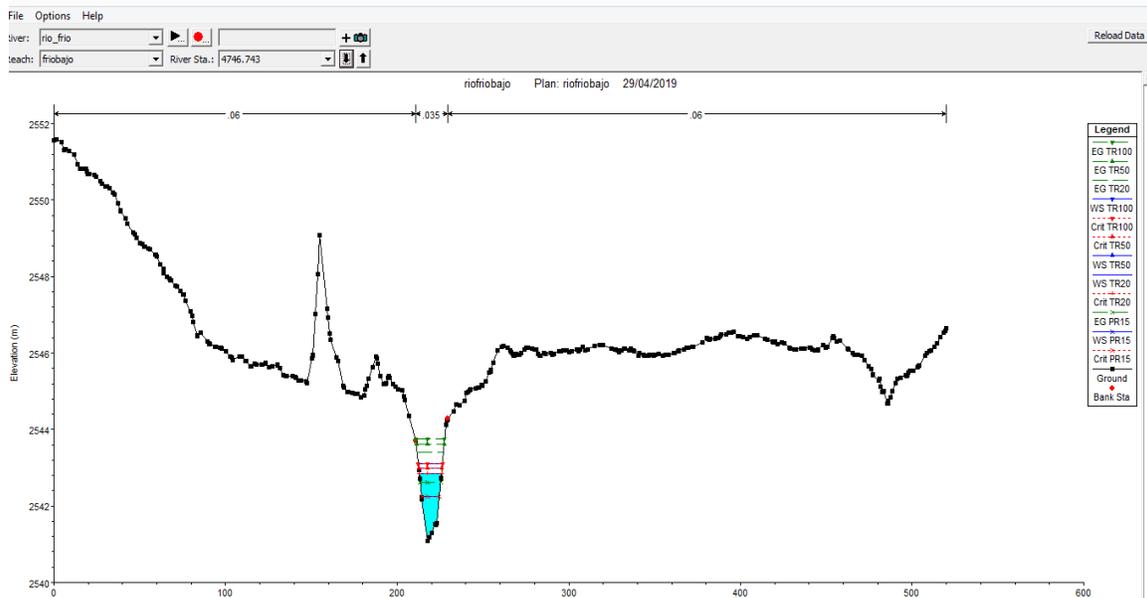


Imagen 32. Sección vertical estudio 3, sector puente variante Chía-Cota. Fuente: elaboración propia.

Este tramo del sector en estudio no ha presentado inundaciones, esto posiblemente se debe al diseño hidráulico que presenta el río en la variante Chía-Cota y a que aguas abajo del puente no se han alterado los meandros. En inmediaciones de su desembocadura al río Bogotá, el río Frío se convierte en aluvial, ya que después de reducir su pendiente disipa gran parte de su energía en las curvas y permite un mayor transporte de los caudales, con una carga considerable de sedimentos provenientes de las cuencas alta y media. Así mismo, las llanuras de inundación se vuelven más grandes y la dinámica geomorfológica es mucho mayor, realizando una movilidad horizontal constante en una amplia zona de valle aluvial del río (Corporación Autónoma de Cundinamarca-CAR, 2012).

En las siguientes tablas se hace una comparación de nueve años de los siguientes datos.

Donde:

Y= profundidad por caudales tiempo de retorno

$AR^{2/3}$ = dato obtenido para hacer calibración Área. Radio Hidráulico

Caudales – Tr= tiempo de retorno para 5, 25, 50 y 100 años

Caudales m^3/s = caudales de cada tiempo de retorno

N= coeficiente de rugosidad (este se obtiene por el estudio)

Pendiente S= pendiente obtenida de Manning

ESTUDIO CHAPARRO 2003				
Datos de la Grafica			n=	0.058
Y	AR ^{2/3}	Caudales -Tr	Caudales m3/s	pendiente S
3.50203875	62.05	5	37	0.001196123
3.61483091	92.024	25	55	0.001201653
3.36905875	105.65	50	63	0.001196184
2.94552355	119.07	100	71	0.001196101

Tabla 4. Datos de estudios realizados en el año 2003 estudio 1. Fuente: estudio 1.

ESTUDIO LOAIZA QUINTERO 2011 (4746.74)				
Datos de la Grafica			n=	0.035
Y	AR ^{2/3}	Caudales -Tr	Caudales m3/s	pendiente S
0	0	0	0	0
2.32	15.17	25	48.22	0.012377113
2.55	18.16	50	57.25	0.012174619
2.66	20.38	100	63.79	0.012001428

Tabla 5. Datos de estudios realizados en el año 2012 estudio 3. Fuente: estudio 3.

Estos datos permiten constatar el aumento en la pendiente, así como una reducción en la altura de la lámina de agua producto de la sedimentación del río en este sector.

DATOS OBTENIDOS	
diferencia de altura	diferencia de pendiente (s).
0	0
1.29483091	0.011175459
0.81905875	0.010978435
0.28552355	0.010805327

Tabla 6. Información final comparada. Fuente: elaboración propia.

4.2.3 ANÁLISIS DEL PERIODO 1997 - 2007

Durante este periodo el río Frío no sufrió modificaciones fuertes; no obstante, en el año 2006 presentó una inundación que afectó a 800 casas. Según el periódico *El Tiempo*, la inundación se produjo especialmente en el sector noroccidental del casco urbano, en la que el río sobrepasó los elementos de protección. En la parte suroccidental, donde se encuentran las viviendas de interés social, el río saturó el sistema del alcantarillado, impidiendo la salida de las aguas lluvias. Paradójicamente esta afectación llegó hasta donde se encuentran los límites de la llanura de inundación.

4.2.3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL USO DEL SUELO ENTRE 1997 Y 2007

De acuerdo con la evolución de la ocupación del territorio, para el año 1998 en Chía se desarrollaban procesos de suburbanización de baja densidad, especialmente de estratos altos en conjuntos cerrados.

Esto se puede evidenciar en la siguiente aerofotografía (imagen 33), en la cual se observan nuevas construcciones en el costado noroccidental del casco urbano y la creación de una vía perimetral, que da servicio a las construcciones cercanas al río Frío.

En 1999 grandes urbanizadores propusieron al municipio desviar y rectificar el cauce del río Frío en el sector noroccidental del casco urbano, con el fin de construir un condominio residencial en esa zona. Ante esta propuesta el profesor Van Der Hammen emitió un concepto técnico ambiental para detener el corte del meandro y evitar que se añadieran esas áreas al casco urbano del municipio. Según él, no se debía violar la ronda del río ni el valle con urbanizaciones, conjuntos cerrados o campos deportivos, su propuesta era restaurar la ronda, proteger los humedales y no canalizar ni cortar los meandros (Soler López, 2018). Pero a pesar de este concepto se aprobaron las licencias de construcción.

Aunque los proyectos de vivienda que se construyeron cuando se estableció el Acuerdo 017 de 2000 del Plan de Ordenamiento Territorial respetaron una franja de 75 m a lado y lado del cauce del río, mediante las aerofotografías se evidencia que los constructores hábilmente utilizaron estas zonas de protección y sesión al municipio como áreas recreativas de los conjuntos cerrados.

También existen proyectos urbanísticos ubicados en este sector, como Parque Río Frío y Refugio de Río Frío, que han efectuado construcciones a distancias menores de los 75 m, generando una zona de conflicto con la reglamentación actual.



Imagen 33. Ubicación de canchas y senderos peatonales de conjuntos cerrados en la ronda del río Frío. Fuente: elaboración propia.

Las recomendaciones que se hicieron y se plantearon para cuidar el valor estratégico de estos ecosistemas no fueron tenidas en cuenta debido a los distintos fenómenos (urbanización, suburbanización, floricultura, entre otros) que se presentaron alrededor del valle del río Frío, así como de los otros cuerpos de agua, como da cuenta de ello la revisión del plan de ordenamiento. La denuncia de una realidad no deseada terminó quedándose en el papel, legitimada a partir de distintas normas (Soler López, 2018).

A diferencia de las construcciones que se hicieron en el periodo 1978 - 1996, las últimas son de estratos altos, que de acuerdo con la estratificación del municipio de Chía están catalogadas como viviendas estrato 4 y 5.

Por otra parte, no se tiene información si en este periodo (1997-2007) se realizaron dragados y arreglos de los jarillones en ese sector.

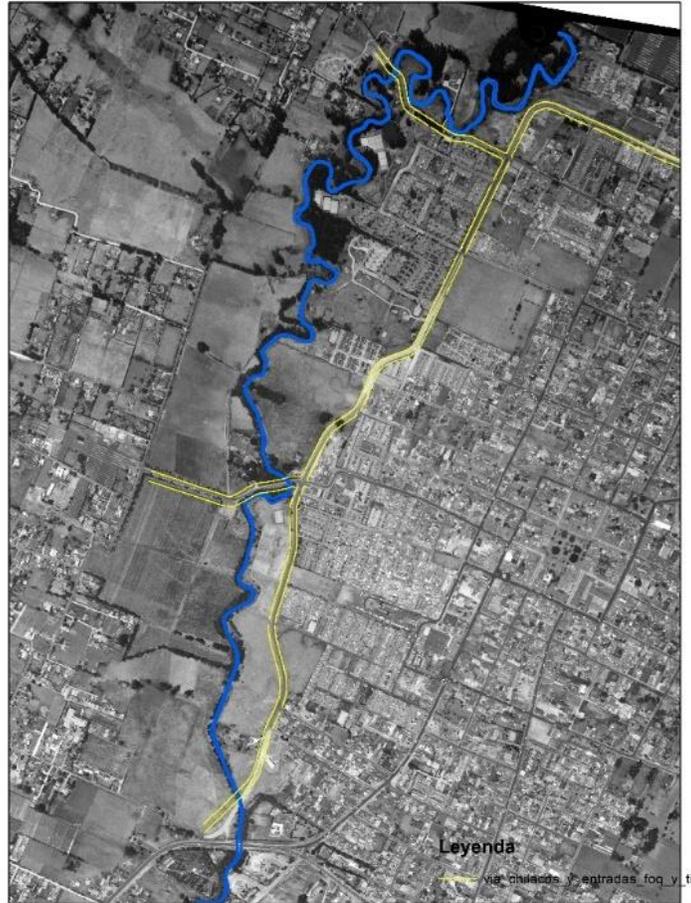


Imagen 34. Río Frío en el año 1997. Fuente: elaboración propia.

Entre 1997 y 2007 las construcciones cerca al río Frío no fueron demasiadas, pero sí hubo un factor importante en la construcción de la vía Chilacos, que sirve de entrada y salida desde el municipio de Cota y el oriente de Chía. La construcción de esta vía, que se terminó en 2003, aumentó una carga considerable de escorrentía al río Frío.

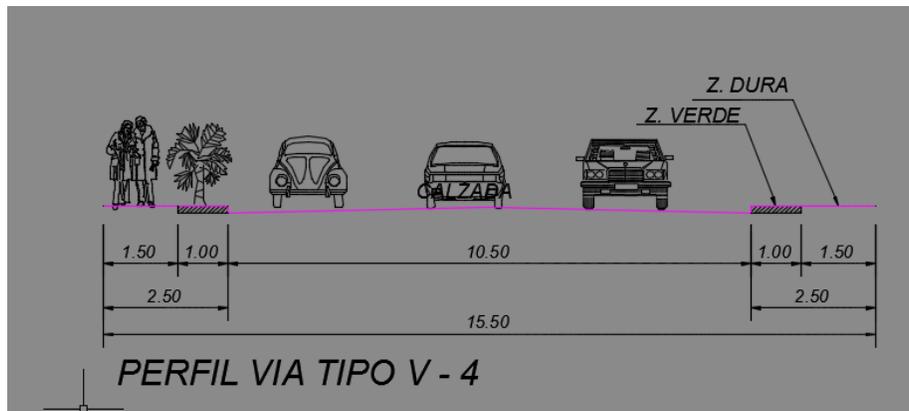


Imagen 35. Perfil de la vía Chilacos, año 2000. Fuente: POT Acuerdo 017 de 2000.

Como se ha comentado, el área dura de esta vía genera una gran cantidad de escorrentía en un tiempo muy corto, que puede hacer colapsar las alcantarillas y los pozos.

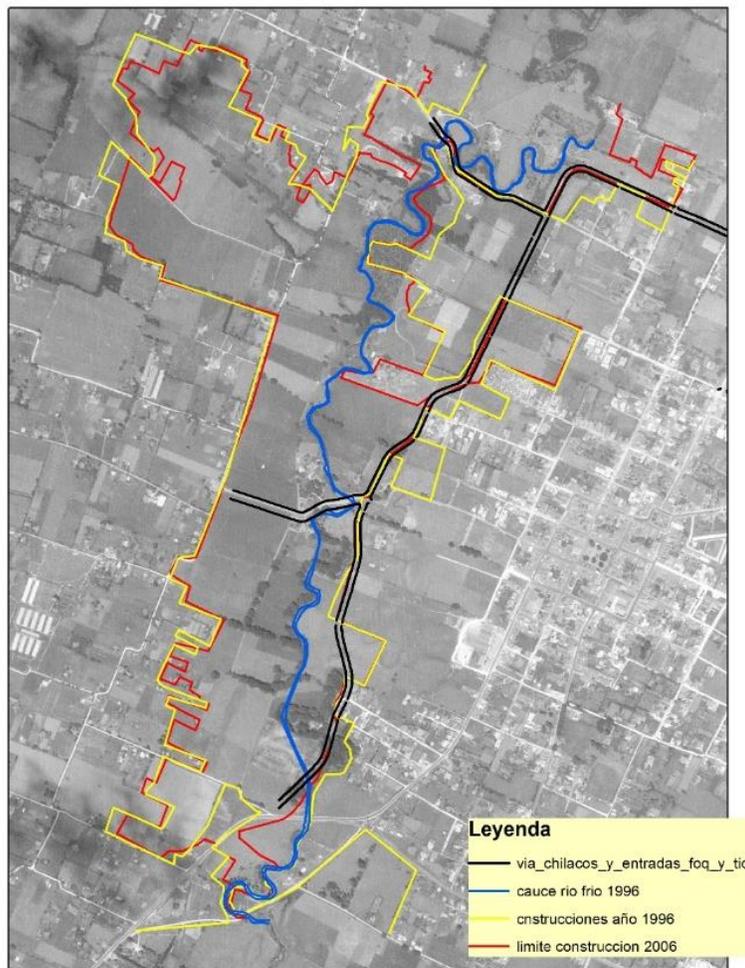


Imagen 36. Límite de construcciones entre 1996 y 2007. Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la anterior imagen, el límite de las construcciones no se alteró, salvo algunos conjuntos cerrados en el costado noroccidental del casco urbano. Por su parte, la vía Chilacos, que era una obra necesaria, presentó inconvenientes en temporada invernal.

4.2.3.2 MORFOLOGÍA DEL RÍO ENTRE 1997 Y 2007

4.2.3.2.1 CAUCE

Para este periodo ya se había realizado la mayor afectación negativa al río Frío, lo cual no significa que se hayan presentado acciones, tales como dragados y limpiezas, que pueden ser beneficiosas o negativas.



Imagen 37. Fotografía del río Frío en la zona intervenida por reducción en la longitud del cauce. Fuente: alcaldía de Chía.

El POT del año 2000 determinó que en la zona de protección del sistema hídrico (ZPSH) se llevaría a cabo una estrategia para la recuperación del río y demás cuerpos de agua, además como espacio público en los términos del Decreto 1504 de 1998. Así mismo, recomendaba tener estudios hidráulicos, ambientales y urbanos para la recuperación del río en el corto plazo.

De esta manera, el *Estudio hidráulico a nivel de factibilidad del río Frío para establecer el riesgo de inundación y evaluación del impacto ambiental en la zona urbana del municipio* fue el primero que se hizo y recomendó hacer la limpieza del cauce por lo menos cada tres años, con el propósito de remover los sedimentos y sólidos de origen mineral o vegetal para así garantizar una mayor velocidad del agua.

No se tienen registros acerca de dragados que se hayan realizado por recomendación de ese estudio.

4.2.3.2.2 PROPUESTA DE OBRAS HIDRÁULICAS. PERIODO 1997 - 2006

Entre los años 2003 y 2006 se realizaron propuestas para evitar inundaciones del casco urbano, consistentes en jarillones ubicados en la zona noroccidental, pero no hay indicios de que se hallan realizado dichas obras durante este tiempo, ya que los terrenos no son públicos. A continuación, se describen las propuestas hechas por los estudios.

3.1.3.3.4.1. Estudio hidráulico a nivel de factibilidad del río Frío para establecer el riesgo de inundación y evaluación del impacto ambiental en la zona urbana del municipio (2003).

Se requiere un jarillón en el margen contiguo al sector urbano, con el fin de evitar inundaciones. Se debe construir de acuerdo con los siguientes requisitos: ubicarlo a partir de una franja de 8 m de ancho desde el eje del río y a lo largo de éste, dejando este espacio para el dragado y la limpieza del cauce. Hay que remover la capa vegetal en su totalidad. El terraplén se debe construir colocando capas cada 20 cm del material seleccionado para ser compactado, con una corona de 3 m. Para darle estabilidad se debe empujar con pasto.

Primer sector puente Tíquiza:



Imagen 38. Ubicación de las propuestas de jarillones en el río Frío, sector puente Tíquiza. Fuente: elaboración propia.

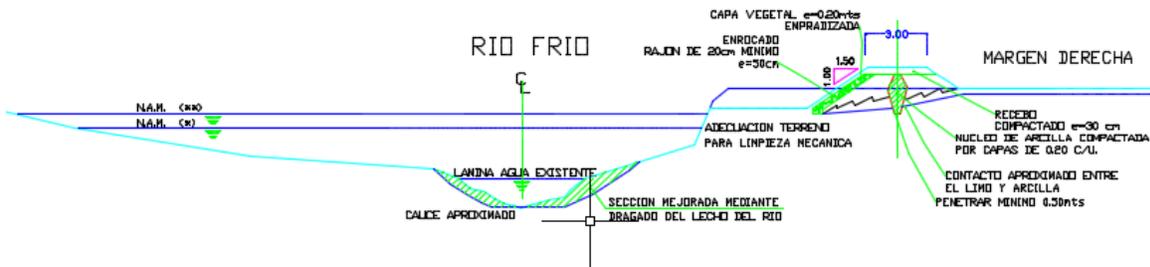


Imagen 39. Sección transversal propuesta. Ubicación E. Fuente: Estudio hidráulico a nivel de factibilidad del río Frío para establecer el riesgo de inundación y evaluación del impacto ambiental en la zona urbana del municipio (2003).

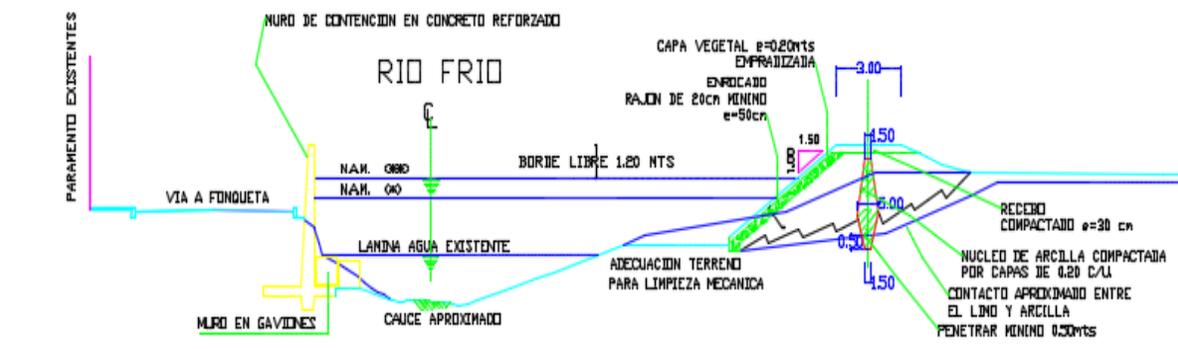


Imagen 40. Sección transversal propuesta. Ubicación F. Fuente: Estudio hidráulico a nivel de factibilidad del río Frío para establecer el riesgo de inundación y evaluación del impacto ambiental en la zona urbana del municipio (2003).

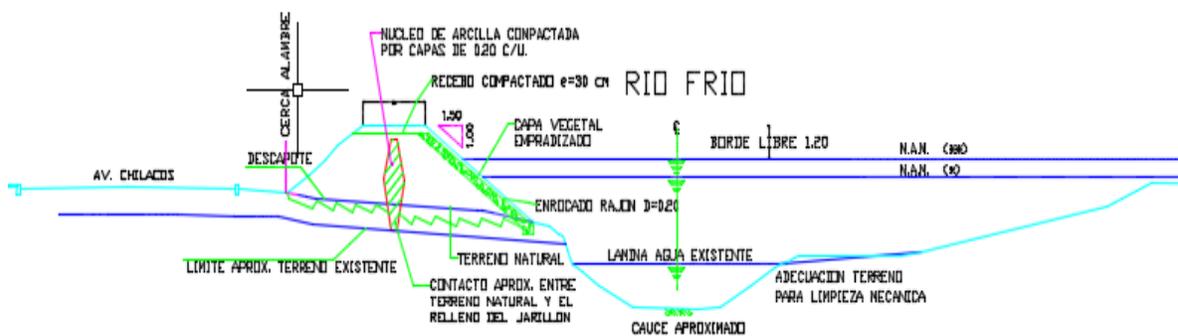


Imagen 41. Sección transversal propuesta. Ubicación G. Fuente: Estudio hidráulico a nivel de factibilidad del río Frío para establecer el riesgo de inundación y evaluación del impacto ambiental en la zona urbana del municipio (2003).

SEGUNDO SECTOR ENTRE LOS PUENTES TÍQUIZA Y FONQUETÁ



Imagen 42. Ubicación de las propuestas de jarillones en el río Frío entre los puentes Tiquiza y Fonquetá. Fuente: elaboración propia.

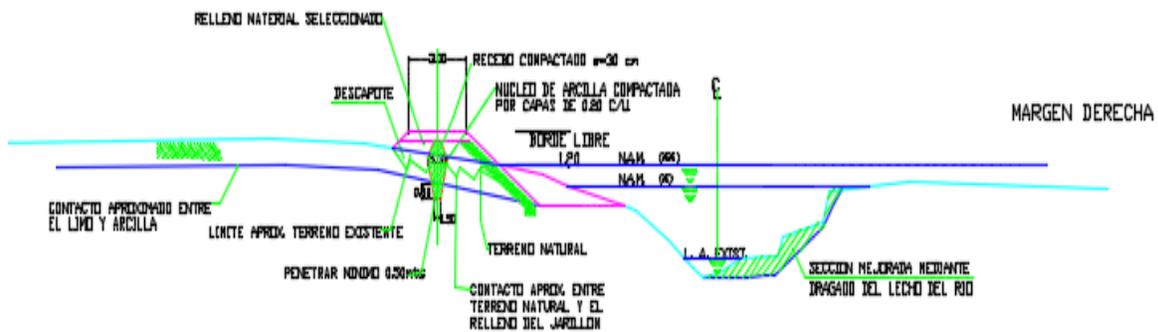


Imagen 43. Sección transversal propuesta. Ubicación C. Fuente: Estudio hidráulico a nivel de factibilidad del río Frío para establecer el riesgo de inundación y evaluación del impacto ambiental en la zona urbana del municipio (2003).

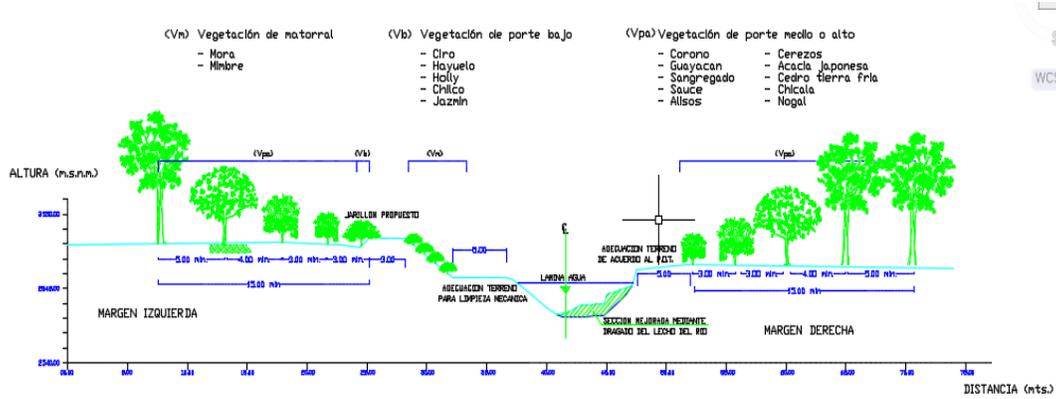


Imagen 44. Sección transversal propuesta. Ubicación D. Fuente: Estudio hidráulico a nivel de factibilidad del río Frío para establecer el riesgo de inundación y evaluación del impacto ambiental en la zona urbana del municipio (2003).

TERCER SECTOR ENTRE EL PUENTE FONQUETÁ Y LA VARIANTE CHÍA-COTA

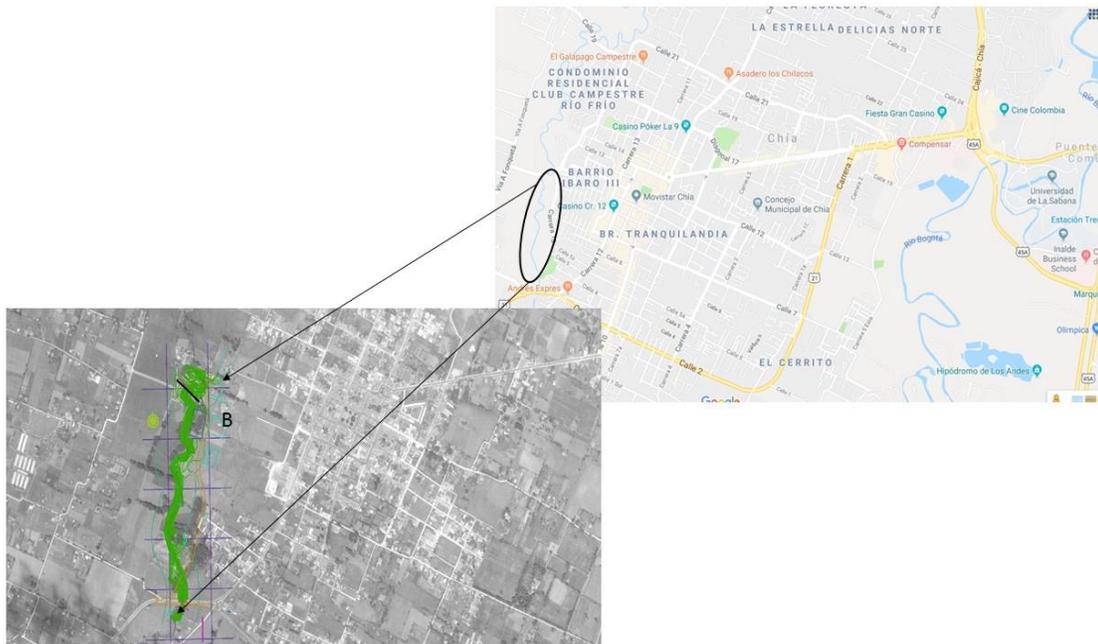


Imagen 45. Ubicación de las propuestas de jarillones en el río Frío entre el puente Fonquetá y la variante Chía-Cota. Fuente: elaboración propia.

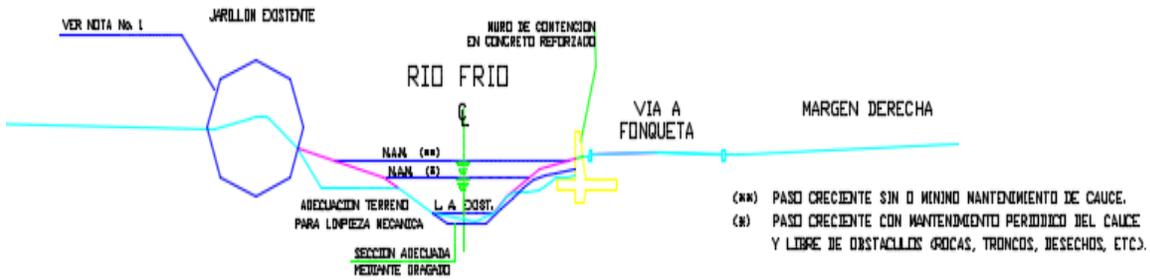


Imagen 46. Sección transversal propuesta. Ubicación B. Fuente: Estudio hidráulico a nivel de factibilidad del río Frío para establecer el riesgo de inundación y evaluación del impacto ambiental en la zona urbana del municipio (2003).

En este sector existe un jarillón en el costado izquierdo, aunque funciona como elemento de protección el estudio recomendó valorar su permeabilidad y generar una continuidad, ya que no se encuentra en toda la margen del río.

El estudio también entregó la siguiente información hidráulica del río Frío en el sector estudiado:

Número de Manning: 0.058

Pendiente en el tramo de acuerdo con la topografía: 0.0012

3.1.3.3.4.2. MEMORANDO DE DISEÑO 1. OBRAS DE CONTROL DE CRECIENTES RÍO FRÍO-CHÍA, GEOCEM LTDA. AÑO 2007

Se estudia la parte noroccidental del casco urbano, que tuvo una gran afectación por las temporadas invernales del año 2006. En esta zona el cauce tiene una forma meándrica y de fuertes curvas que hacen estrangular la ribera, con lo cual la construcción de los jarillones se debería hacer en zonas retiradas.

Atendiendo estas indicaciones se trazó en planta la ubicación de los jarillones de protección para la zona de meandros fuertes, donde una futura inundación podría causar mayores daños.

Existen zonas en las que no permitieron definir jarillones, debido a que son zonas privadas de conjuntos residenciales.

DIAGNÓSTICO DE LOS PROCESOS DINÁMICOS EN EL RÍO FRÍO, DERIVADOS DEL DESARROLLO URBANO EN EL MUNICIPIO DE CHÍA, DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA



Imagen 47. Ubicación de los jarillones propuesta por el estudio Obras de control de crecientes río Frío-Chía, GeoCem Ltda. (2007).

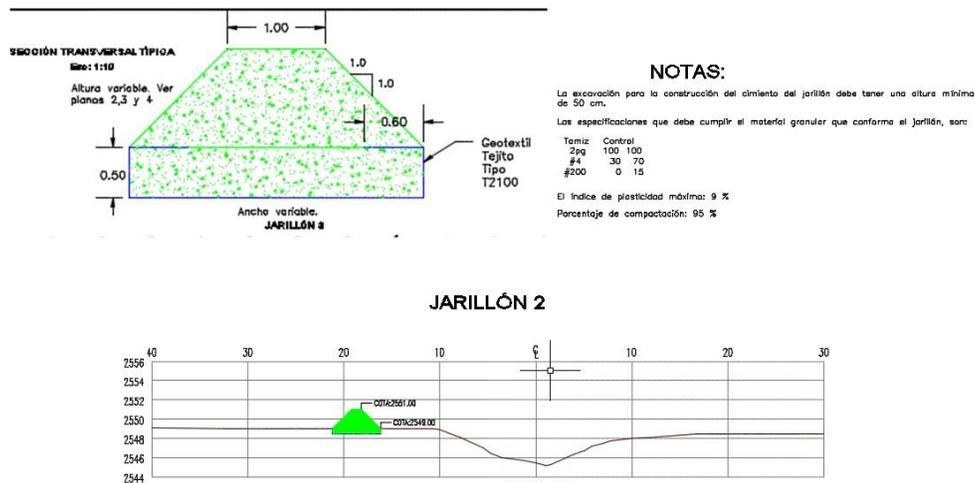


Imagen 48. Sección transversal y especificaciones técnicas para la construcción del jarillón. Fuente: Estudio obras de control de crecientes río Frío-Chía, GeoCem Ltda. (2007).

No se tiene indicios de la construcción de las obras hidráulicas que se tenían proyectadas para este periodo, ni antes ni después de la temporada invernal, lo cual no implica que si se hubieran hecho no se presentarían las inundaciones de 2006 y 2010.

El río, como ente vivo, tiene procesos morfológicos que pueden operar localmente, otros pueden estar activos dentro de un determinado tramo o estar asociados con la respuesta del sistema fluvial completo a los cambios en el proceso de lluvia-escorrentía y con la producción de sedimentos dentro de toda la subcuenca (Ochoa, 2012).

Los jarillones propuestos estaban diseñados para construirse en zonas en las que no era aceptable ningún tipo de inundación, pero se debe tener presente que el invasor no es el río sino el ser humano, que percibe un desbordamiento como una afectación negativa y justifica intervenciones para su bien particular.

4.2.3.2.3 INUNDACIÓN DEL AÑO 2006

Las inundaciones son eventos naturales y recurrentes que se producen en las corrientes de agua como resultado de lluvias intensas o continuas, que al sobrepasar la capacidad de retención del suelo y de los cauces desbordan e inundan llanuras, en general los terrenos aledaños a los cursos de agua (IDEAM 2010).



Imagen 49. Fotografía de la inundación que se presentó en Chía en el año 2006. Fuente: <https://plazacapital.co/conexiones/852-continuan-construcciones-en-la-ronda-del-río-frío>.

El río Frío se desbordó en 2006 con grandes consecuencias, aproximadamente se afectaron 800 casas, en su mayoría de estrato 5 y 6. Según *El Tiempo* (2006) “Las aguas buscaron su cauce, corrieron por la vía Chilacos hacia la parte urbana del municipio y en menos de una hora doce conjuntos residenciales y dos barrios quedaron inundados”.

En la siguiente gráfica se evidencia que para el año 2006 los eventos del fenómeno de La Niña venían siendo de moderados a muy fuertes.



Imagen 50. Época de comienzo y finalización del fenómeno de La Niña, sabana de Bogotá. Fuente: (IDEAM, PNUD, Bogotá D.C, CAR, Corpoguavio, Instituto Alexander Von Humboldt, Parque Naturales de Colombia, 2014).

La imagen 50 demuestra que el río Frío ya estaba presentando indicios de su máximo periodo de crecidas.

Las llanuras de inundación de algunos ríos, sin embargo, son frecuentemente inundadas con intervalos de 10 o más años. Se han propuesto varias razones para explicar esto. En algunos climas, un número de años de intensa actividad de inundaciones son seguidos por muchos años durante los cuales ocurren muy pocas. Estas llanuras se pueden desarrollar y ocupar durante los años con menor actividad de inundaciones. Como resultado, este desarrollo está sujeto al riesgo de inundaciones a medida que se va cumpliendo el ciclo. Las actividades de desarrollo, particularmente de silvicultura y producción intensiva de cultivos, pueden variar drásticamente las condiciones de descarga, incrementando así el caudal de los ríos durante los ciclos normales de precipitación y el riesgo de inundación. El uso más intenso de la llanura de inundación, aún bajo un estricto control, casi siempre resulta en tasas de descargas mayores (Quijano González, 2012).

Con base en esto, se podría decir que ya de por sí el valle de inundación del río Frío tenía afectaciones negativas con las actividades agropecuarias y se presentaría una situación catastrófica con actividades extremas como la construcción de vivienda.

4.2.4 ANÁLISIS ENTRE LOS AÑOS 2007 Y 2017

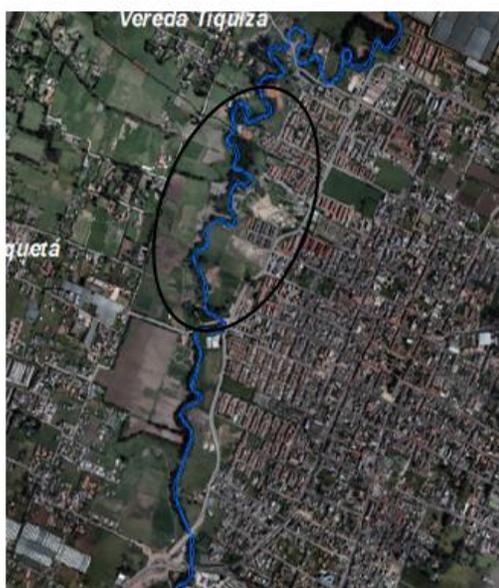
Durante este periodo en el municipio de Chía se consolidó la actividad urbanística en los sectores que quedaban sin construcción, uso permitido por el Plan de Ordenamiento Territorial vigente.

Para el año 2011 Chía fue nuevamente vulnerable ante la creciente del río Frío, fenómeno que impactó a la población y a los entes de gobierno local, departamental y nacional porque no parecía lógico que nuevamente se presentarán inundaciones.

Adicionalmente, el municipio tuvo una actualización aprobada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR, que decretó como zona de expansión urbana el costado occidental del río Frío, el cual también es zona de valle de inundación.

Cada uno de estos temas se tratan a continuación.

4.2.4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL USO DEL SUELO ENTRE LOS AÑOS 2007 Y 2017



Año 2010



Año 2017

Entre 2007 y 2017 el municipio no tuvo un cambio significativo en el desarrollo de la construcción, salvo unos conjuntos privados que siguieron invadiendo la llanura de inundación del río Frío. Algunas aerofotografías de la administración municipal muestran en detalle las áreas privadas de estos conjuntos y condominios, evidenciando que no dejaron una franja limpia para el mantenimiento del río ni accesos para entrar equipos y maquinaria.

4.2.4.2 INUNDACIÓN AÑOS 2010 Y 2011

Durante el fenómeno de La Niña en el periodo del 2010 se presentaron en Chía inundaciones por el desbordamiento de los ríos Frío y Bogotá, provocadas por el aumento

del caudal. La cuenca del río Frío no soportó los niveles de agua debido al crecimiento acelerado e irregular de las urbanizaciones en las zonas de humedal, las cuales son necesarias para garantizar la regulación del cauce en épocas de invierno. En estos eventos se vieron afectados los habitantes de los sectores aledaños a las rondas de los ríos por la incomunicación, el hacinamiento y los malos olores provocados por el colapso del sistema de alcantarillado. El sistema de riego se juntó con las aguas negras desatando la más grande emergencia en toda la historia del municipio (Mejía Bejarano & Chicué Álvarez, 2014).



Imagen 51. Fotografías de la inundación que se presentó en el municipio de Chía en el año 2010. Fuente: páginas web Revista *Semana* y W radio.

4.2.4.2.1 RESPUESTA DE LOS ENTES GUBERNAMENTALES

Mediante la toma de datos con navegadores GPS la administración municipal realizó un trabajo de campo para identificar el área de afectación y entregó la siguiente información.

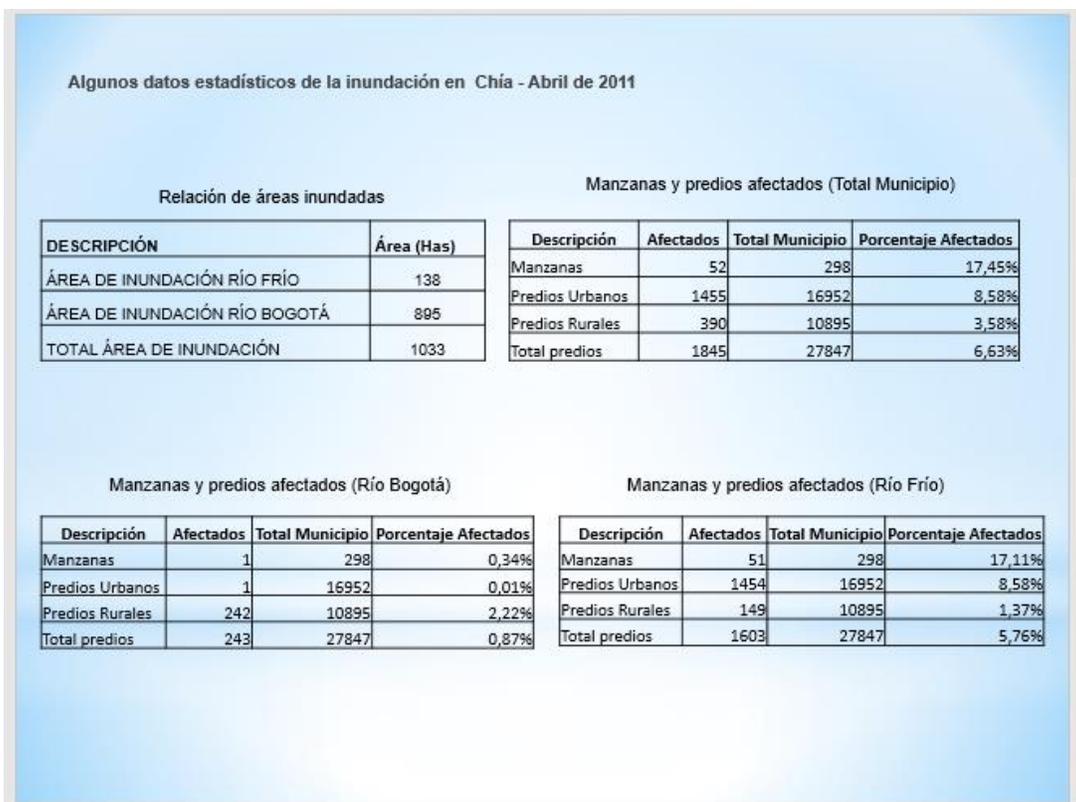


Imagen 52. Datos estadísticos de la alcaldía municipal de Chía. Año 2011. Fuente: administración municipal de Chía.

Con el fin de atender futuras emergencias, la alcaldía municipal de Chía promulgó el 19 de abril de 2011 el Decreto No. 27, “Por medio del cual se declara la urgencia manifiesta en el municipio de Chía, Cundinamarca, considerando que las autoridades de la República están instituidas para proteger a todas las personas en su vida, honra, bienes, creencias y demás derechos y libertades, y para asegurar el cumplimiento de los deberes sociales del Estado y los particulares”. Este decreto se divulgó para cumplir el Artículo 42 de la Ley 80 de 1993, que permite ejecutar obras y prestar los servicios o suministros necesarios para prevenir, mitigar, coordinar y atender cualquier situación de desastre o calamidad que se origine por la actual ola invernal (Mejía Bejarano & Chicué Álvarez, 2014).

Adicionalmente, se realizó el siguiente plano (imagen 53), el cual entrega información valiosa acerca de la huella de la inundación, que casualmente concuerda con el área del valle de inundación que entregó el IGAC en el año 2015 a la administración municipal.

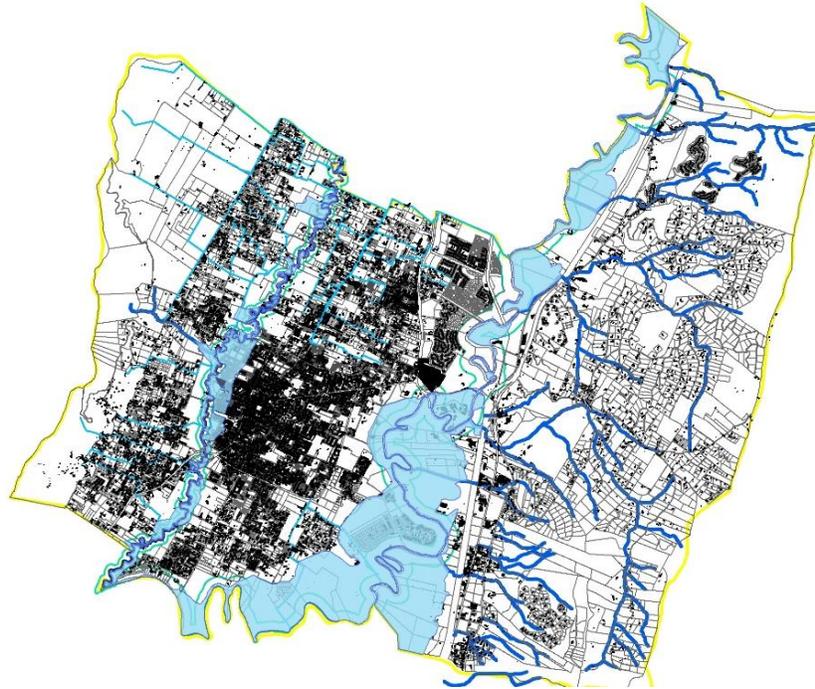


Imagen 53. Huella de la inundación del año 2010. Fuente: alcaldía de Chía.

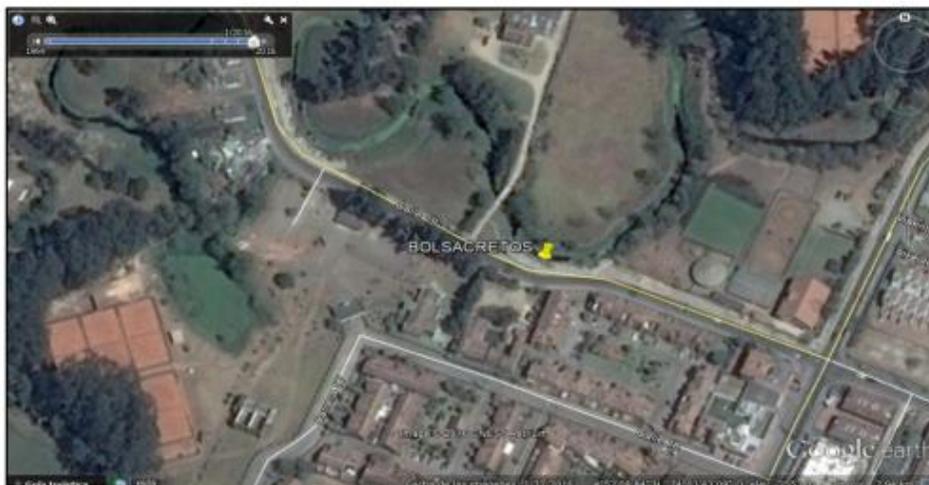
Desde la inundación del 2010 la administración municipal ha trabajado con motobombas para evacuar y controlar el nivel del agua. Para el 2016 contaba con cinco motobombas para afrontar eventualidades en las compuertas hidráulicas ubicadas en tres puntos del río Frío (Caracol, 2016) (El periódico de Chía, 2016).

La empresa Hydros Chía ESP, que tuvo a cargo el sistema de acueducto y alcantarillado en este municipio, construyó las compuertas y estaciones de bombeo en los cinco puntos donde el río Frío retorna el agua por las tuberías hacia la zona poblada del casco urbano, y hasta el momento han controlado afectaciones en el año 2018.

4.2.4.2.2 BOLSACRETOS EN EL SECTOR PUENTE TÍQUIZA

Los bolsacretos fueron una medida de carácter prioritario que tomó la administración municipal con el fin de evitar un rebosamiento de la lámina de agua para esta temporada invernal. Estos bolsacretos también cumplen la protección de la bancada de la vía contigua al río Frío, que conecta la vereda Tíquiza con el casco urbano.

(Pérez & Sandoval, 2016) determinaron lo siguiente frente a este tema:



Fuente: **Google Earth. 2016. [En línea] 2016. [Citado el: 24 de Abril de 2016.]**
Google Earth.

Ubicado en la calle 19 junto al Club Kabalia, en las coordenadas:

Latitud: 4°52'13.74"N

Longitud: 74° 3'45.84"O

Elevación: 2554



Imagen 54. Fotografía del sector en el año 2006. Fuente: Tobías y Sandoval 2016.

Tipo de estructura: bolsacretos

Longitud: 70 m

Ubicación: margen izquierda del río

Año de construcción: 2012

En la actualidad esta estructura se encuentra en buenas condiciones, aparentemente no presenta descensos en su nivel ni fallos estructurales, únicamente se aprecia que ya se ha empezado a adherir vegetación en los espacios entre las bolsas.

Como conclusión al respecto de la instalación de los bolsacretos, se puede determinar lo siguiente:

“Los bolsacretos en el nivel del costado derecho del río están muy cerca de la altura de la lámina de agua máxima y en caso de presentarse una lámina de agua mayor a la esperada será por este sector por donde se produciría el desbordamiento de las aguas” (Pérez & Sandoval, 2016).

4.2.4.3 ESTUDIOS POSTERIORES A LA INUNDACIÓN DEL AÑO 2010

Después de esta inundación estudiantes de pregrado y posgrado de algunas universidades de país realizaron varios estudios, los cuales son muy importantes por la información que suministran acerca de los niveles de la inundación. Estas investigaciones se realizaron en su mayoría con modelamiento mediante un *software* libre como Hec-Ras.

Se tomó información acerca de la cota de inundación de algunos estudios con el fin de realizar un comparativo gráfico.

- Determinación de áreas de inundación en el municipio de Chía, Colombia, mediante Hec-Ras en la cuenca baja del río Frío. Carlos Peña-Guzmán, MD. Constanza Mora. Duván Mesa, MD. European Scientific Journal February 2016. Edición vol. 12 No. 5. **No. 1.**

“Para el análisis de los caudales de creciente se empleó la información (caudales y niveles de láminas de agua) de tres estaciones seleccionadas: Santa Pozo Hondo, Puente Calamar y Puente la Virginia. el cálculo se llevó a cabo por el modelo de lluvia-escorrentía, para este método se calcularon las curvas IDF para los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años, para lo cual se emplearon las estaciones de precipitación Almaviva y Alco. Estos resultados permitieron llevar a cabo los estudios hidráulicos mediante el programa Hec-Ras, los cuales estuvieron orientados a la estimación de la altura máxima del nivel del agua y la velocidad del flujo durante los eventos de crecida máxima”.

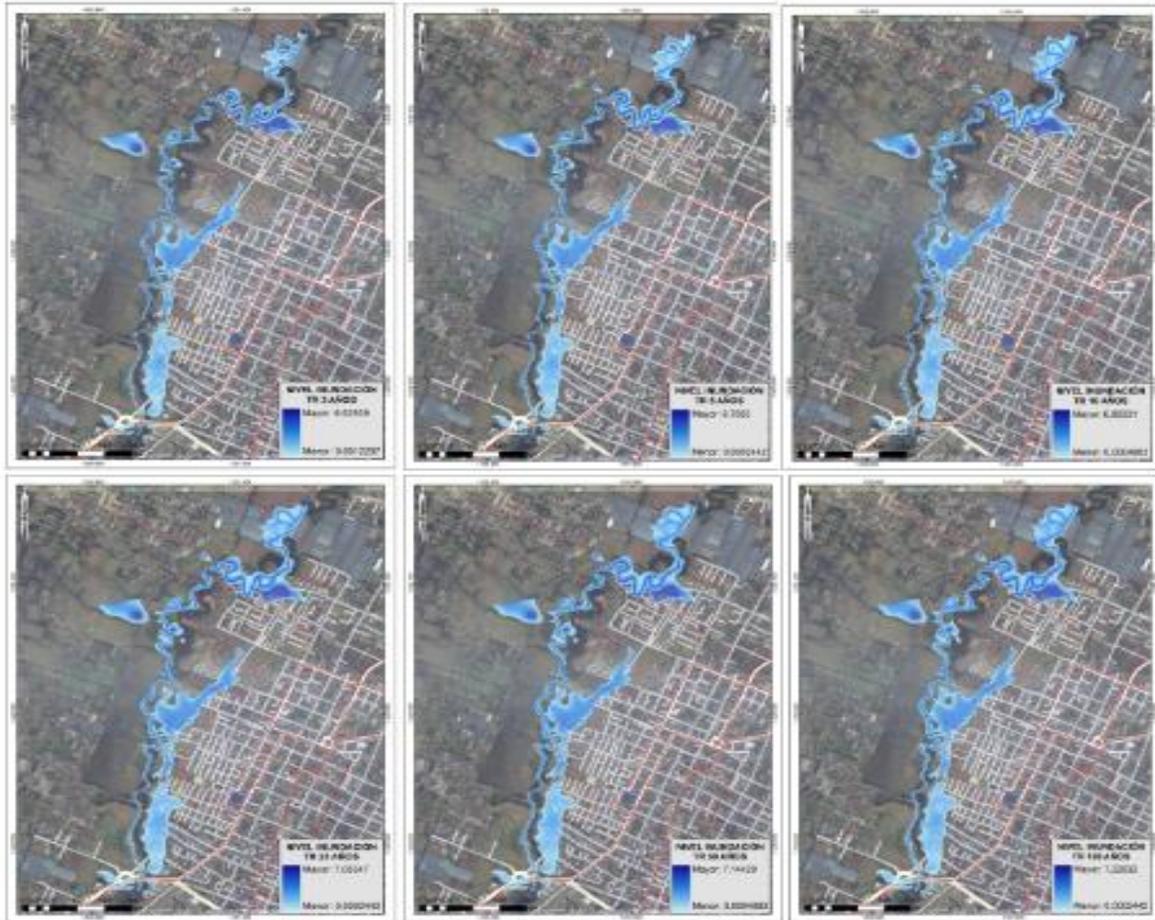


Figura 1. Mapas de amenaza por inundación en la cuenca baja del río Frío, correspondiente a una creciente con tiempos de retorno 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años

Imagen 55. Información geográfica de los diferentes tiempos de retorno de las crecientes. Fuente: estudio 1.

Conclusión

“El uso de modelos hidráulicos permitió encontrar zonas de amenaza de inundaciones a diferentes tiempos de retornos, esto nos muestra como esta herramienta permite la planificación del desarrollo territorial del municipio. Este uso logró determinar Zonas de Amenaza ALTA, las cuales son aquellas crecientes con probabilidad de recurrencias de 25 años o más. En esta zona no puede permitirse la actividad privada reglamentada, aunque sí obras de infraestructura urbana, las cuales deben ocupar lugares apropiados, que no signifiquen una variación sustancial de la dinámica fluvial (interceptores de aguas negras, revestimientos, muros, protecciones marginales, cercos vivos densos, etc.); así como también, con el mismo fin, los planes de forestación deben considerar los sitios, especies y densidades adecuadas.

Las zonas de amenaza EXTREMA comprenden las crecientes que tienen recurrencia anual, hasta de 10 años. El uso que se permitirá será el de recreación contemplativa, solárium y

recreación diurna. En esta zona se restringe el uso exclusivamente al dominio público con actividades que no involucren la permanencia continua de personas, áreas de recreación, deportes, etc.)”.

- Análisis hidrológico e hidráulico del río Frío. Zona baja. Juan Carlos Loaiza. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR: año 2011. No. 2.

El objetivo de estos estudios era determinar los caudales máximos del río en el tramo de influencia de la población de Chía, con periodos de recurrencia desde 5 hasta 100 años. Al utilizar estos valores en la modelación hidráulica del sector mencionado es posible conocer los niveles máximos de la superficie del agua con diversas probabilidades de excedencia y establecer las condiciones de desbordamiento en la zona de inundación.

Para generar la información de campo necesaria en los cálculos se llevaron a cabo levantamientos topográficos detallados de las terrazas y del cauce principal del río Frío en la zona de Chía, entre los puentes Tíquiza y Fonquetá. A partir del plano topográfico se dibujaron secciones transversales cada 30 m, determinando la pendiente longitudinal y evaluando el coeficiente de Manning por medio de visitas de campo y análisis. Con estos datos se corrió el programa Hec-Ras y se obtuvieron los parámetros hidráulicos mencionados.

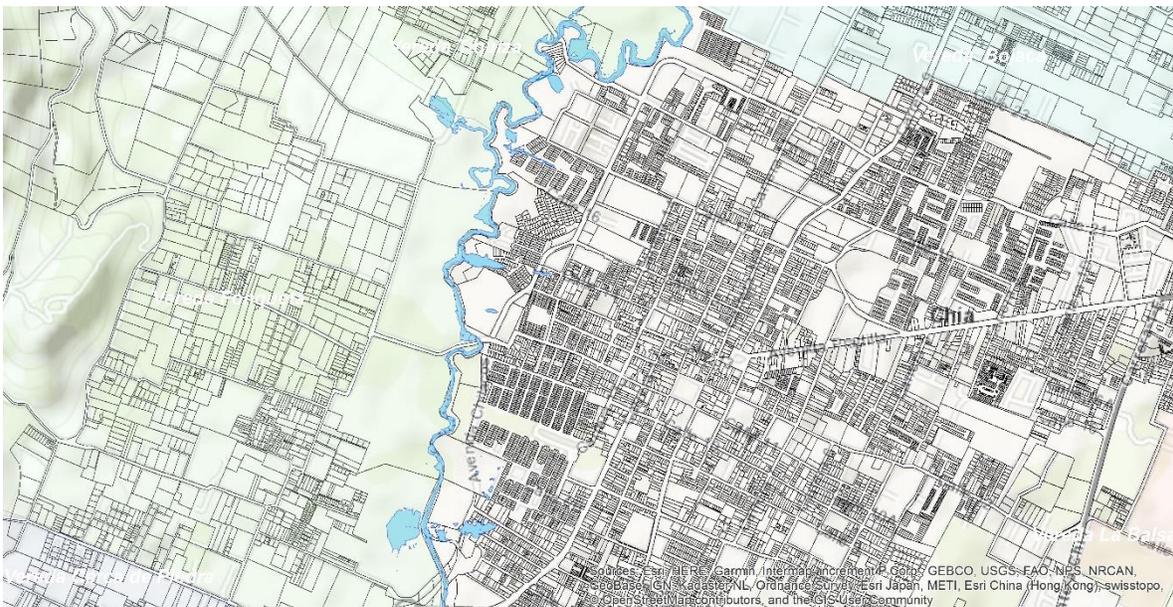


Imagen 56. Cota de inundación a 100 años. Fuente: *Análisis hidrológico e hidráulico del río Frío. Año 2011.*

Conclusión

Cuando en este sector del río se presenta una alta sinuosidad se observa cómo las áreas entre curvas se convierten en zonas de almacenamiento, que son vasos reguladores de los crecientes y, por ende, ayudan a amortiguar los caudales desbordados del cauce principal. El área de la zona de ronda del río es amplia y permite integrar todo un complejo lagunar que interactúa directamente con el río.

- Modelación Hec-Ras en la parte baja de la subcuenca del río Frío, Cundinamarca. Proyecto de investigación de la Universidad Libre y la Universidad Católica de Colombia. Tecnoambiental. Año 2013. **No. 3.**

A continuación se presentan los mapas de inundación o las manchas de agua para los periodos de retorno de 50 y 100 años. Se observa fundamentalmente que la variación de la inundación entre estos dos periodos es mínima.

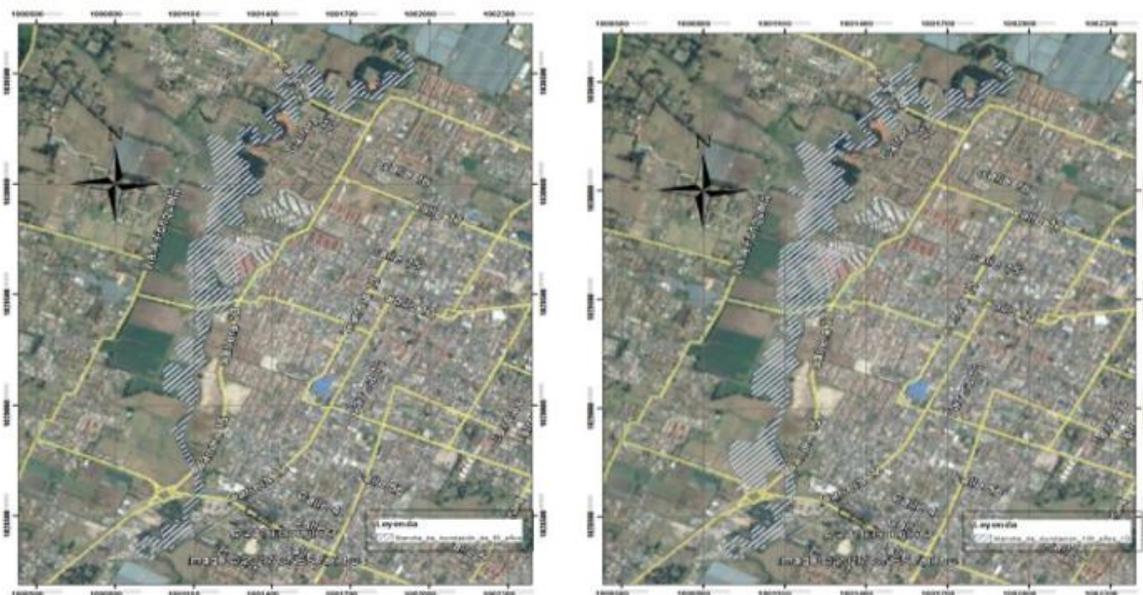


Imagen 57. Comparativos de cota de inundación con periodos de retorno de 100 años. Año 2013.

Conclusión

...“En cuanto a la modelación, ésta se realizó con las condiciones de frontera, como la pendiente del río igual a 0,00048, los caudales y la geometría generada a partir de las curvas de nivel y la batimetría disponible en la zona. Se obtuvieron las láminas de agua y la mancha de inundación de 2,33, 5, 10, 25, 50 y 100 años con ayuda del *software* ARCGIS 10.1 y se comprueba que la lámina de agua del río Frío sobrepasa los bordes e inunda el municipio de Chía”.

4.2.4.4 MODIFICACIÓN AL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL. ACUERDO 100 DE 2016

El Acuerdo 100 de 2016 regula el nuevo plan de ordenamiento territorial del municipio de Chía. Las políticas generales que plantea son la integración regional, la búsqueda de un modelo de estructura territorial basado en una nueva ruralidad, que no especifica. También plantea la ocupación del territorio sobre un supuesto modelo sostenible y sustentable que cuida y preserva los recursos naturales y el medioambiente bajo la estrategia de consolidar el área urbana del municipio, favoreciendo el desarrollo de las áreas de expansión urbana con el supuesto de disminuir la presión sobre el suelo rural y mejorar la cobertura en la prestación de los servicios públicos (Soler López, 2018).

Un eje importante del nuevo POT es su suelo de expansión urbana de 3,73 %, es decir, las áreas destinadas al crecimiento del perímetro urbano, que son cinco y se deben desarrollar a través de 15 planes parciales, que actúan como instrumentos de planificación mediante los cuales se desarrollan y complementan las disposiciones del POT. Estos planes urbanísticos se ubican principalmente sobre la ronda del río Frío (Soler López, 2018).

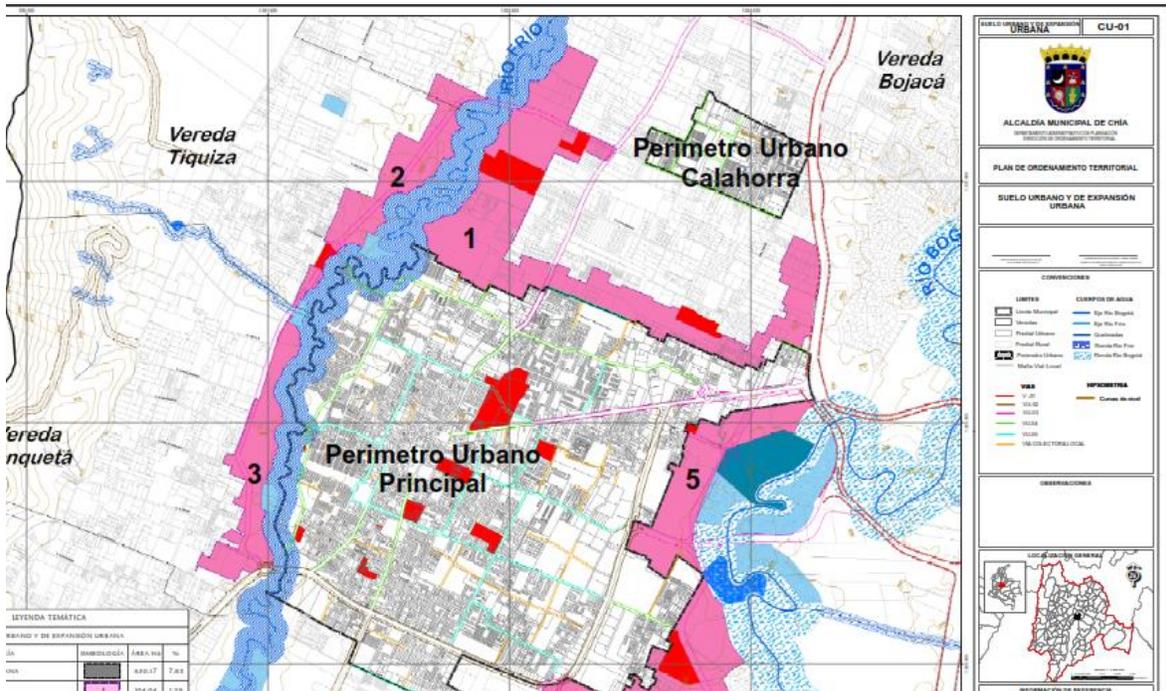


Imagen 58. Áreas que serán adecuadas como expansión urbana (en color rosado). POT 2016. Fuente: alcaldía de Chía.

El Acuerdo 100 de 2016 determina esta zona de la siguiente manera:

...“Constituido por las porciones del territorio municipal que se habilitarán para el uso urbano, durante la vigencia del Plan de Ordenamiento Territorial, después de que se formulen, concerten y aprueben los planes parciales. Dichas áreas serán determinadas de acuerdo con las previsiones de crecimiento del municipio y la posibilidad de dotación con infraestructura para el sistema vial, perfiles y características de transporte, de servicios públicos domiciliarios, espacio público, áreas libres, parques y equipamiento colectivo de interés público o social y se incorporarán al suelo urbano de acuerdo con las normas establecidas para el efecto” ...

Al desarrollar estos planes parciales, estas zonas de expansión pueden ser objeto de lo siguiente:

- Torres de servicios públicos.
- Vivienda de interés social o de interés prioritario.
- Desarrollo de vivienda por etapas.
- Desarrollo de proyectos habitacionales, de comercio y servicios hasta máximo doce pisos, de conformidad con las alturas definidas.

La mayoría de las zonas de expansión urbana se ubican en la ronda del río Frío, desconociendo que el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, ante la demanda de suelo y la presión urbanística, realizó en el año 2012 un “Levantamiento detallado de suelos en las áreas planas de 14 municipios de la sabana de Bogotá”, identificando a la ronda del río Frío como de tipo 6, es decir, tierras aptas para la ganadería, con praderas mejoradas, cultivos permanentes, que requieren prácticas intensas de conservación de suelos, y reforestación (Soler López, 2018).

Por lo anterior, se debe realizar un estudio detallado de este proceso para evitar nuevos desbordamientos en zonas necesarias para el equilibrio natural del río.

5. CONCLUSIONES

Este trabajo de grado analiza de manera muy general el paso del río Frío por el casco urbano del municipio de Chía, con base en la información limitada disponible de las condiciones generales, que permite obtener información de carácter cualitativo, pero que puede modificarse de acuerdo con análisis cuantitativos que se realicen del sector, teniendo en cuenta la dinámica intensa derivada de los procesos antrópicos. Evidentemente, el río presenta una transformación morfológica acelerada derivada de la relación caudal líquido-caudal sólido cambiante por los procesos antrópicos generados en la llanura de inundación del río. Posiblemente, los cortes que se realizaron en los meandros a nivel local en el paso del río Frío por el casco urbano produjeron un incremento local en la pendiente de los tramos 1 y 2 del presente trabajo, lo cual se puede verificar en el sector entre el puente Fonquetá con avenida Chilacos y en el sector Shapelli. Producto de esta situación el río busca su equilibrio, que podría conseguir después del puente de la variante Chía-Cota, generando una transferencia de energía que puede ocasionar un proceso de meandrificación aguas abajo del casco urbano del municipio de Chía.

Es probable que la construcción de vivienda familiar, bifamiliar y multifamiliar incrementó la magnitud de la escorrentía en temporadas invernales, ya que se realizó la impermeabilización del suelo con vías, andenes y parques recreativos, medida que reduce el tiempo de retención de las aguas, colapsando el alcantarillado combinado de aguas negras y pluvial, lo cual ocasiona que las aguas regresen por el mismo alcantarillado y generen inundaciones. Esta impermeabilización se generó en la llanura de inundación propia del sistema hídrico, el cual equilibra las escorrentías locales y el encharcamiento en temporadas invernales.

Este estudio permite establecer, muy probablemente, que la pendiente del río Frío cambia en su paso por el casco urbano, lo cual genera que se afecten su caudal sólido y su debido proceso de erosión en las zonas donde existen puentes y curvas generadas por la meandrificación propia de este afluente.

Los procesos dinámicos que se observan mediante el análisis multitemporal permiten analizar la evolución del río Frío en su paso por el casco urbano del municipio de Chía, ya que al comparar diferentes periodos se genera información técnica que los planificadores podrían utilizar posteriormente para la toma de decisiones acerca de la ubicación de población en sectores necesarios para los cuerpos hídricos.

Como recomendación para las actividades que se pretendan realizar en la llanura de inundación del río Frío (zona de expansión urbana determinada por el Acuerdo 100 de 2016) se sugiere investigar más a fondo la afectación que se produce por la utilización indebida de este espacio para actividades no acordes con la acción natural del río. No sobra aclarar que se debe buscar una menor utilización de esta área, con fin de evitar inundaciones en

los sectores frente a esta zona de expansión propuesta por la actualización del Plan de Ordenamiento Territorial, que al ser más bajos tienen mayor probabilidad de desborde.

Referencias

- Alcaldía Municipal de Chía. (2013). *Documento Técnico de Soporte POT 2013*. Chia (Cund): Municipio de Chia.
- Corporación Autónoma de Cundinamarca-CAR. (2012). Informe de Modelación Hidráulica Río Frío, parte baja. Bogotá, Colombia.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR. (2012). *Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del Río Bogotá Subcuenca del río frío*. Obtenido de www.car.gov.co
- EL TIEMPO. (2006). Inundación afectó a 800 casas en Chia.
- Fedesarrollo. (1990). *Co_So_Noviembre_1990_Montanez_Arcila_y_Pacheco.pdf (Urbanización y conflicto en la sabana de Bogotá)*. Obtenido de <https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/1884>
- IDEAM, PNUD, Bogotá D.C, CAR, Corpoguavio, Instituto Alexander Von Humboldt, Parque Naturales de Colombia. (abril de 2014). *Plan Regional Integral de Cambio Climático- PRICC*.
- Mejía Bejarano, I., & Chicué Álvarez, d. (2014). Análisis de Vulnerabilidad Territorial por Inundación en el Municipio de Chia. Bogotá D.C.
- Minambiente; Minhacienda; Corpornoquia; CAR; Fondo de Adaptación. (2014). *AJUSTE DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ POMCA*. Obtenido de www.car.gov.co.
- Municipio de Chía . (2016). *Diagnóstico Plan de Desarrollo municipal* . Chia: Municipio de Chia.
- Ochoa, T. (2012). *Hidráulica de Ríos y Procesos Morfológicos*. Bogotá D.C.: Ecoe Ediciones.
- Patiño, V., & Bermoudes, D. (Enero-Junio de 2002). *Fallas longitudinales y Transversales en la Sabana de Bogotá, Colombia*.
- Peréz, T., & Sandoval. (2016). *ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA BAJA CUENCA DEL RÍO FRÍO EN EL MUNICIPIO DE CHÍA*.
- Quijano González, j. p. (2012). Estudio Hidráulico Zona Baja del Río frío para Estudio de Inundaciones en Chia. Propuesta y Seguimiento de Obras Hídricas para Protección de Viviendas y Vías. Bogotá D.C.
- Rodríguez, H. A. (2010). *HIDRÁULICA FLUVIAL Fundamentos y aplicaciones SOCAVACION*. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Soler López, M. P. (2018). EL RÍO FRÍO EN EL MUNICIPIO DE CHIA. UN LUGAR DE REPRESENTACIONES EN TENSION, DE DOMINACIÓN Y RESISTENCIA. BOGOTÁ D.C., COLOMBIA.

Universidad Libre. (febrero de 2012). *www.unilibre.edu.co*. Obtenido de revistaingeniolibre: <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/2-uncategorised/45-modelacion-hec-ras-en-la-parte-baja-de-la-subcuenca-rio-frio-cundinamarca>

Van Der Hammen & Helmes, T. (1995). *La Última Glaciación en Colombia (Glaciación Cocuy; Fuquence)*. Bogotá D. C: Analisis Geograficos No. 24:69-89 IGAC.

Van Der Hammen, T. (1998). Plan ambiental de la cuenca alta del Río Bogotá, Analisis y orientaciones para el Ordenamiento Territorial. CAR. Bogotá D.C., Colombia.