

**ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y EVALUACIÓN DEL
SISTEMA DE MANEJO DE AGUAS PLUVIALES EN EL
SECTOR DE CONDADO DEL REY Y ALREDEDORES**

PREPARADO PARA:

REY 4, S.A

PREPARADO POR:



MARZO, 2019

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	INFORME TOPOGRÁFICO DEL RÍO ABAJO	1
3	DIAGNÓSTICO.....	2
3.1	EVALUACION DE LA CONDICIÓN ACTUAL	4
3.1.1	COLECTORA CENTENARIO	4
3.1.2	COLECTORA AUTOPISTA.....	7
3.1.3	COLECTORA CONDADO DEL REY	11
3.1.4	CAUCE ACTUAL DEL RÍO ABAJO.....	12
3.2	CÁLCULO DE CAUDALES – ANÁLISIS HIDROLÓGICO	19
3.2.1	CUENCA 142 (ENTRE RIO CAIMITO Y JUAN DÍAZ)	19
3.2.1.1	DESCRIPCIÓN Y DATOS GENERALES	19
3.2.2	ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES DE DISEÑO	20
3.2.2.1	ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO POR MODELADO PRECIPITACIÓN -ESCORRENTÍA	21
3.2.2.1.1	MODELO DE CUENCA (BASIN MODEL).....	22
3.2.2.1.2	MODELO METEOROLÓGICO (METEOROLOGICAL MODEL)	33
3.2.2.1.3	RESULTADOS DEL MODELO HEC-HMS	38
3.3	SIMULACIÓN DE LA CONDICIÓN ACTUAL DEL RÍO ABAJO	41
3.4	CÁLCULO DE LA CAPACIDAD MÁXIMA DEL CAUCE ACTUAL DEL RÍO ABAJO EN ELTRAMO EN ESTUDIO.....	48
4	ESCENARIOS ANALIZADOS.....	50
4.1	ESCENARIO 1: CANALIZACIÓN DEL TRAMO ENTRE INICIOS DE CONDADO DEL REY HASTA INICIOS DE LINDA VISTA, CON MODIFICACIÓN DE LOS PUENTES DE CONDADO DEL REY Y LINDA VISTA.	50
4.2	ESCENARIO 2: ESCENARIO 1, CON LA ADICIÓN DE EMBALSES EN TERRENOS PÚBLICOS.....	54
4.3	ESCENARIO 3: ESCENARIO 2, AGREGANDO EMBALSES EN TERRENOS DE DESARROLLOS PRIVADOS	60
4.4	CAUDALES RESULTANTES DE CADA ESCENARIO.....	64

5	CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE BAJO LA CONDICION FUTURA E IMPLEMENTANDO LOS EMBALSES PÚBLICOS.	65
5.1	COLECTORA AUTOPISTA - SUBCUENCA 8 (SC8).....	65
5.2	COLECTORA CENTENARIO - SUBCUENCA 9 (SC9)	68
5.3	COLECTORA CONDADO DEL REY - SUBCUENCA 10 (SC10).....	70
6	CONCLUSIONES DE ESCENARIOS ANALIZADOS.....	72
ANEXOS		
ANEXO A: SIMULACIÓN RÍO ABAJO, CONDICIÓN ACTUAL		
ANEXO B: SIMULACIÓN RÍO ABAJO, CAPACIDAD MÁXIMA DEL CAUCE EXISTENTE		
ANEXO C: SIMULACIÓN RÍO ABAJO, ESCENARIOS ANALIZADOS		

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Fotogrametría y ortofoto de la cuenca del Río Abajo.....	2
Figura 2.	Localización de la ruta de las colectoras de Centenario y Autopista Panamá – Colón. ...	3
Figura 3.	Localización de la ruta de la colectoras de Condado del Rey.....	4
Figura 4.	Cambio de cuatro tuberías de 1.20m de diámetros a tres tuberías, una de 1.50m de diámetro y dos de 1.20m de diámetro.	10
Figura 5.	Punto de convergencia de las colectoras Centenario y Autopista. (dos tuberías de 1.20 metros, dos tuberías de 1.50 metros, una tubería de 1.90 metros.)	11
Figura 6.	Localización general del tramo norte del Río Abajo.	13
Figura 7.	Localización de la Cuenca del Rio Abajo dentro de la Cuenca 142. (Entre río Caimito y Juan Díaz).....	20
Figura 8.	Componente del Modelo de Hec-Hms.....	22
Figura 9.	Delimitación de las Subcuencas, en la Cuenca del Río Abajo.	24
Figura 10.	Modelo generado en HEC-HMS para la Cuenca del Río Abajo.	26
Figura 11.	Mapa de uso de suelo en la cuenca del río Abajo.	30
Figura 12.	Planos catastrales de lotificación colindante con el Río Abajo, específicamente entre la Av. La Pulida y la Vía José A. Arango.	42

Figura 13. Acotaciones del ancho de servidumbre actual según levantamiento topográfico en lotificación colindante con el Río Abajo, específicamente entre la Av. La Pulida y la Vía José A. Arango.....42

Figura 14. Plano catastral de 1987, muestra las primeras etapas desarrolladas en Condado del Rey.....43

Figura 15. Acotaciones del ancho de servidumbre actual según levantamiento topográfico en Condado del Rey44

Figura 16. Zonas vulnerables a inundaciones en la condición actual.46

Figura 17. Perfil del Río Abajo en condición actual.47

Figura 18. Perfil del cauce actual del Río Abajo, específicamente en el tramo comprendido entre el Corredor Norte y Linda Vista, mostrando los diferentes porcentajes de caudales.....49

Figura 19. Sección de canalización pavimentada propuesta para el tramo comprendido entre inicios de Condado del Rey hasta inicios de Linda Vista.51

Figura 20. Zonas vulnerables a inundaciones en Escenario 1.....52

Figura 21. Perfil del cauce del Río Abajo en el Escenario 1.....53

Figura 22. Sistema propuesto para almacenamiento temporal.....54

Figura 23. Esquema conceptual de estructuras de control de niveles de esorrentía.....55

Figura 24. Ubicación de los embalses públicos propuestos.56

Figura 25. Zonas vulnerables a inundaciones en Escenario 2.....58

Figura 26. Perfil del cauce del Río Abajo en el Escenario 2.....59

Figura 27. Zonas vulnerables a inundaciones en el Escenario 3, para la condición futura.....62

Figura 28. Perfil del cauce del Río Abajo en el Escenario 3.....63

Figura 29. Ubicación del aporte de subcuenca 8.....65

Figura 30. Ubicación de la descarga de la colectora Centenario.....68

Figura 31. Ubicación de la descarga de la colectora Condado del Rey.70

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Vista área de posible ruta de la Colectora Centenario saliendo de Dorado Lakes.	5
Fotografía 2. Vista del sitio de la excavación temporal de la posible colectora.	6
Fotografía 3. Vista de la excavación, lado opuesto.	6
Fotografía 4. Punto de descarga de las colectoras Centenario y Autopista.	7
Fotografía 5. Cajón pluvial debajo de la oreja del Corredor Norte en dirección a Autopista.	8
Fotografía 6. Sección de cajón debajo de Av. Condado del Rey (3.05m x 2.75m).	8
Fotografía 7. Sección de cajón al final del cruce de Av. Condado del Rey.	9
Fotografía 8. Cambio de sección hidráulica de cajón simple de 3.05x2.75 metros a cuatro tuberías de 1.20 metros de diámetro. Se registra cambio de fondo de aproximadamente 1.0 metro de profundidad.	9
Fotografía 9. Entrada del cauce al colector Condado del Rey, compuesto por tres tuberías de 1.35 metros de diámetro.	12
Fotografía 10. Sección natural en la parte norte de Santa Bárbara.	14
Fotografía 11. Sección del Río Abajo entre Santa Bárbara y Altos de Panamá.	14
Fotografía 12. Sección del Río Abajo entre Castilla de Oro y Fuente del Fresno.	15
Fotografía 13. Sección del Río Abajo colindando con el polígono de ETESA.	15
Fotografía 14. Sección del Río Abajo en la zona de ETESA.	16
Fotografía 15. Sección del Río Abajo saliendo de zona de ETESA y entrando a Condado del Rey.	16
Fotografía 16. Sección de Río Abajo, aguas arriba del puente de Condado del Rey.	17
Fotografía 17. Sección del Río Abajo, aguas abajo del puente de Condado del Rey.	17
Fotografía 18. Sección del Río Abajo, aguas arriba del puente de Linda Vista.	18
Fotografía 19. Sección del Río Abajo en el puente de Linda Vista.	18
Fotografía 20. Vista del puente de Condado del Rey, donde se puede apreciar el poco galibo existente.	45

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Relación intensidad Duración Frecuencia, según manual de aprobación del MOP	35
Gráfico 2. Relación intensidad Duración Frecuencia, según Tesis	36
Gráfico 3. Hietograma de diseño T=100 años, según Tesis	37
Gráfico 4. Hietograma de diseño T=100 años, según el manual de aprobación del MOP.....	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Áreas de las subcuencas del Río Abajo.....	25
Tabla 2. Números de curva según las condiciones de humedad AMC II. $I_a=0.2$ S. (Chow, Maidment, & Mays, 1994).	28
Tabla 3. Valores de CN propuesto según tipo de uso de Suelo.....	29
Tabla 4. Valores de CN propuesto en base a la exigencia del Manual del MOP.....	29
Tabla 5. Número de Curva promedio ponderado para cada Subcuenca, (Periodo de retorno de 100 años).	31
Tabla 6. Longitud de Cauce, Tiempo de Concentración y Tiempo de retardo para cada subcuenca.	32
Tabla 7. Información de las Estaciones pluviométricas dentro de la Cuenca 142.	33
Tabla 8. Caudales resultantes en las subcuencas para un periodo de retorno de 100 años.	40
Tabla 9. Cálculo de volumen y tiempo de retención para el embalse público 1.	56
Tabla 10. Cálculo de volumen y tiempo de retención para el embalse público 2.	57
Tabla 11. Cálculo de volumen y tiempo de retención para el embalse público 3.	57
Tabla 12. Volúmenes a retener en la cuenca norte del Río Abajo.	60
Tabla 13. Caudales en metros cúbicos, resultantes para cada escenario, para una lluvia con periodo de retorno de 100 años.	64

1 INTRODUCCIÓN

Como parte del acuerdo entre promotores inmobiliarios del sector de Condado del Rey y alrededores, junto con la Alcaldía del Distrito de San Miguelito y la Alcaldía de Panamá, la empresa Rey 4, S.A. contrató a la empresa Grupo COTRANS, S.A. para la elaboración de un análisis hidrológico y evaluación del sistema de manejo de aguas pluviales en el sector de Condado del Rey y alrededores y estudio de movilidad sobre la Av. Principal de Condado del Rey. El presente informe corresponde al análisis hidrológico.

Como parte de este estudio se realizaron levantamientos de toda la cuenca del Río Abajo desde Altos de Panamá hasta la desembocadura. Se utilizaron fotos aéreas para realizar una restitución topográfica de la cuenca. En adición, se levantó el cauce de todo el Río Abajo en el área de estudio por secciones, utilizando estación total, así como las líneas de tuberías principales en el sector de Condado del Rey y alrededores. Esto permite realizar simulaciones de la situación actual y futura, así como las alternativas de solución para determinar su efectividad. La efectividad se mide en el impacto de reducir el nivel de aguas máximas, según el cálculo de caudales de escorrentía para la lluvia diseño.

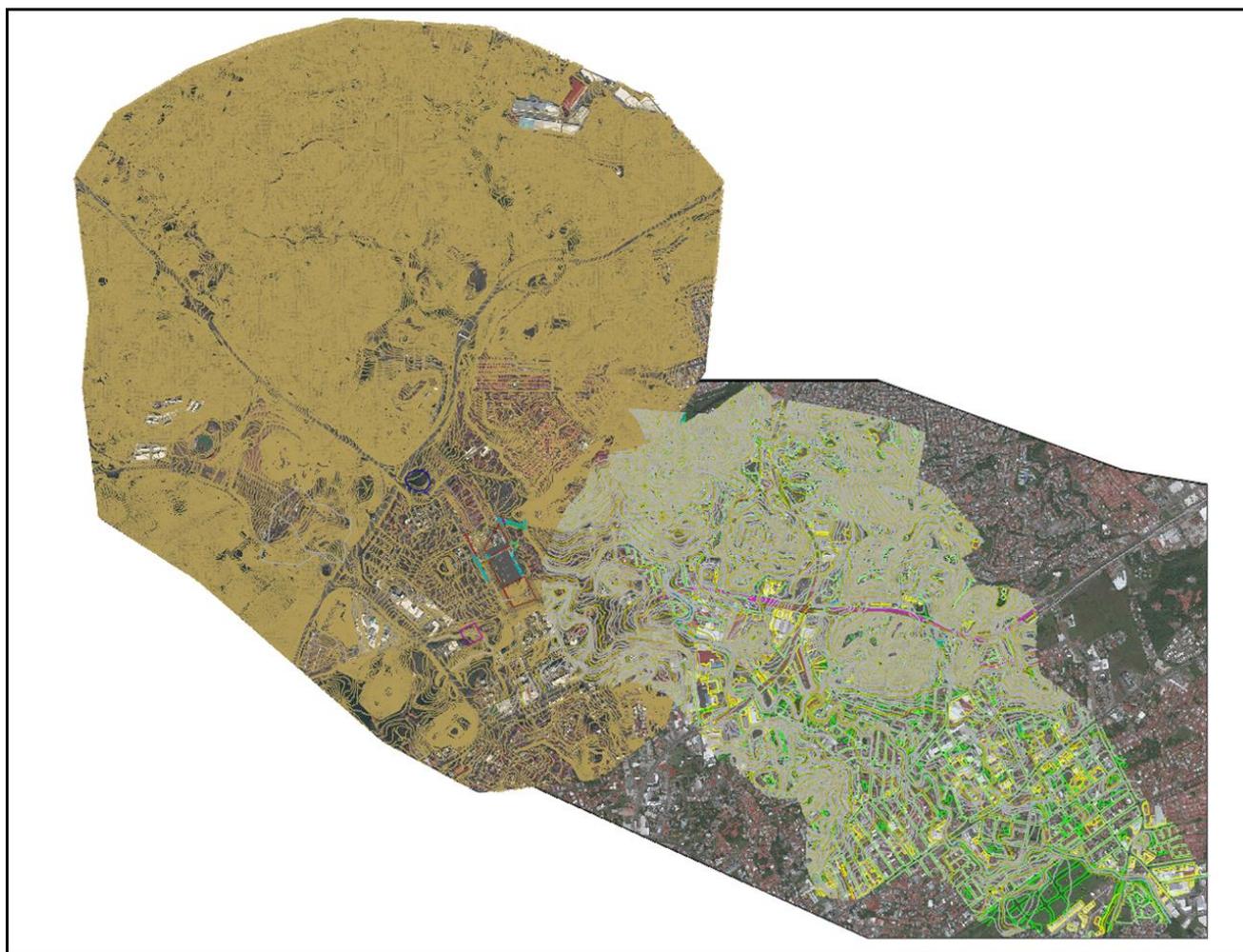
En este informe se presenta el resultado de los levantamientos, las condiciones existentes, estimación de caudales de escorrentía, proyecciones de desarrollo e identificación de deficiencias. Se presentan también los resultados de la simulación de la situación actual y futura y de las alternativas planteadas para mitigar el impacto de la lluvia de diseño sobre las parcelas a lo largo del cauce.

2 INFORME TOPOGRÁFICO DEL RÍO ABAJO

Para llevar a cabo el estudio hidrológico e hidráulico del Río Abajo, fue necesario dos levantamientos topográficos. Uno de ellos fue una fotogrametría de la cuenca del río, con la finalidad obtener la información cartográfica actualizada para delimitar las subcuencas que aportan al cauce principal y estudiar posibles alternativas que ayuden a mejorar el flujo de la escorrentía superficial. En adición, se realizó el levantamiento topográfico del cauce con estación total, desde el Corredor Norte hasta la desembocadura, incluyendo también los afluentes, puentes, cercas, muros, y todas las edificaciones existentes, colindantes con el Río Abajo. También fue necesario levantar la infraestructura pluvial de las principales colectoras que conducen las aguas hacia el cauce principal del río, específicamente las que registraron problemas en las inundaciones del año 2015, en el área de condado del Rey.

En la Figura 1 se muestra una vista general del trabajo de fotogrametría y ortofoto de toda la cuenca del Río Abajo.

Figura 1. Fotogrametría y ortofoto de la cuenca del Río Abajo.

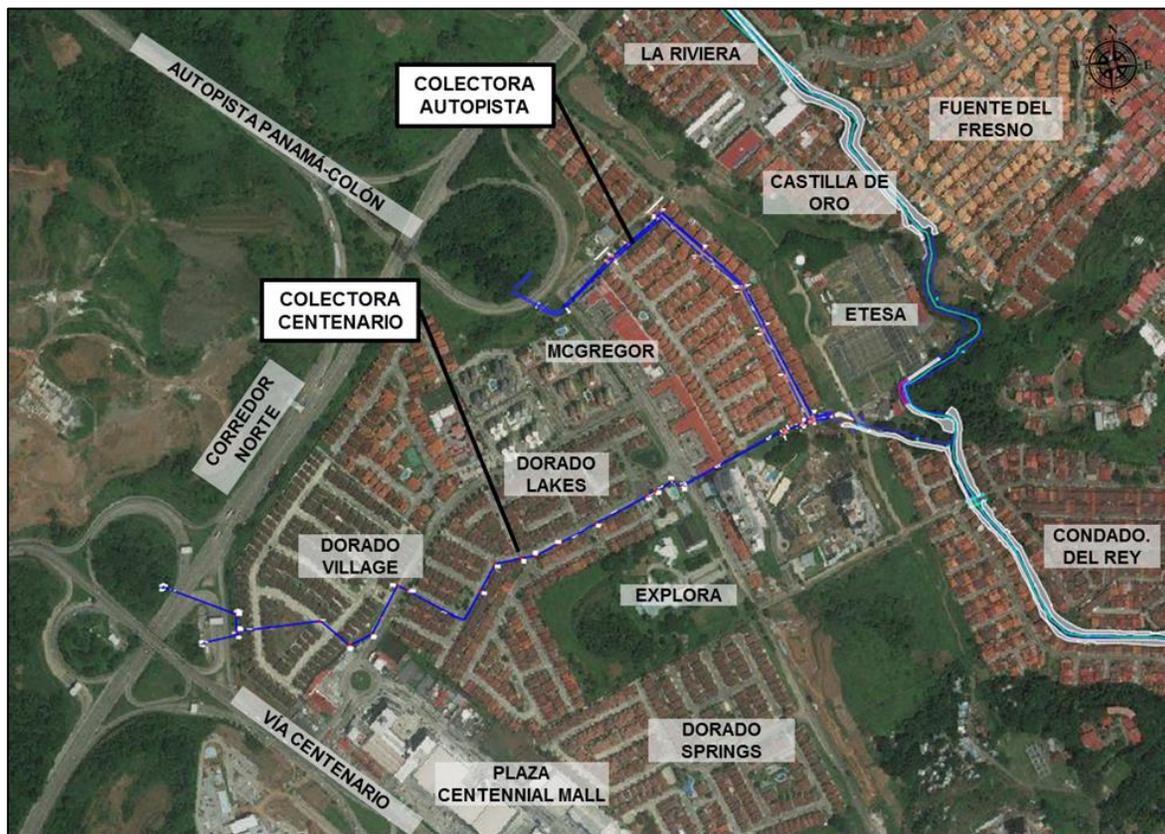


3 DIAGNÓSTICO

De acuerdo con la información recabada en campo mediante el levantamiento topográfico y fotografías, se han determinado algunos puntos que requieren de especial análisis para verificar el estado del funcionamiento de la infraestructura pluvial existente y de la capacidad de la sección del Río Abajo, especialmente se ha prestado mayor atención en la zona norte de la cuenca, en este caso el tramo comprendido entre el Corredor Norte y Linda Vista.

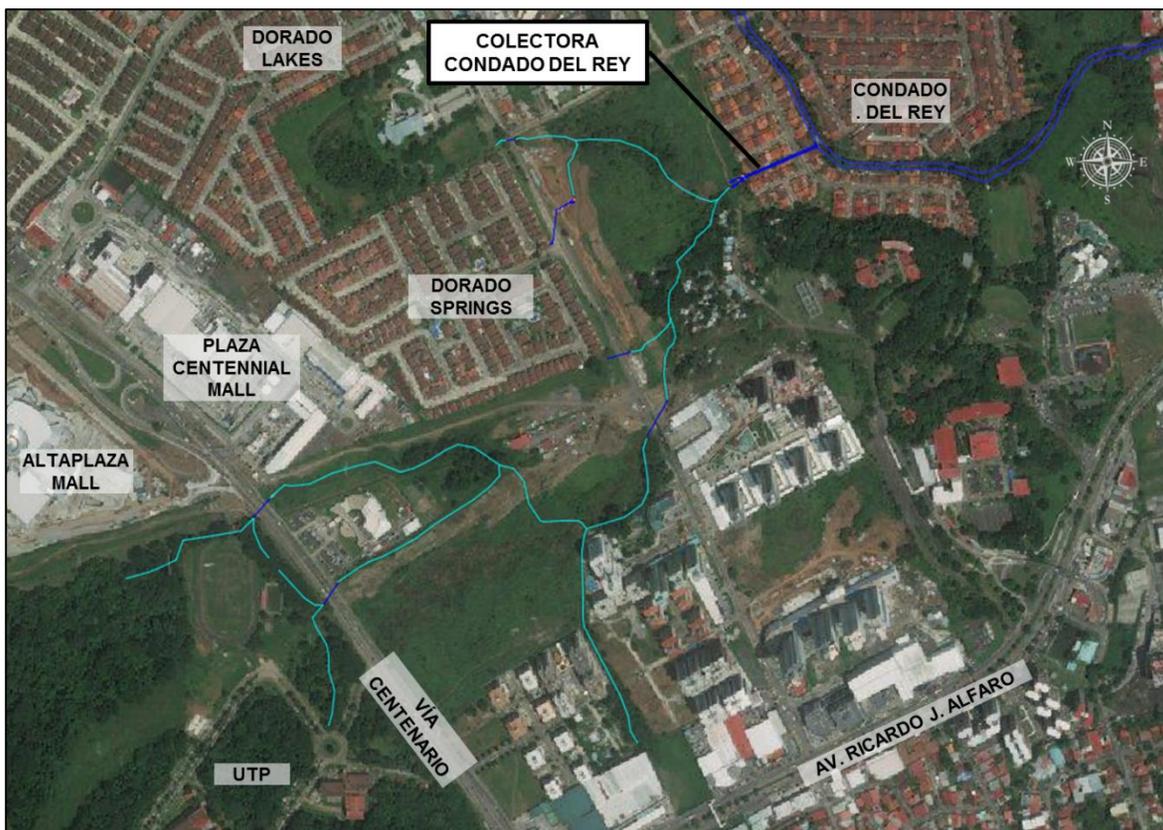
En la siguiente figura se muestra el recorrido de las colectoras pluviales de Centenario y Autopista Panamá-Colón, las mismas también conducen la escorrentía superficial que se produce en las urbanizaciones Dorado Village, Dorado Lakes, McGregor, y Royal Country.

Figura 2. Localización de la ruta de las colectoras de Centenario y Autopista Panamá – Colón.



La Figura 3, muestra la ubicación de la colectoras pluvial de Condado del rey, la cual recibe y conduce la escorrentía pluvial proveniente de la Universidad Tecnológica de Panamá, Vía Centenario, Dorado Springs y Explora.

Figura 3. Localización de la ruta de la colectoras de Condado del Rey.



Durante de proceso del levantamiento de las colectoras, se encontraron diferentes situaciones existentes, las cuales se describen a continuación:

3.1 EVALUACION DE LA CONDICIÓN ACTUAL

3.1.1 COLECTORA CENTENARIO

En la colectoras de Centenario, mostrada en la Figura 2, se observa que el sistema pluvial saliente del Corredor Norte proviene de una escorrentía netamente pluvial, con una tubería simple de hormigón reforzado de 1.90m de diámetro. La misma cambia de material a una tubería de Plástico Novafort (Rib-Loc) una vez que pasa a la propiedad del PH Dorado Village, información obtenida en la cámara de inspección localizada en la servidumbre del Corredor Norte a pocos metros de la cerca perimetral del PH Dorado Village. El recorrido que se muestra en la Figura 2 dentro de PH Dorado Village es un recorrido asumido, ya que no se logró tener el acceso con la Administración del PH. El recorrido interno se dedujo por el espacio de separación que muestran ciertas casas en la ortofoto, donde se asume que el mismo obedece a la servidumbre pluvial de la tubería de 1.90 metros de diámetro proveniente del Corredor Norte.

Posteriormente, siguiendo con el recorrido de la colectoras, se vuelve a ubicar en uno de los tragantes cercanos a la rotonda del Boulevard Paseo Dorado, en el cual se mantienen el diámetro de 1.90 metros en la tubería de plástico tipo Rib-Loc, pero el sistema pluvial muestra síntomas de contaminación, ya que el mismo emanaba olores sanitarios.

Siguiendo con el recorrido de la colectora, vemos que a una distancia de 135 metros aproximadamente, desde la rotonda, la colectora pluvial se desvía hacia los predios del PH Dorado Lakes, entrando por la calle K. Mediante el ingreso al PH se pueden localizar la ruta, logrando obtener los fondos de las cámaras y dimensionamiento de la colectora, y hasta ese punto se mantiene el diámetro de 1.90 metros. En la cámara localizada al lado del muro perimetral del PH Dorado Lakes, afuera de sus predios, se incorpora otra tubería a la colectora pluvial con un diámetro de 1.50 metros, y continuando con su recorrido, la misma cruza la Avenida Condado del Rey, en dirección a un costado de la Planta de Tratamiento del PH Dorado Lakes, posteriormente se desconoce su recorrido exacto ya que la misma no presenta cámaras de inspección y tampoco se logra apreciar claramente en la ortofoto, hasta encontrarnos con una excavación en el extremo sureste de PH Royal Country, en el área verde no desarrollada. Por las fotografías tomadas a la descarga se observan dos tuberías de diámetro 1.90 y 1.50 metros tipo Rib-Loc, las cuales corresponden a las mismas dimensiones encontradas en la colectora proveniente del PH Dorado Lakes, además se puede apreciar el deterioro de las tuberías tipo Rib-Loc en las cercanías de la excavación. Cabe la posibilidad que la excavación que se encuentra en el lugar obedece a la solución de una falla que pudo haber afectado a las tuberías y ser la causante de la inundación dada en el año 2015, donde se represaron las aguas en la entrada del PH Dorado Lakes, afectando el Centro Comercial Country Plaza. Esta excavación puede ser la solución temporal que se consideró para destapar las tuberías, quitando los tramos colapsados y liberando el flujo de agua, pero no se le ha dado una solución permanente y en el lugar ya se muestran síntomas de erosión del material localizado alrededor del sitio de descarga.

Las siguientes fotografías muestran la posible ruta, el punto de excavación encontrado en el PH Royal Country, y el punto de descarga

Fotografía 1. Vista área de posible ruta de la Colectora Centenario saliendo de Dorado Lakes.



Fotografía 2. Vista del sitio de la excavación temporal de la posible colectora.



Fotografía 3. Vista de la excavación, lado opuesto.



Fotografía 4. Punto de descarga de las colectoras Centenario y Autopista.



3.1.2 COLECTORA AUTOPISTA

Se realizó el levantamiento de colectora autopista, desde la oreja de acceso a la Autopista Panamá-Colón. La misma inicia con una estructura de cajón simple de dimensiones 3.05 metros de base y 2.75m de altura, como se muestra en la siguiente fotografía.

Fotografía 5. Cajón pluvial debajo de la oreja del Corredor Norte en dirección a Autopista.



Pasando la servidumbre del Corredor Norte, se encuentra otro cajón con dimensiones similares, el cual conduce las aguas por debajo de la Avenida Condado del Rey y entra en los terrenos del centro comercial Country Plaza II, en ese punto la sección se reduce de un cajón simple, a cuatro tuberías de 1.20 metros de diámetro. Como se muestran en las figuras a continuación.

Fotografía 6. Sección de cajón debajo de Av. Condado del Rey (3.05m x 2.75m).



Fotografía 7. Sección de cajón al final del cruce de Av. Condado del Rey.



Fotografía 8. Cambio de sección hidráulica de cajón simple de 3.05x2.75 metros a cuatro tuberías de 1.20 metros de diámetro. Se registra cambio de fondo de aproximadamente 1.0 metro de profundidad.



Continuando con el recorrido de la colectora de Autopista, la misma se mantiene del lado derecho de la Av. Condado del Rey. Una vez que la colectora sale de los terrenos del centro comercial Country Plaza II, entra en el PH Royal Country pasando justo debajo del parque de la urbanización, ubicado en la entrada del PH, hasta los tragantes que se encuentran en la calle de acceso. Su trayectoria continúa, por debajo de los estacionamientos de visita y de la cancha deportiva, ingresando luego al PH Country Residence. Dentro del PH Country Residence pasa por debajo de los estacionamientos de visita y llega hasta los tragantes de la calle de acceso al PH. En la cámara de este tragante se encuentra una división de las tuberías. Las cuatro tuberías de 1.20m de diámetro se dividen en dos colectoras, una en cada lado de la calle de acceso. Del lado derecho de la calle de acceso en dirección al sur, se ubica una tubería de 1.50 metros de diámetro y del lado izquierdo, con el mismo sentido, se ubican dos tuberías de 1.20 metros de diámetro. Ver Figura 4.

Figura 4. Cambio de cuatro tuberías de 1.20m de diámetros a tres tuberías, una de 1.50m de diámetro y dos de 1.20m de diámetro.



Siguiendo con la trayectoria de ambas colectoras pluviales, se llega a un punto donde, tanto la colectora Centenario como la colectora Autopista convergen para luego salir en un mismo punto de descarga donde se ubica un cabezal con cinco tubos, como se muestra en la Fotografía 4.

En la Figura 5 se muestra el punto de convergencia de la colectora Centenario y Autopista. La colectora Centenario está compuesta por dos tuberías, una de 1.20 metros y otra de 1.50 metros de diámetro. La tubería de 1.50 metros de diámetro de la colectora Autopista se une mediante una caja pluvial a la tubería del mismo diámetro de la colectora centenario para salir en dos tuberías de 1.50 metros de diámetro. En el punto de descarga se obtienen las siguientes diámetros de tuberías: una tubería de 1.90 metros, dos tuberías de 1.50 metros, y dos tuberías de 1.20 metros.

Figura 5. Punto de convergencia de las colectoras Centenario y Autopista. (dos tuberías de 1.20 metros, dos tuberías de 1.50 metros, una tubería de 1.90 metros.)



3.1.3 COLECTORA CONDADO DEL REY

En la Figura 3 se muestra un tramo de tubería que capta las aguas provenientes de los predios de la Universidad Tecnológica de Panamá, Plaza Centennial Mall, el residencial Dorado Spring y Explora. Toda esta escorrentía superficial converge en un sistema compuesto por tres tuberías de 1.35 metros de diámetro, el cual atraviesa la urbanización Condado del Rey por medio de una servidumbre pluvial previamente establecida, para luego descargar en el Río Abajo.

En la siguiente fotografía, tomada desde la entrada del cauce al Colector Condado del Rey permite apreciar que existen edificaciones construidas sobre el espacio destinado para servidumbre pluvial, lo que dificulta la ampliación de esta colector en caso de ser necesario.

Fotografía 9. Entrada del cauce al colector Condado del Rey, compuesto por tres tuberías de 1.35 metros de diámetro.



3.1.4 CAUCE ACTUAL DEL RÍO ABAJO

Para realizar un mejor análisis de los niveles de aguas en el Río Abajo, se optó por realizar un levantamiento especial del recorrido del cauce y sus secciones transversales cada 20m. El punto inicial del levantamiento fue en la salida del cajón pluvial que cruza la troncal del corredor Norte, hasta la desembocadura.

Para este estudio se ha prestado mayor atención en las condiciones actuales del cauce específicamente en el tramo comprendido entre el Corredor Norte y Linda Vista (ver Figura 6).

Figura 6. Localización general del tramo norte del Río Abajo.



En las siguientes fotografías, tomadas en el cauce del Río Abajo, en sentido hacia aguas abajo, se puede observar el estado existente de las diferentes secciones, hasta llegar a la zona de Linda Vista.

Fotografía 10. Sección natural en la parte norte de Santa Bárbara.



Fotografía 11. Sección del Río Abajo entre Santa Bárbara y Altos de Panamá.



Fotografía 12. Sección del Río Abajo entre Castilla de Oro y Fuente del Fresno.



Fotografía 13. Sección del Río Abajo colindando con el polígono de ETESA.



Fotografía 14. Sección del Río Abajo en la zona de ETESA.



Fotografía 15. Sección del Río Abajo saliendo de zona de ETESA y entrando a Condado del Rey.



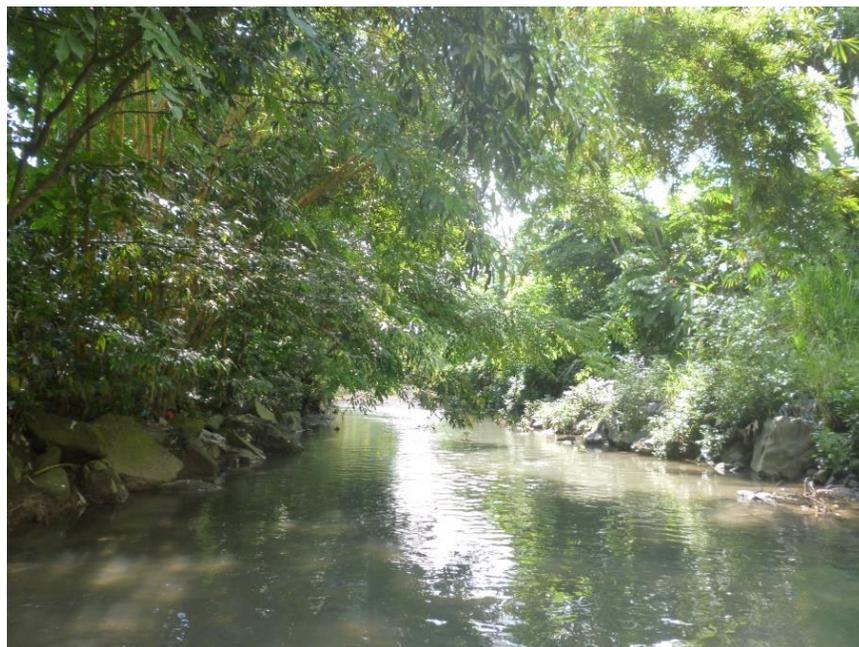
Fotografía 16. Sección de Río Abajo, aguas arriba del puente de Condado del Rey.



Fotografía 17. Sección del Río Abajo, aguas abajo del puente de Condado del Rey.



Fotografía 18. Sección del Río Abajo, aguas arriba del puente de Linda Vista.



Fotografía 19. Sección del Río Abajo en el puente de Linda Vista.



3.2 CÁLCULO DE CAUDALES – ANÁLISIS HIDROLÓGICO

3.2.1 CUENCA 142 (ENTRE RIO CAIMITO Y JUAN DÍAZ)

3.2.1.1 DESCRIPCIÓN Y DATOS GENERALES

El estudio del tramo de la cuenca del Río Abajo se ubica dentro de la Cuenca No 142 corresponde a los ríos entre Caimito y Juan Díaz, se sitúa en la vertiente del Pacífico, dentro de la provincia de Panamá y ocupa una superficie de 383 Km², representando el 0.51% del territorio nacional. Sus coordenadas geográficas son 8° 50' y 9° 05' de latitud norte y 79° 30' y 79° 40' de longitud oeste.

Sus límites naturales son: Por el norte, con la cuenca del Río Chagres; por el sur, con la Bahía de Panamá; por el este, con la Cuenca del Río Juan Díaz; y por el oeste, con la cuenca del Río Caimito. En la parte central de norte a sur se encuentra el Canal de Panamá.

El área de drenaje total de esta cuenca es de 383 Km² hasta la desembocadura al mar. El río principal de la cuenca es el Matasnillo, con una longitud total de 6 Km, corre desde las montañas hasta la Bahía de Panamá, en el Océano Pacífico. Otros ríos importantes de la cuenca son el Curundú, Río Abajo, Matías Hernández y Cárdenas. Otros ríos que están dentro de la cuenca y que desembocan en la Bahía de Panamá son el Río Pedro Miguel, Río Mocambo, Río Camarón, Río Cocolí, Río Farfán, Río Venado, Río Velásquez, Río Castilla y Río Matuela.

La elevación media de la cuenca es de 67 msnm y el punto más alto se encuentra al suroeste de la cuenca a una elevación máxima de 507 msnm. La cuenca registra una precipitación media anual de 2,122 mm. Las lluvias disminuyen gradualmente desde la parte media de la cuenca con 2,500 mm hacia el litoral con precipitaciones de 1,500 mm/año. El 86 % de la lluvia ocurre entre los meses de mayo a noviembre.

Presenta un solo tipo de clima, templado tropical de sabana. Se presentan ecosistemas diversos representados en dos zonas de vida: Bosque húmedo tropical y bosque húmedo premontano.

La vegetación está representada por área cubierta por bosque (bosque secundario maduro, bosque secundario poco intervenido y bosque secundario muy intervenido), herbazales (paja canalera y otros pastizales como árboles, potreros, herbazales) y humedales (manglares y ciénagas).

Dentro de la Cuenca se encuentran los distritos de San Miguelito y Arraiján en la provincia de Panamá, 6 corregimientos (Amelia D. de Icaza, Belisario Porras, Mateo Iturralde, Victoriano Lorenzo, Arraiján y Veracruz) donde la población estimada para el año 2000, fue de 575,707 personas.

El patrón de uso del suelo del área metropolitana de Panamá, en donde está incluida esta cuenca, está dominado por los usos residenciales (constituyen casi el 49% de los usos urbanos).

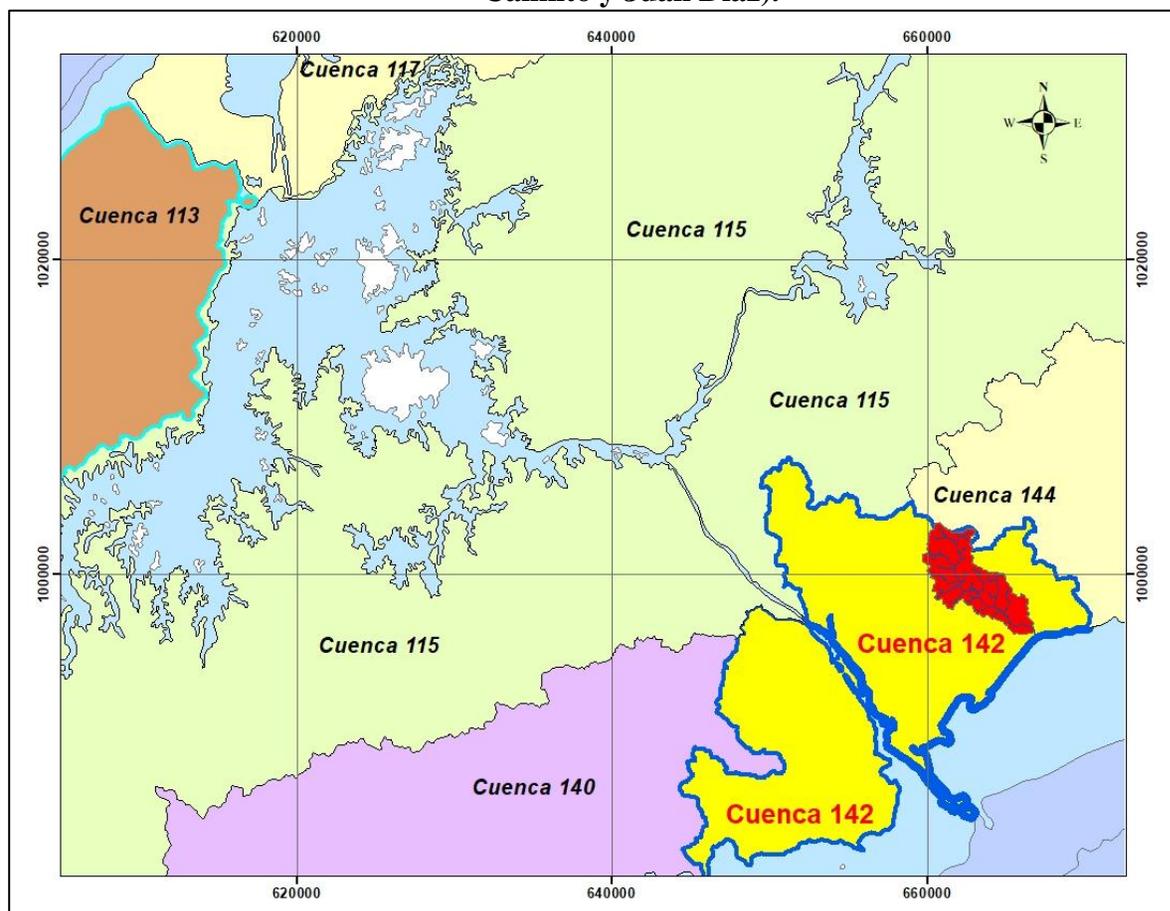
El estudio se centra en el Análisis de un tramo de la Cuenca del Río Abajo con una cuenca de drenaje total de 13.44 Km². Entre las características de la Cuenca General del Río Abajo se puede mencionar.

El Río Abajo posee una subcuenca con un área de 272.44 hectáreas con una longitud de 6 Km, desde la montaña hasta la desembocadura en la Bahía de Panamá.

Está situado al noreste de la ciudad de Panamá. Sus principales afluentes son el río Gallinero y la Quebrada de Monte Oscuro. La cuenca tiene una forma alargada, con un área de drenaje de 23.4 Km.

El punto más alto de la cuenca está a 275 msnm. El relieve de la subcuenca es variado, más accidentado en su parte alta y más plano en su parte baja. Es una cuenca altamente urbanizada con aproximadamente 50% de área ocupada por urbanizaciones.

Figura 7. Localización de la Cuenca del Río Abajo dentro de la Cuenca 142. (Entre río Caimito y Juan Díaz).



3.2.2 ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES DE DISEÑO

La cuenca del río Abajo no tiene mediciones ni registros continuos de caudal, por lo que no se dispone de información directa para estimar los caudales sobre este curso de agua. Ante esta situación, y tomando en cuenta las características de la cuenca, se decidió emplear el Modelado precipitación-escorrentía mediante el modelo HEC-HMS (modelo agregado de análisis de

crecientes), para estimar los caudales máximos a partir de tormenta de diseño, derivadas de la información intensidad-duración-período de retorno que estaba disponible.

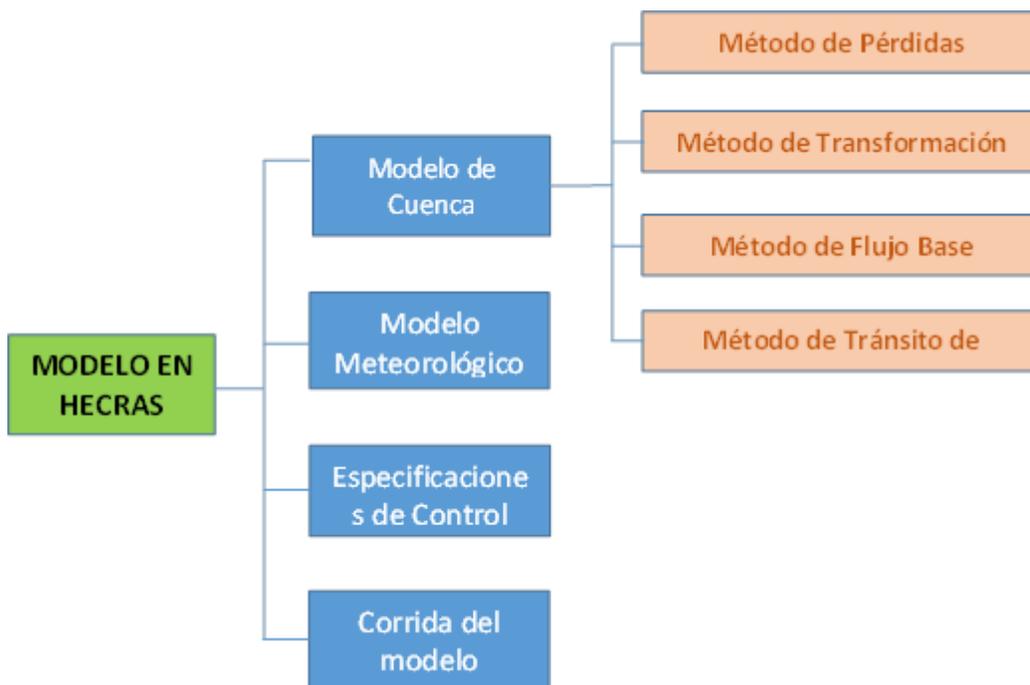
3.2.2.1 ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO POR MODELADO PRECIPITACIÓN -ESCORRENTÍA

El modelo de precipitación-escorrentía es el método indirecto más usual a ser aplicado en los casos en que no existe información directa de caudales de avenida en una cuenca. El modelo HEC-HMS, desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, es probablemente el modelo de simulación hidrológica más ampliamente utilizado y está diseñado para simular la escorrentía superficial que resulta de un evento de precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema de componentes interconectados.

El modelo HEC-HMS permite estimar, de manera agregada, los hidrogramas de crecientes resultantes de eventos de precipitación sobre la cuenca (“tormenta de diseño”) asociado a una recurrencia determinada. El proceso de simulación en HEC -HMS se puede resumir en los siguientes pasos:

- Análisis probabilístico del comportamiento de las precipitaciones extremas en la cuenca y estimación de la tormenta de diseño media sobre la cuenca, para los períodos de retorno de interés
- Definición del modelo de cuenca
- Definición del modelo de abstracciones de precipitación
- Definición del modelo de transformación precipitación-escorrentía
- Corrida de las simulaciones del modelo y obtención de los hidrogramas de crecientes para los períodos de retorno de interés.

Figura 8. Componente del Modelo de Hec-Hms.



3.2.2.1.1 MODELO DE CUENCA (BASIN MODEL)

Este modelo es la representación física de la estructura hidrológica de la cuenca. Para definirlo el programa cuenta con los siguientes elementos:

- **Subcuencas:** Es utilizado para representar la parte física de la cuenca y el número de subcuencas a dividir depende del tamaño de la cuenca de estudio.
- **Tramo de Cauce:** Este elemento es utilizado para trasladar el flujo aguas abajo en el modelo de la cuenca.
- **Unión:** Se utiliza para unir el caudal proveniente de uno o más elementos hidrológicos.
- **Fuente.** Este elemento se utiliza para introducir caudal en el modelo de la cuenca
- **Salida:** Es utilizado para representar el punto de salida de la cuenca
- **Reservorio.** El reservorio se utiliza para modelar la retención y atenuación de un hidrograma causado por un embalse o depósito de retención
- **Desviación.** Se utiliza para modelar el flujo de agua que se desvía de un tramo del cauce.

El primer paso para realizar un modelo en HEC-HMS es la introducción de la cuenca o subcuencas de drenaje. En nuestro caso, para la delimitación de las subcuencas se utilizó un software SIG, capaz de analizar las matrices que componen un modelo digital de elevación (MDT) y delimitar las zonas que vierten a un mismo punto. En base a este procedimiento se generaron 17 subcuencas sobre las cuales se realizaran el análisis.

A continuación se muestra la Figura 9, que muestra las subcuencas de la cuenca del Río Abajo, mientras que la Tabla 1 muestra el área de cada subcuenca.

La Figura 10 muestra la representación gráfica del Modelo generado por el programa HEC-HMS.

Figura 9. Delimitación de las Subcuencas, en la Cuenca del Río Abajo.

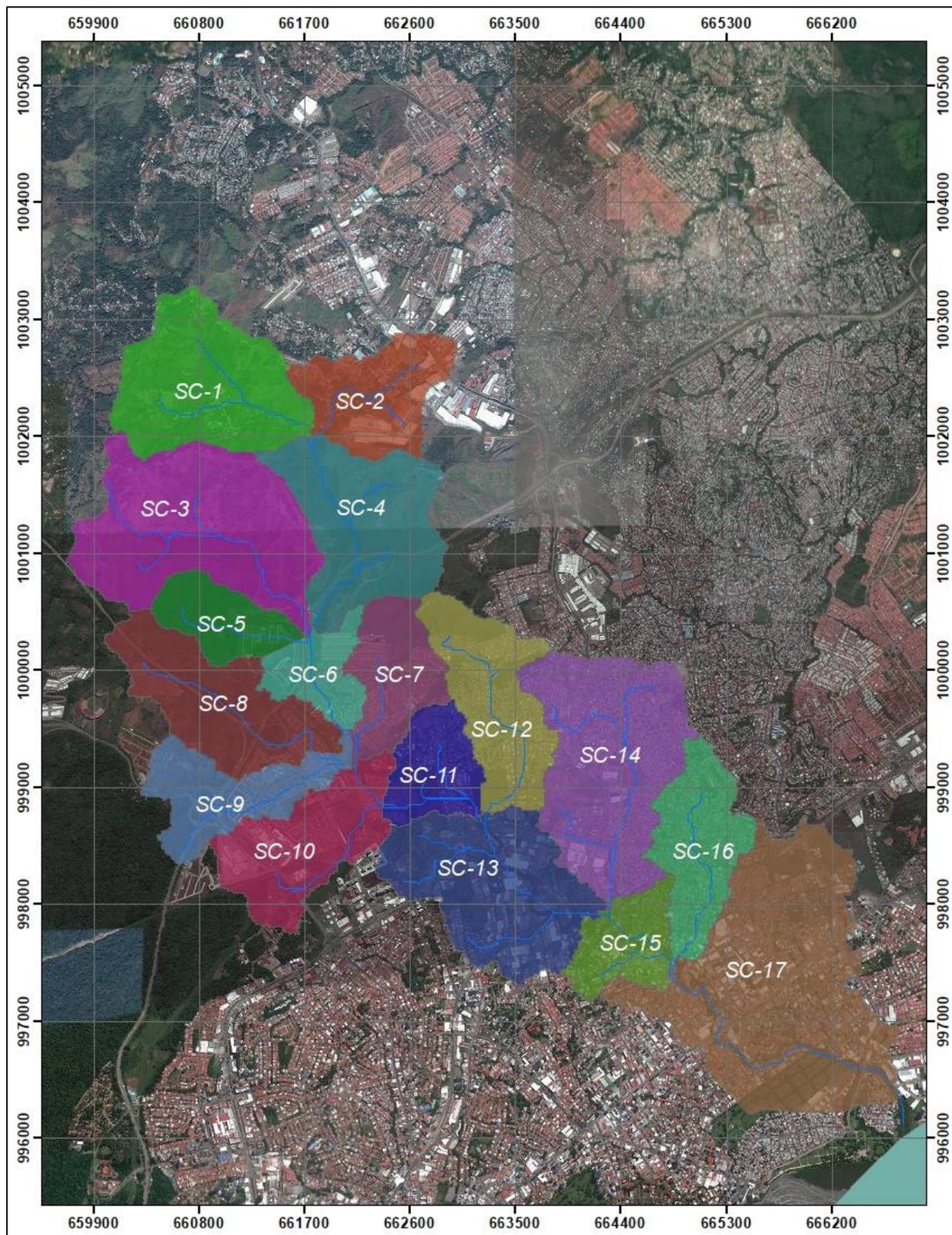
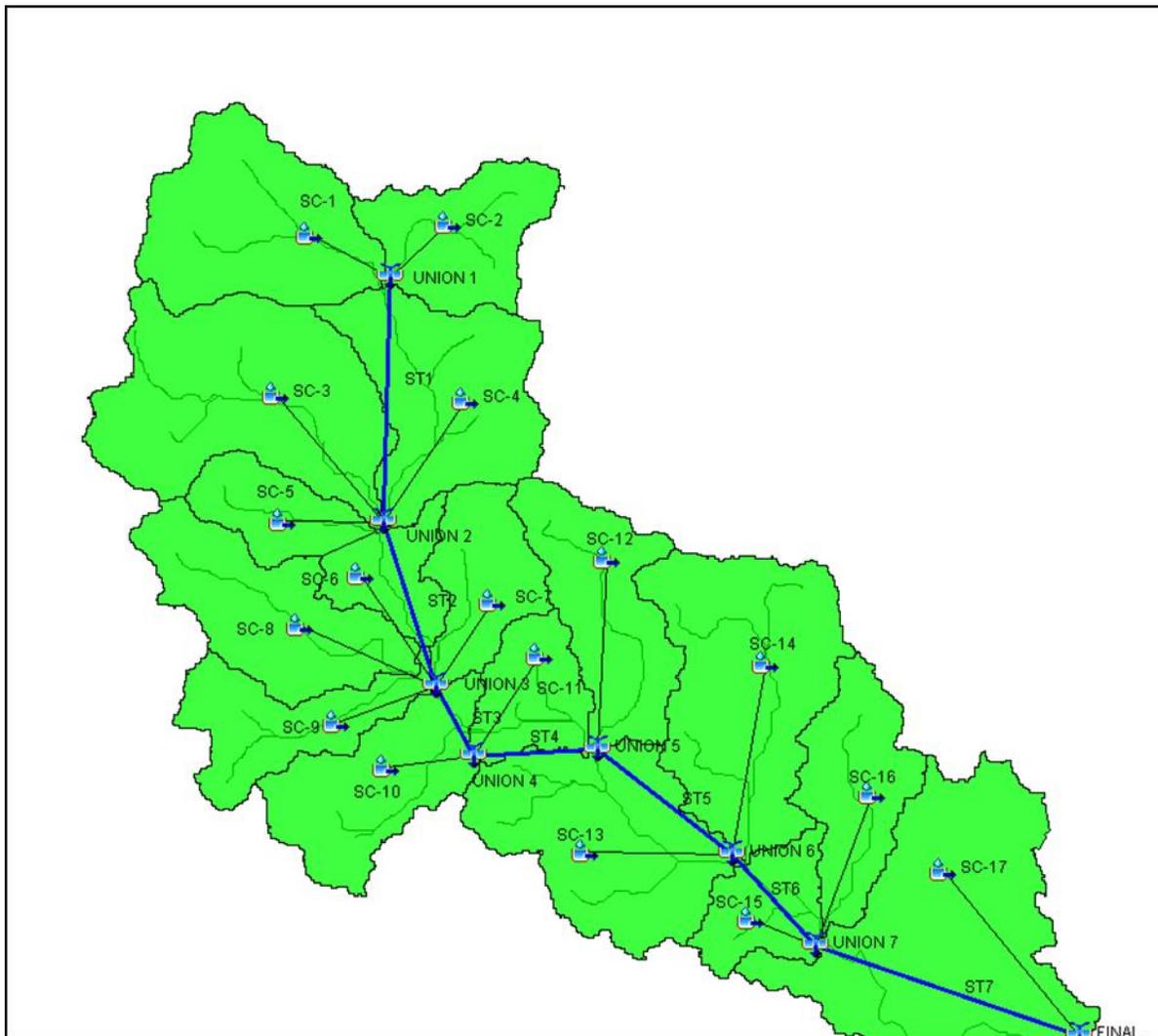


Tabla 1. Áreas de las subcuencas del Río Abajo.

Cuenca	Área (Km²)
SC-1	1.685
SC-2	1.081
SC-3	2.287
SC-4	1.568
SC-5	0.597
SC-6	0.560
SC-7	0.766
SC-8	1.365
SC-9	0.818
SC-10	1.193
SC-11	0.650
SC-12	1.218
SC-13	1.803
SC-14	2.122
SC-15	0.615
SC-16	1.008
SC-17	3.830
TOTAL	23.160

Figura 10. Modelo generado en HEC-HMS para la Cuenca del Río Abajo.



Método de cálculo de pérdidas (Loss Method)

Esto permite seleccionar el método por el cual el programa calcula las pérdidas por infiltración separando la precipitación efectiva de la precipitación total y estimando así la precipitación que se convierte en escorrentía directa.

En el elemento hidrológico subcuenca se debe realizar el proceso de separación de lluvia neta-bruta para ello se utilizara el método SCS, (U.S. Soil Conservation Service), el cual calcula la escorrentía a partir de un solo parámetro denominado “número de curva”, el cual depende de las condiciones de infiltración del área donde ocurre la precipitación. Este método lo estableció empíricamente el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de Norteamérica (1964).

El número de curva se trata de un parámetro adimensional cuyos valores oscilan entre 0 y 100, un valor de $NC=100$ significa una capacidad de retención máxima en la cuenca y un valor de $NC=0$ significa una capacidad de retención nula.

El número de curva se obtiene en función de los siguientes factores:

- Tipo de suelo (determina su capacidad de filtración).
- Uso del suelo y cubierta vegetal.
- Tratamiento del suelo (condiciones de filtración).
- Pendiente.
- Estado de humedad precedente.

Su uso está ampliamente extendido debido a las siguientes razones:

- Es un método relativamente sencillo, cuyo uso se ha estandarizado en todas las regiones de Estados Unidos y en numerosos países.
- Es un método avalado por una institución reconocida internacionalmente (NRCS, Natural Resources Conservation Service).
- Se incluye en la mayoría de los modelos hidrológicos comerciales (software hidrológico) de mayor utilización en el campo de la Hidrología.
- Los datos que necesita son pocos y fáciles de obtener.
- Tiene en cuenta las variables que tienen mayor influencia en la generación.

Para el cálculo del número de curva (NC) se ha utilizado el programa ArcGIS, combinando la cartografía temática, el Mapa de Uso de Suelo (2018) del Ministerio de ambiente y la Tabla del número de curva expresada en el libro de Vente Chow.

Tabla 2. Números de curva según las condiciones de humedad AMC II. Ia=0.2 S. (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA		GRUPO HIDROLOGICO DEL SUELO			
		A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ :	Sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
	Con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales:	Condiciones pobres	68	79	86	89
	Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos:	Condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques:	Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
	cubierta buena ²	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.					
	Óptimas condiciones: Cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
	Condiciones aceptables: Cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial ³ :					
	Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable ⁴			
	1/8 acre o menos	77	85	90	92
	1/4 acre	61	75	83	87
	1/3 acre	57	72	81	86
	1/2 acre	54	70	80	85
	1 acre	51	68	79	84
Parqueos pavimentados, techos, accesos, etc. ⁵		98	98	98	98
Calles y carreteras:					
	Pavimentados con cunetas y alcantarillas ⁵	98	98	98	98
	Grava	76	85	89	91
	Tierra	72	82	87	89

En base a los criterios definidos se definieron los siguientes Factores de CN, según usos suelos identificados en el área de la cuenca.

Tabla 3. Valores de CN propuesto según tipo de uso de Suelo.

Uso de Suelo	CN
Áreas Pobladas	90.00
Bosque Maduro	73.00
Bosque Secundario	73.00
Rastrojo	77.00
Suelo Desnudo	75.00
Uso Agrícola	88.00
Vegetación Herbácea	75.00

A pesar de la determinación de los valores de CN, en base al uso de tierra encontrados en la tabla anterior, se definirán nuevos coeficientes de CN considerando el Manual del MOP en la cual se exige el uso de los siguientes coeficientes.

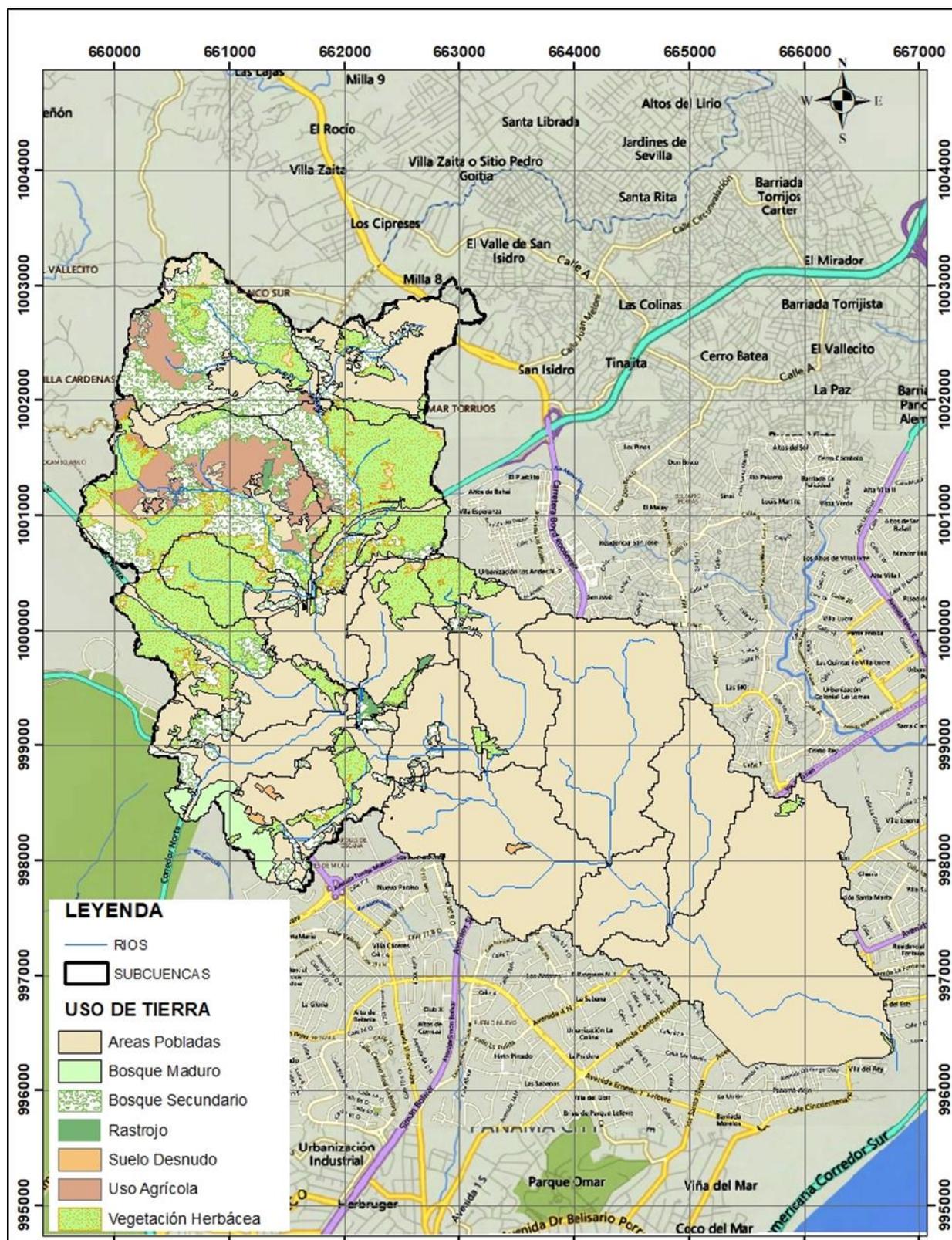
C	Tipo
0.85	Para diseños pluviales en áreas sub-urbanas y en rápido crecimiento.
0.90 – 1.00	Para diseños pluviales en áreas urbanas deforestadas
1.00	Para diseños pluviales en áreas completamente pavimentadas

Quedando los nuevos coeficientes de CN en:

Tabla 4. Valores de CN propuesto en base a la exigencia del Manual del MOP.

Uso de Suelo	CN
Áreas Pobladas	95.00
Bosque Maduro	85.00
Bosque Secundario	85.00
Rastrojo	85.00
Suelo Desnudo	85.00
Uso Agrícola	88.00
Vegetación Herbácea	85.00

Figura 11. Mapa de uso de suelo en la cuenca del río Abajo.



En la siguiente tabla se muestran los diferentes valores de CN para las distintas subcuencas del Río Abajo.

Tabla 5. Número de Curva promedio ponderado para cada Subcuenca, (Periodo de retorno de 100 años).

Cuenca	Numero de Curva (CN)	
	Condición Actual	Condición Futura
SC-1	76.80	79.80
SC-2	80.20	83.00
SC-3	76.00	89.20
SC-4	68.00	89.50
SC-5	79.00	86.00
SC-8	81.50	88.50
SC-9	87.00	90.00
SC-7	80.00	81.50
SC-6	87.50	90.00
SC-10	87.00	90.00
SC-11	87.00	90.00
SC-12	87.00	90.00
SC-14	87.00	90.00
SC-13	87.00	90.00
SC-16	87.00	90.00
SC-15	87.00	90.00
SC-17	87.00	90.00
SC-17	87.00	90.00

Método de transformación de lluvia en escorrentía (Transform Method)

La transformación del exceso de precipitación (precipitación neta) en escorrentía superficial al final de cada subcuenca, se realiza por el método de Hidrograma Unitario del SCS. Se basa en la definición de un hidrograma unitario adimensional, solo requiere del parámetro Tlag, tiempo de retardo, que se define como la diferencia de tiempo entre el centro de masa del exceso de precipitación y la punta del Hidrograma Unitario. El Tlag puede ser relacionado con el tiempo de concentración mediante la siguiente expresión:

$$Tlag = 0.7 Tc$$

El tiempo de concentración se define como: tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre. Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la

cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado. Este punto es aquel desde el que el agua de escorrentía emplea más tiempo en llegar a la salida.

Los valores de los tiempos de concentración (T_c) de cada subcuenca, se calcularon en base a la Ecuación de Témez (1978), que se define como:

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{I^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Donde:

L: Longitud del cauce principal de la subcuenca (km).

I: Pendiente media del cauce principal (m/m)

Tabla 6. Longitud de Cauce, Tiempo de Concentración y Tiempo de retardo para cada subcuenca.

Cuenca	L(Km)	Tc (min)	Tlag (min)
SC-1	1.75	47.26	28.36
SC-2	1.81	63.75	38.25
SC-3	2.38	73.95	44.37
SC-4	2.31	79.20	47.52
SC-5	1.21	38.26	22.96
SC-6	0.99	42.77	25.66
SC-7	1.49	41.20	24.72
SC-8	1.97	57.13	34.28
SC-9	1.96	55.52	33.31
SC-10	1.60	58.61	35.17
SC-11	1.60	58.61	35.17
SC-12	0.96	47.38	28.43
SC-13	2.39	68.45	41.07
SC-14	2.25	72.76	43.66
SC-15	2.40	75.52	45.31
SC-16	0.69	27.44	16.46
SC-17	1.93	65.87	39.52

Método de tránsito (Routing Method)

El tránsito de avenidas es un procedimiento para determinar el tiempo y la magnitud del caudal (es decir, el hidrograma) en un punto de un curso de agua utilizando hidrogramas conocidos o supuestos en uno o más puntos aguas arriba.

El método de Muskingum, presentado por primera vez en 1938, es un método de tránsito hidrológico que se usa comúnmente para manejar relaciones caudal-almacenamiento variable.

En su formulación básica el método modela el almacenamiento volumétrico (S) en el tramo comprendido entre dos secciones, mediante la combinación del almacenamiento de cuña y prisma como una función lineal del gasto que entra en la sección aguas arriba (I) y el que sale en la de aguas abajo (O). Además, considera que en el tramo no hay influencia lateral

Durante el avance de la onda creciente, el caudal de entrada es mayor que el caudal de salida, siendo un almacenamiento de cuña.

Durante la recesión, el caudal de salida es mayor que el caudal de entrada resultando en una cuña negativa. Adicionalmente, existe un almacenamiento por prisma que está formado por un volumen de sección transversal constante a lo largo de la longitud del canal prismático.

Para la aplicación del método se requiere información acerca de:

Factor de tiempo de viaje K (h), constante para todo el tramo.

Factor adimensional de ponderación del amortiguamiento o retardo X (entre 0 y 0.5) depende de las características del cauce y la pendiente del mismo.

Para nuestro análisis se utilizó un valor de $X=0.2$ para cada subcuenca

3.2.2.1.2 MODELO METEOROLÓGICO (METEOROLOGICAL MODEL)

El Modelo HEC-HMS requiere información pluviométrica de las estaciones más cercanas a la cuenca, por lo que como primer paso se verifico las estaciones pluviométricas dentro de la **Cuenca No. 142**.

Según la información presenta por el departamento de Hidrometeorología de ETESA en página web, se pudo encontrar que en esta cuenca existía una gran variedad de estaciones pluviométricas donde la mayoría fueron cerradas. Se pudo encontrar que solo 4 estaciones cuentan con información confiables, sin embargo estas estaciones solo cuentan con data hasta el año 2012.

Tabla 7. Información de las Estaciones pluviométricas dentro de la Cuenca 142.

Estación	Número	Data Inicial	Data final
Albrook Heights	142-004	1965	2012
Pedro Miguel	142-007	1965	2012
Balboa FAA	142-010	1985	2012
Diablo Heights	142-018	1993	2012

Como se pudo comprobar, no existe data actual de estaciones pluviométricas dentro de la cuenca donde se realiza el análisis.

EL MOP, en su Manual de Revisión de planos, presenta curvas de **Intensidad Duración Frecuencia**, que sirven de base para generación de caudales de diseño para estructuras Hidráulicas.

Estas curvas **I-D-F** fueron generadas sobre registros estadísticos de precipitaciones en un periodo de 57 años, dichos datos fueron obtenidos en las Estaciones Meteorológicas de **Balboa Heights**, **Balboa Docks**, y la Estación Pluviométrica de la Universidad de Panamá, precisamente estaciones que se ubican dentro de la cuenca en estudio.

En el 2015, en la Universidad Tecnológica de Panamá se presenta el trabajo de graduación **“Generación de Relaciones Intensidad Duración Frecuencia para Cuencas en Panamá”**, realizados por los Ingenieros Alcely Lau y Antonio Pérez, cuyo principal objetivo era generar curvas I-D-F para la ciudad de Panamá considerando la data más reciente que se tenga de estaciones pluviométricas.

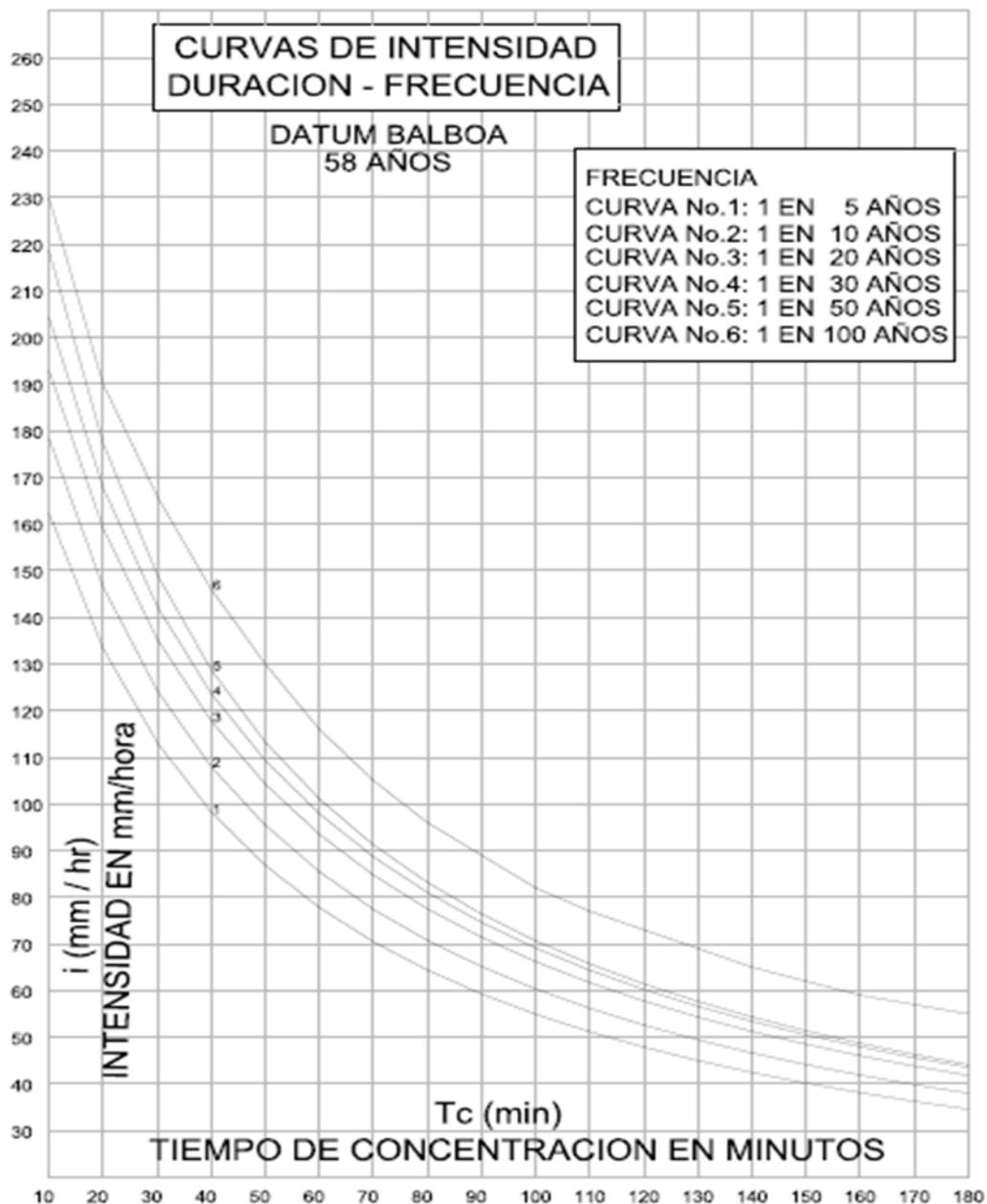
La investigación se realizó en base a los registros de precipitación cada 15 min, hora y día de 76 estaciones, dispersas en 10 cuencas, que la Empresa de Transmisión Eléctrica S.A. (ETESA) brindo al estudio.¹

Por lo antes expuesto, para la implementación de las precipitaciones en el modelo HEC-HMS, se utilizaran como data de entrada por un lado las curvas IDF del manual de MOP y las curvas IDF de la cuenca del río Juan Díaz generadas en la Tesis “Generación de Relaciones Intensidad Duración Frecuencia para Cuencas en Panamá”, por considerar que ambas curvas fueron generadas en base a muchos años de registro siendo la información más confiable que se puede encontrar.

Los gráficos 1 y 2 presentan las curvas I-DF generadas por el MOP y las curvas I-D-F generadas por la Tesis antes mencionada.

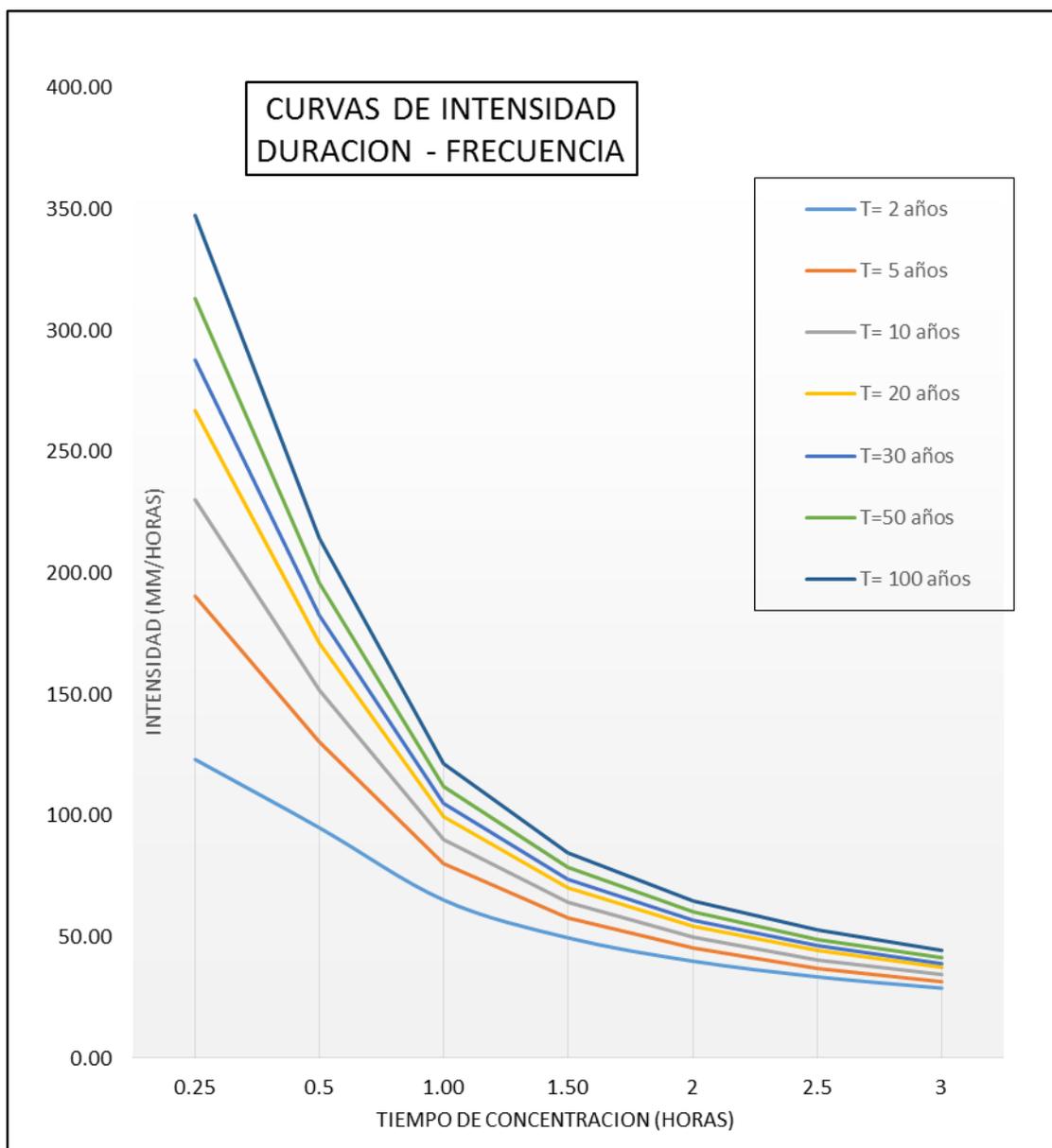
¹ Ver.Lau y Perez, *Generación de Relaciones Intensidad Duración Frecuencia para Cuencas en Panamá*, p. xix.

Gráfico 1. Relación intensidad Duración Frecuencia, según manual de aprobación del MOP



Fuente: Manual de Aprobación del MOP

Gráfico 2. Relación intensidad Duración Frecuencia, según Tesis



Fuente: Tesis “Generación de Relaciones Intensidad Duración Frecuencia para Cuencas en Panamá”, realizada por los Ingenieros Alcely Lau y Antonio Pérez.

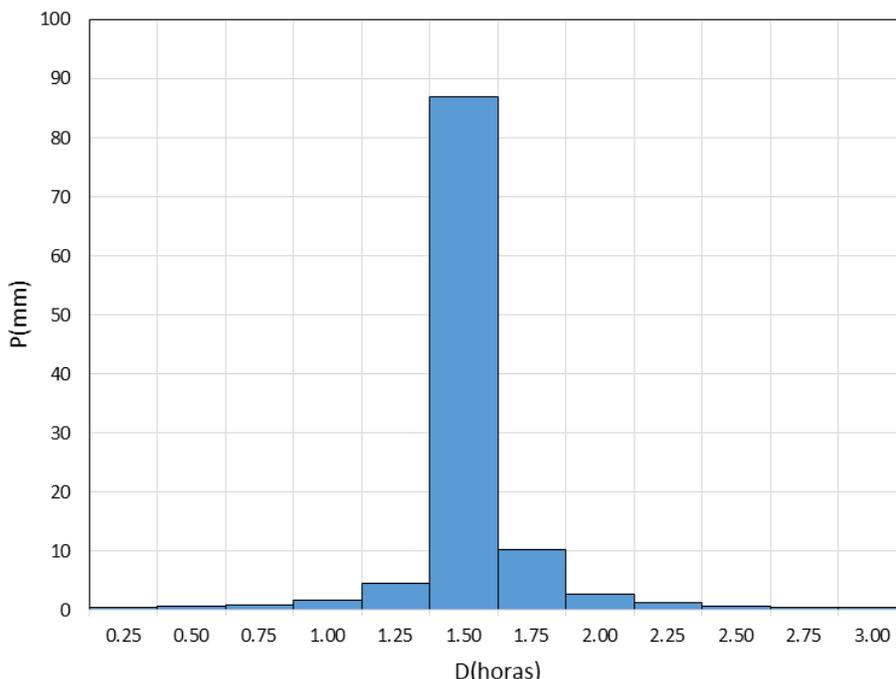
Distribución temporal de las precipitaciones: Hietogramas de diseño

Para genera el Histograma de Diseño se utilizara el Método de Bloque Alterno, este es una forma simple para desarrollar un hietograma de diseño utilizando una curva de Intensidad–Duración–Frecuencia. El hietograma de diseño producido por este método especifica la profundidad de precipitación que ocurre en n intervalos de tiempo sucesivos de duración Δt sobre una duración total de $T_d = n\Delta t$.

Después de seleccionar el periodo de retorno de diseño, la intensidad es leída la curva IDF para cada una de las duraciones $t\Delta$, $t\Delta 2$, $t\Delta 3$,..., y la profundidad de precipitación correspondiente se encuentra al multiplicar la intensidad y la duración. Tomando diferencias entre valores sucesivos de profundidad de precipitación, se encuentra la cantidad de precipitación que debe añadirse por cada unidad adicional de tiempo Δt Estos incrementos o bloques se reordenan en una secuencia temporal de modo que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida T_d y que los demás bloques queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central para formar el hietograma de diseño. En base a las características de la cuenca se ha establecido en 3 horas el Tiempo de Concentración y periodo de tiempo de 15 min. En base a este análisis se han generado los siguientes hietogramas de diseño.

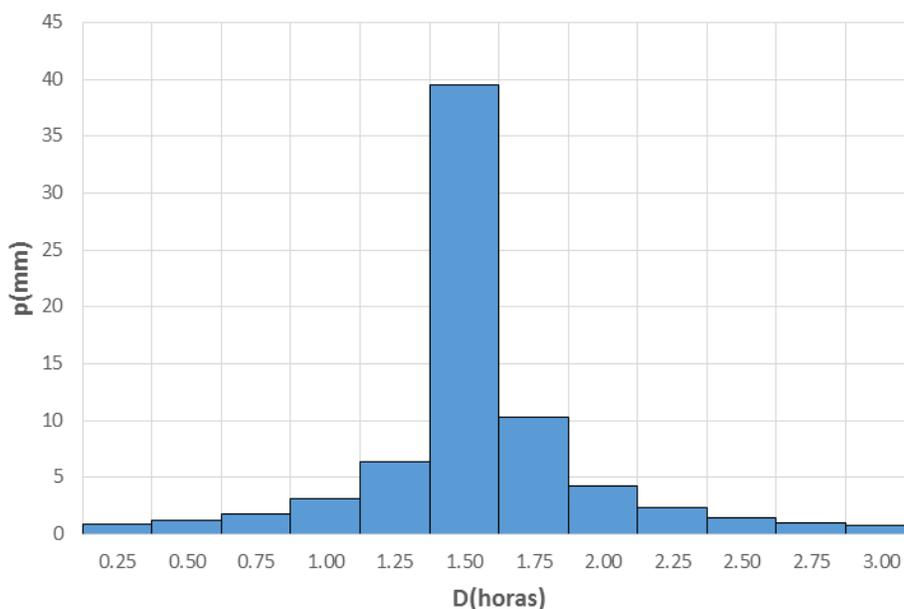
En las Gráficas de la 3 a la 4 se presentan los hietogramas de diseño para 100 años generadas en base a las curvas I-D-F del el MOP y las curvas I-D-F generadas por la Tesis antes mencionada.

Gráfico 3. Hietograma de diseño T=100 años, según Tesis



Fuente: Tesis “Generación de Relaciones Intensidad Duración Frecuencia para Cuencas en Panamá”, realizada por los Ingenieros Alcely Lau y Antonio Pérez.

Gráfico 4. Hietograma de diseño T=100 años, según el manual de aprobación del MOP



Fuente: Manual de Aprobación del MOP

Como se puede apreciar los valores más extremos corresponde a los valores generados por de la curva I-D-F generadas en la Tesis: “Generación de Relaciones Intensidad Duración Frecuencia para Cuencas en Panamá”, por lo cual será la que se utiliza como data de entrada al Modelo de HEC-HMS

3.2.2.1.3 RESULTADOS DEL MODELO HEC-HMS

Las simulaciones con el modelo HEC-HMS se realizaron, tal como se ha descrito en los capítulos anteriores, con las siguientes condiciones:

- Modelo de abstracciones de precipitación del SCS. Número de curva para la cuenca según cobertura y tipo de suelo, para condiciones antecedentes de humedad tipo II. Abstracciones iniciales del 20% de la retención potencial máxima S de la cuenca.
- Modelo de transformación precipitación-escorrentía según el hidrograma unitario sintético adimensional del SCS. Tiempos de concentración y retardo calculados mediante la ecuación de Témez.
- Modelo de precipitación: Hietograma de diseño generado en base a las curvas de intensidad-duración-frecuencia generadas según el Trabajo de Tesis realizados por los Ingenieros
- Periodo de simulación: 15 minutos.

Los resultados según el análisis del modelo establecido, se detallará a continuación:

Resultados de caudales en las subcuencas para un periodo de retorno de 100 años y considerando las relaciones de Intensidad – Duración – Frecuencia generada por los Ingenieros Alcely Lau y Antonio Pérez.

Tabla 8. Caudales resultantes en las subcuencas para un periodo de retorno de 100 años.

Cuenca	Caudales Actuales Q(m ³ /s)	Caudales Futuros Q(m ³ /s)
	T=100 años	T=100 años
SC-1	30.8	33.1
SC-2	17.2	17.6
Unión 1	48.0	50.7
SC-3	31.3	44.0
SC-4	18.0	28.6
SC-5	13.4	17.3
Unión 2	110.7	140.6
SC-8	24.7	33.0
SC-9	18.4	20.3
SC-7	16.9	17.8
SC-6	15.9	17.1
Unión 3	186.6	228.8
SC-10	27.7	30.6
SC-11	18.0	19.9
Unión 4	232.3	279.3
SC-12	24.8	27.3
Unión 5	257.1	306.6
SC-14	41.0	45.1
SC-13	33.7	37.1
Unión 6	331.8	388.8
SC-16	42.7	47.0
SC-15	12.9	14.3
Unión 7	387.4	450.1
SC-17	53.0	58.4
DESCARGA FINAL	440.4	508.5

3.3 SIMULACIÓN DE LA CONDICIÓN ACTUAL DEL RÍO ABAJO

Se preparó una modelación del Río Abajo bajo la condición de desarrollo actual utilizando el programa HEC-RAS. Este programa fue desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del US Army Corps of Engineers para la modelación hidráulica del flujo en canales, con herramientas que permiten la visualización gráfica de los análisis de inundabilidad. Se simuló el tramo comprendido entre el Corredor Norte y la desembocadura, con la finalidad de evaluar el comportamiento del nivel de aguas máximas (NAME) para un tiempo de retorno de 100 años con los caudales actuales resultantes que fueron determinados utilizando la metodología SCS y descrito en el capítulo anterior.

Para el cálculo de la escorrentía superficial en la condición actual, se ha considerado la escorrentía producida por el área ya desarrollada, incluyendo los proyectos en etapa de ejecución.

Los resultados de este análisis se muestran en la Figura 16. En dicha figura se han identificado las zonas en las que el nivel de la superficie del agua supera el borde superior del talud del río y como consecuencia presenta desbordamientos. Se han diferenciado aquellas zonas que presentan desbordamientos con profundidades menores a 0.40 m de aquellas que presentan desbordamientos mayores a 0.40 m. Esta distinción se ha hecho considerando que las inundaciones menores a 0.40 m pueden ser subsanadas con mayor facilidad, mediante la construcción de estructuras de reten tipo muros o bermas. Sin embargo, las zonas con desbordamientos mayores a 0.40 m requieren de mayor atención.

En la Figura 16 se puede observar que las áreas que presentan mayor vulnerabilidad a inundaciones se encuentran en la parte sur de la cuenca del río, es decir aguas abajo del puente de la Av. Simón Bolívar, hasta la desembocadura. Este tramo refleja que la lluvia con periodo de retorno de 100 años, en condición actual, produce inundaciones con niveles superiores a 0.40 metros

Es importante hacer la salvedad que el Río Abajo, en su mayoría, no cuenta con una servidumbre formalmente establecida. Se ha realizado una investigación con los planos catastrales de algunas áreas colindantes con el cauce del Río Abajo, y muchas de ellas no guardan una separación apropiada con los bordes de taludes del río (ver Figura 12). Se hace referencia a este hecho ya que los planos datan de los años 1960, y en ese tiempo la reglamentación no obligaba a conservar un retiro adecuado o mantener un bosque de galería.

Figura 12. Planos catastrales de lotificación colindante con el Río Abajo, específicamente entre la Av. La Pulida y la Vía José A. Arango.

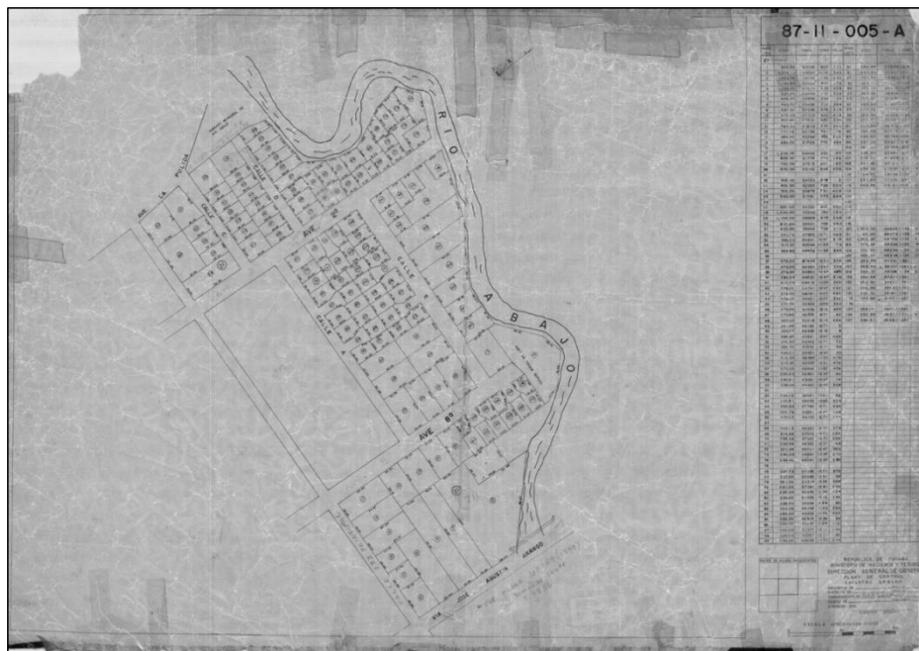


Figura 13. Acotaciones del ancho de servidumbre actual según levantamiento topográfico en lotificación colindante con el Río Abajo, específicamente entre la Av. La Pulida y la Vía José A. Arango.



En la Figura 14 se muestra el área específica de Condado del Rey, que cuenta con planos catastrales de 1987 en los que se puede identificar que el promotor estableció una servidumbre pluvial a lo largo del desarrollo de 25.00 m. Sin embargo, de acuerdo al levantamiento topográfico realizado recientemente, se encontró que, al medir el espacio dedicado al Río entre cerca y cerca de las viviendas adyacentes, en muchos casos no se conserva dicho ancho de servidumbre (ver Figura 15).

Figura 14. Plano catastral de 1987, muestra las primeras etapas desarrolladas en Condado del Rey.

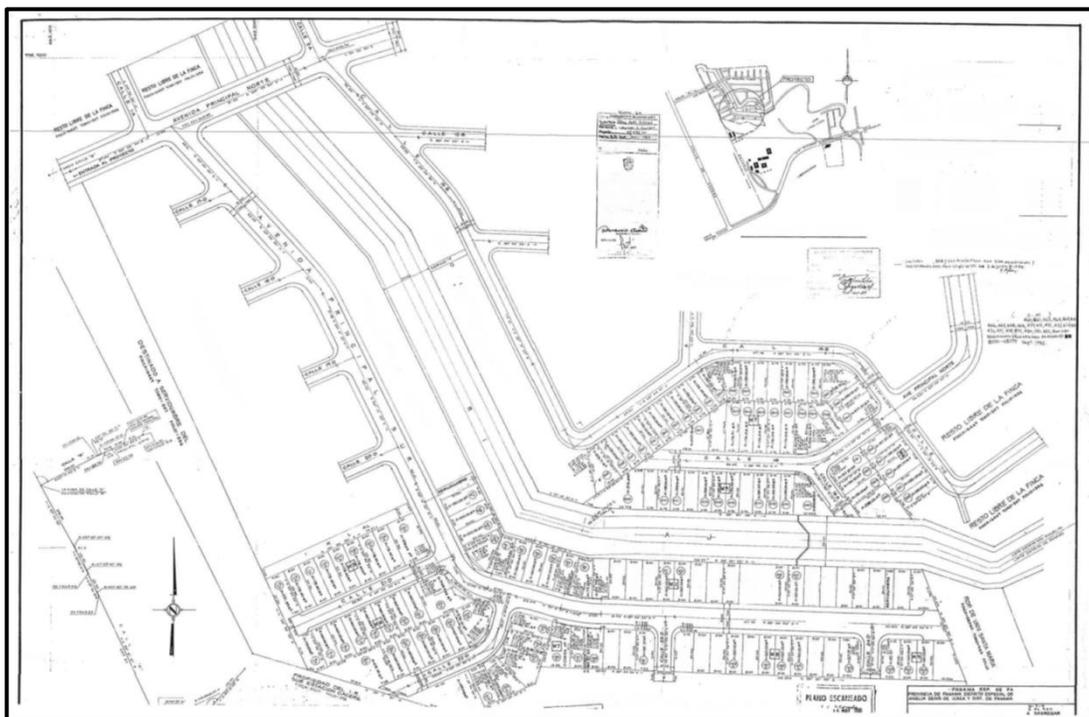


Figura 15. Acotaciones del ancho de servidumbre actual disponible según levantamiento topográfico en Condado del Rey



Otro punto crítico presente en el cauce del Río Abajo, específicamente en el tramo comprendido entre el Corredor Norte y el cruce de la Av. Ricardo J. Alfaro, son los puentes ubicados en Condado del Rey y en Linda Vista, los cuales no presentan la altura apropiada para cumplir con el NAME actual. El efecto de estos puntos críticos se puede ver en el perfil del cauce actual, mostrado en la Figura 17, donde precisamente aguas arriba de los puentes mencionados se producen remansos que aumentan significativamente los niveles de agua, afectando las áreas de ETESA, Condado del Rey y Linda Vista (ver Fotografía 20).

Fotografía 20. Vista del puente de Condado del Rey, donde se puede apreciar el poco galibo existente disponible.



Figura 16. Zonas vulnerables a inundaciones bajo la condición actual para la lluvia estimada de recurrencia de 100 años.

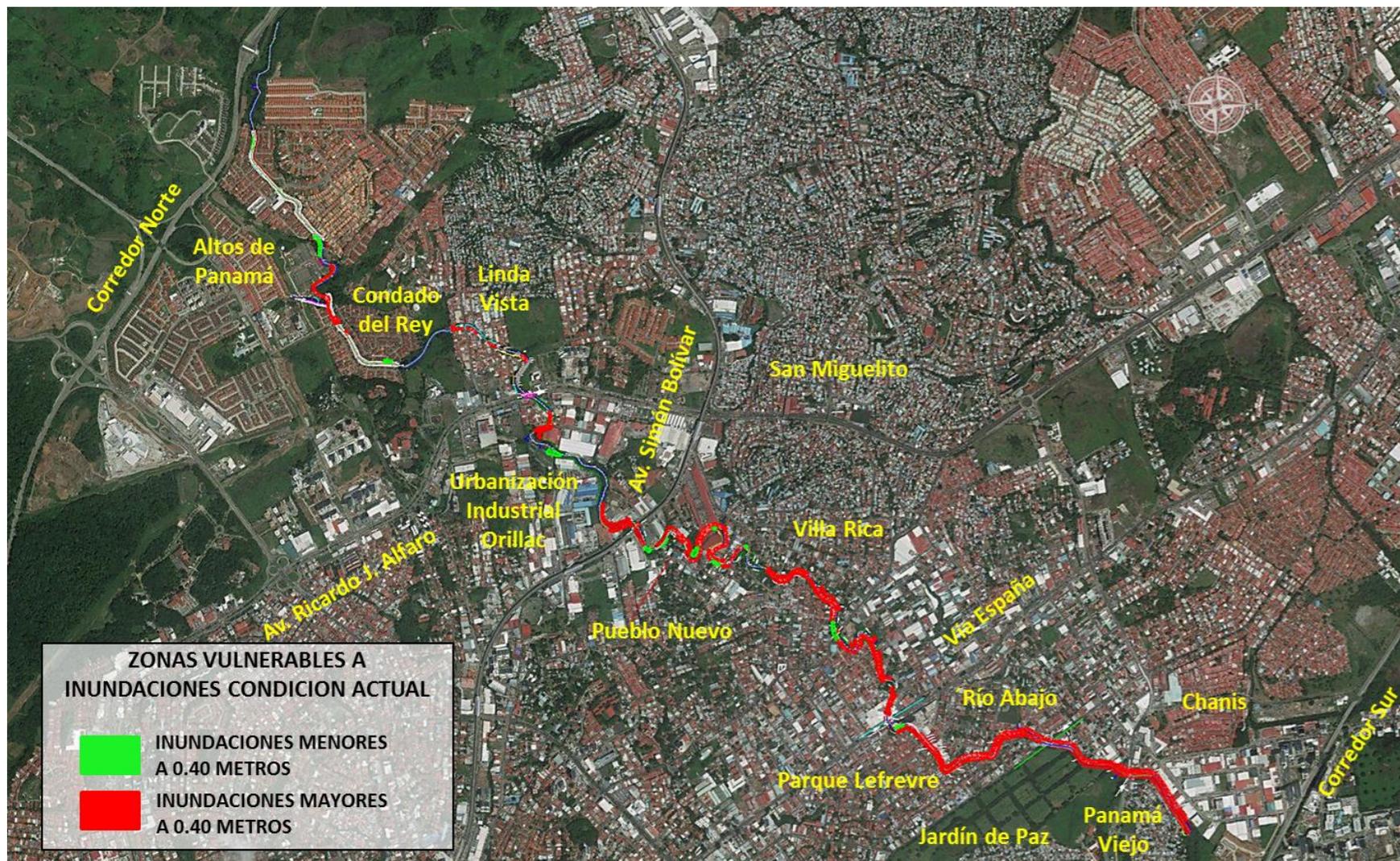
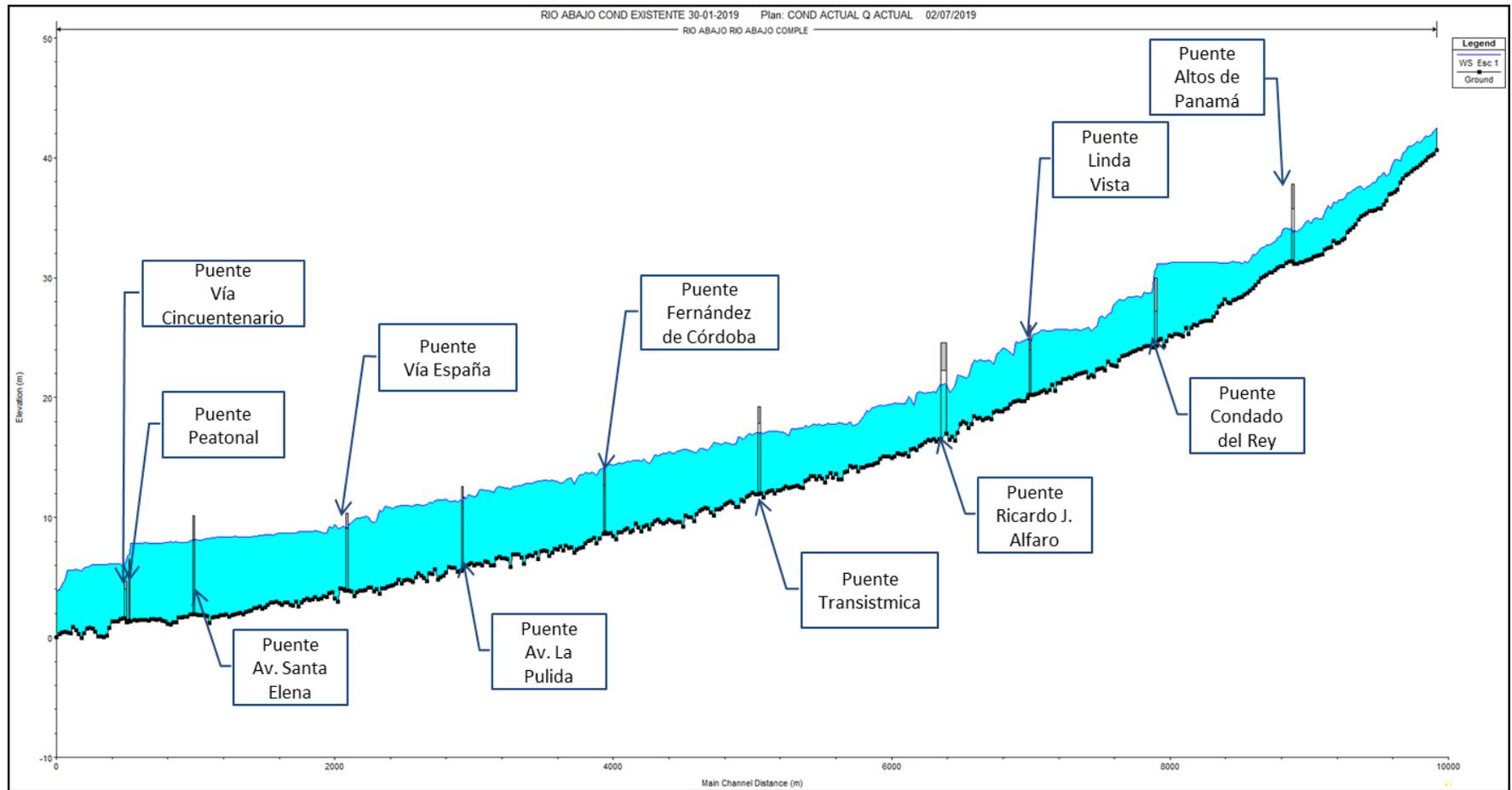


Figura 17. Perfil del Río Abajo bajo la condición actual para la lluvia estimada de recurrencia de 100 años.



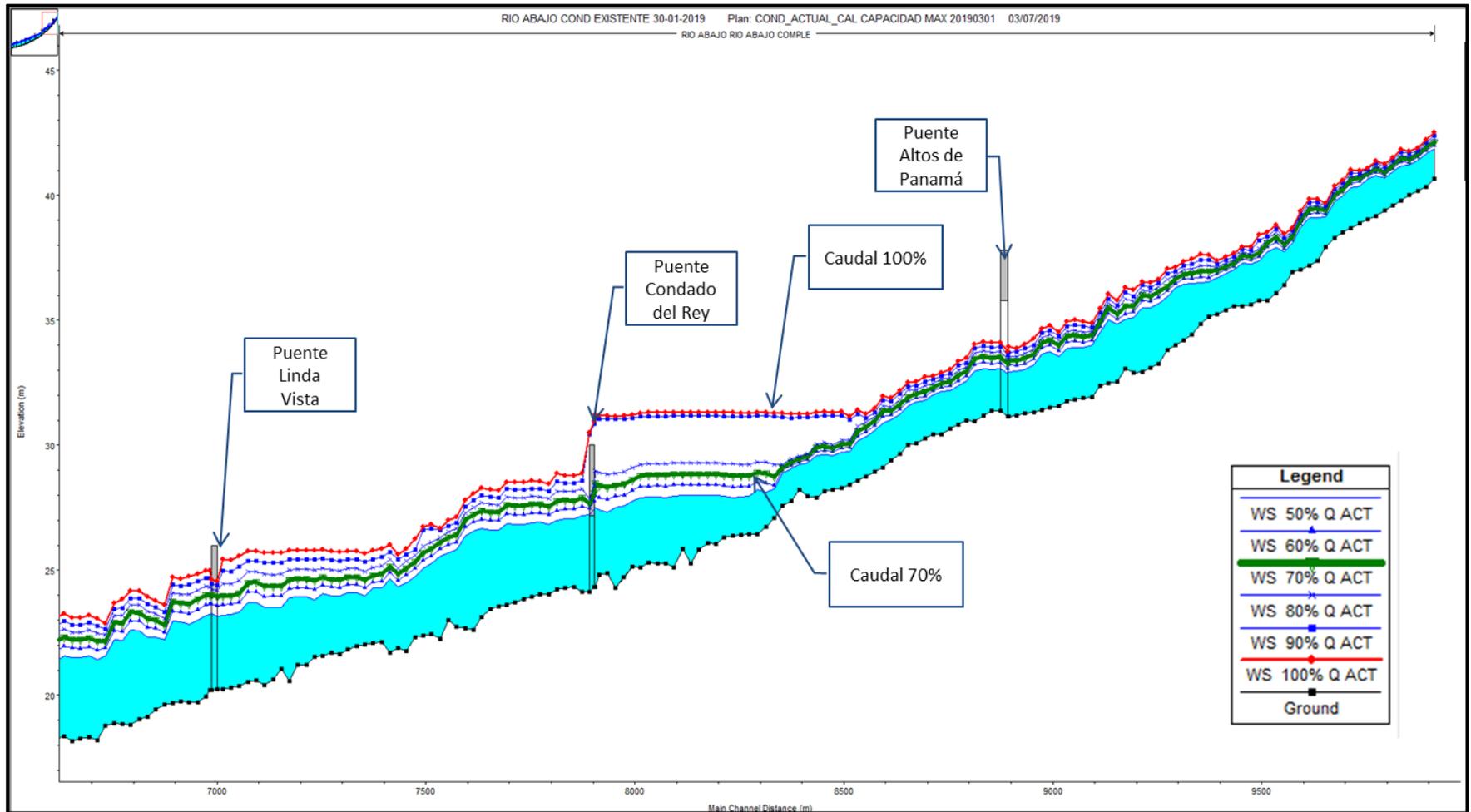
3.4 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD MÁXIMA DEL CAUCE ACTUAL DEL RÍO ABAJO EN EL TRAMO EN ESTUDIO.

Se realizó una simulación del cauce del Río Abajo bajo las condiciones actuales, con la finalidad de determinar la capacidad admisible del cauce. Este análisis fue enfocado específicamente para determinar un caudal máximo que puede ser conducido por el río sin presentar inundaciones en zonas residenciales. Para este ejercicio se simulan caudales correspondientes a diferentes porcentajes del caudal en condición actual para un periodo de retorno de 100 años. Es decir, se simularon caudales correspondientes al 50, 60, 70, 80 y 90% del caudal de 100 años. De esta manera se ha determinado que el cauce es capaz de conducir un caudal de aproximadamente 70% del caudal de una lluvia diseño de retorno de 100 años bajo las condiciones actuales.

Una vez obtenida la capacidad máxima permitida por el cauce actual del río, se ha estimado que el caudal del 70% equivale al caudal producido por una lluvia con periodo de retorno de entre 5 y 10 años.

En la siguiente figura se muestra un perfil del cauce actual comparando los diferentes porcentajes de caudal. El caudal de 70% se muestra de color verde, y el caudal de 100% se muestra de color rojo.

Figura 18. Perfil del cauce actual del Río Abajo, específicamente en el tramo comprendido entre el Corredor Norte y Linda Vista, mostrando los diferentes porcentajes de caudales.



4 ESCENARIOS ANALIZADOS

Conociendo la problemática existente del Río Abajo, se procedió a analizar tres escenarios utilizando el programa HEC-RAS para diversas alternativas considerando siempre un caudal para una lluvia con periodo de retorno de 100 años y el desarrollo de las áreas a 20 años según se ha descrito anteriormente como la condición futura. Esto se realizó en busca de una solución integral para el manejo de las aguas pluviales en la cuenca. Cabe destacar que, debido a que se observó que existen ya áreas ocupadas que dejan servidumbres fluviales muy estrechas en la cuenca, las soluciones orientadas a mejorar el cauce no parecen ser viables sin impactar una gran cantidad de propiedades privadas construidas. Por lo tanto, se decidió enfatizar las soluciones en la reducción del caudal de agua que llega al Río durante la lluvia diseño.

En uno de los escenarios se plantea incluir a promotores de futuros desarrollos dentro de la cuenca norte del Río Abajo, ya que éstos, en reuniones sostenidas, han mostrado la iniciativa de aplicar políticas de manejo de aguas pluviales dentro de sus proyectos para reducir el caudal de agua que debe manejar este río durante la lluvia diseño.

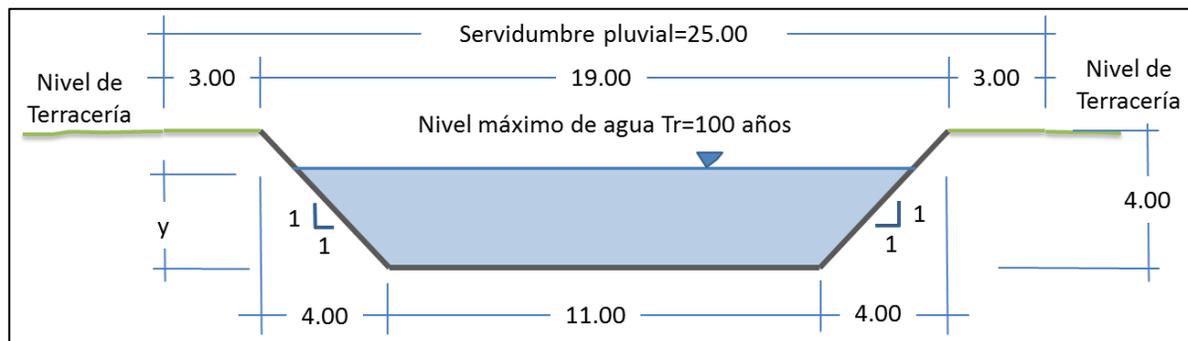
Los tres escenarios simulados son los siguientes:

1. Canalización del tramo entre inicios de Condado del Rey hasta inicios de Linda Vista, con modificación de los puentes de Condado del Rey y Linda Vista.
2. Escenario 1 con la adición de embalses en terrenos públicos.
3. Escenario 2, agregando embalses en terrenos de desarrollos privados.

4.1 ESCENARIO 1: CANALIZACIÓN DEL TRAMO ENTRE INICIOS DE CONDADO DEL REY HASTA INICIOS DE LINDA VISTA, CON MODIFICACIÓN DE LOS PUENTES DE CONDADO DEL REY Y LINDA VISTA.

Este escenario propone realizar una canalización revestida de concreto de aproximadamente 920 metros de longitud, en el tramo comprendido entre inicios de Condado del Rey hasta inicios de Linda Vista, con la servidumbre previamente establecida de 25 metros, la cual contempla 19.00 metros de ancho de solera, retiros de 3.00 metros de ambos lados para permitir el mantenimiento y 4.00 metros de profundidad como mínimo. Adicionalmente se propone modificar la elevación de los puentes de Condado del Rey y Linda Vista, con la finalidad de permitir libremente el flujo debajo de estos. Esta solución permite bajar el potencial nivel del NAME durante la lluvia de diseño y el efecto de remanso sobre el sector del centro de despacho de ETESA.

Figura 19. Sección de canalización pavimentada propuesta para el tramo comprendido entre inicios de Condado del Rey hasta inicios de Linda Vista.



Es importante aclarar que en las condiciones actuales del cauce, según levantamientos topográficos en campo, se encontró que en muchos casos el espacio de servidumbre disponible es menor, por lo que para realizar la canalización propuesta se requiere mínimo de 19.00 metros, para no perjudicar edificaciones privadas.

A pesar de que el caudal para la condición futura es ligeramente mayor que para la condición actual, al realizarse la corrida del modelo de este escenario se determinó que los niveles de agua disminuían considerablemente tanto en el área de ETESA, Condado del Rey y Linda Vista, sin embargo se siguen presentando algunos puntos vulnerables en estas zonas, (ver Figura 20)

En la Figura 21 se muestra el perfil del cauce ejecutando la canalización y elevando el nivel de los puentes mencionados anteriormente. Implementando esta alternativa se puede observar que los remansos aguas arriba de cada uno de ellos han disminuido.

Figura 20. Zonas vulnerables a inundaciones bajo las condiciones descritas en el Escenario 1.

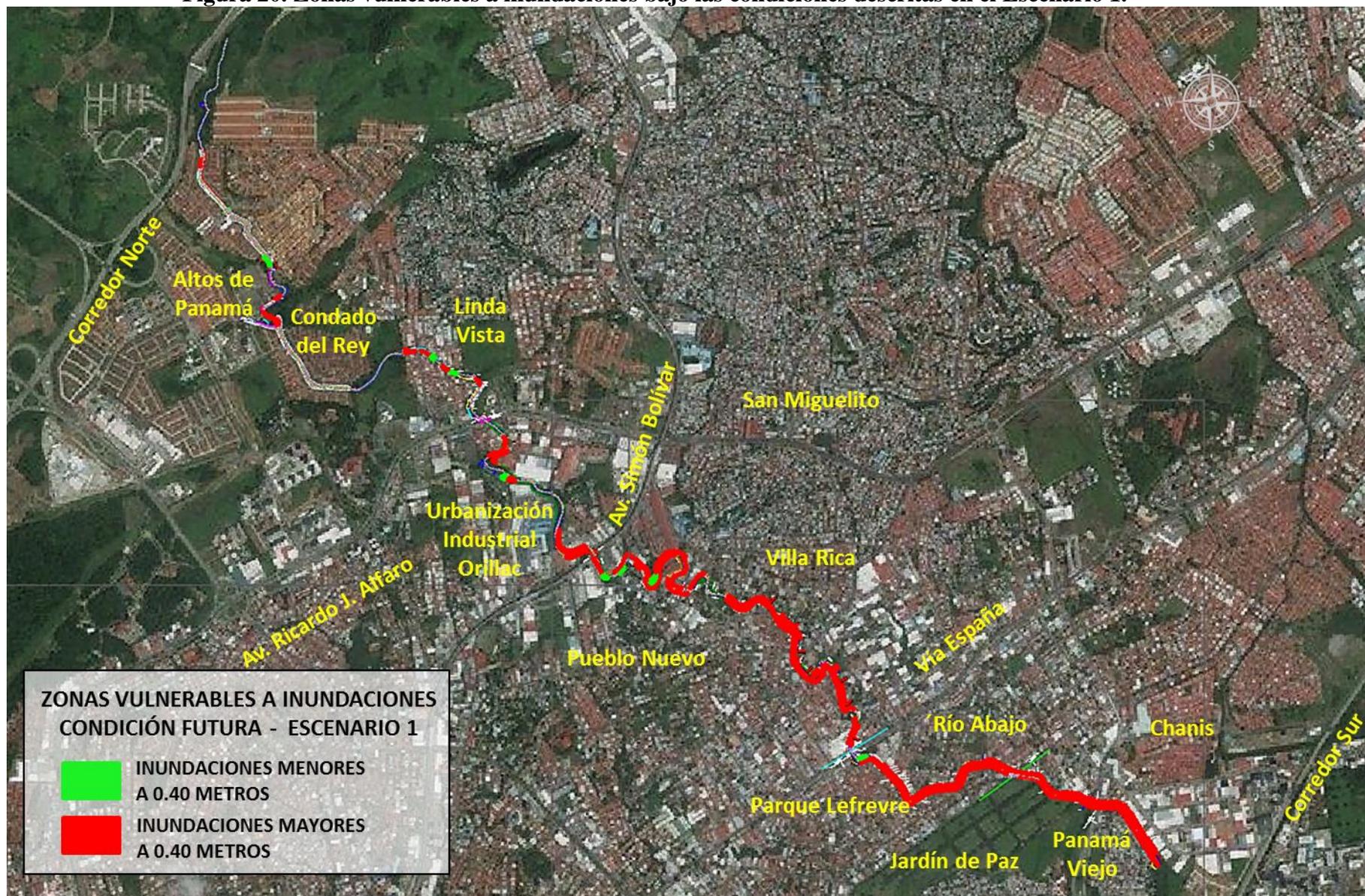
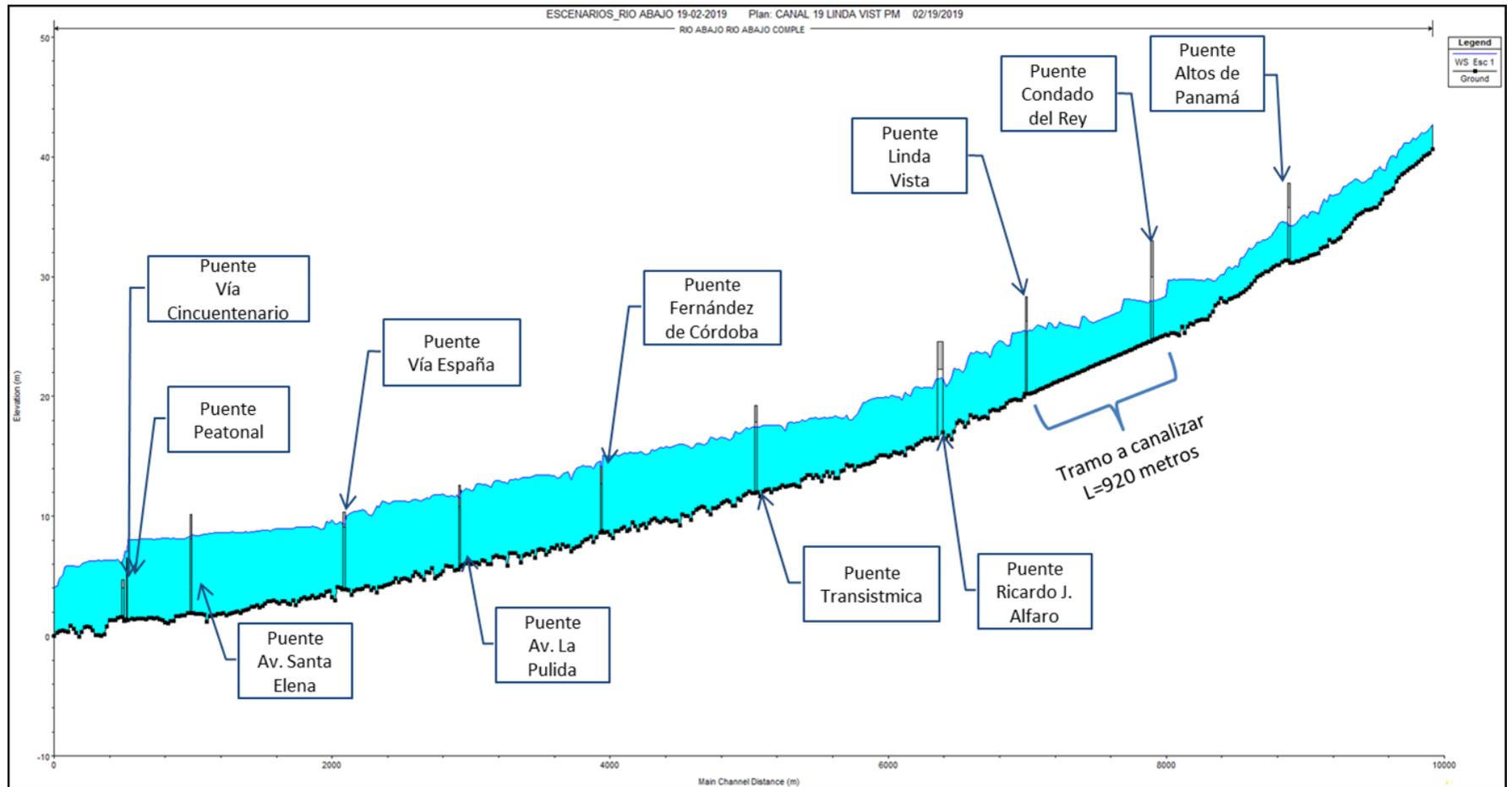


Figura 21. Perfil del cauce del Río Abajo en el Escenario 1.



4.2 ESCENARIO 2: ESCENARIO 1, CON LA ADICIÓN DE EMBALSES EN TERRENOS PÚBLICOS.

Esta alternativa propone la construcción de algunos embalses en terrenos públicos, con la finalidad de retener la escorrentía superficial por un periodo mínimo de 30 minutos. Se ha determinado conservadoramente este tiempo de acuerdo al hietograma de diseño para un tiempo de retorno de 100 años, en el cual se presenta que la precipitación máxima ocurre durante un periodo de 15 minutos, tal como se muestra en el Gráfico 3 en el Capítulo 3.

La Figura 22 muestra cómo funcionan los embalses temporales, donde la escorrentía superficial de la subcuenca es retenida mediante una estructura de control (Figura 23), y a la vez permite un desalojo controlado de flujo mediante tuberías, de manera que el volumen almacenado corresponde a la diferencia del caudal que entra y el caudal que sale, por un tiempo previamente establecido de 30 minutos como mínimo. La construcción de este sistema de embalses ayuda a reducir el caudal que llega directamente al río durante la lluvia de diseño y va desalojando gradualmente el agua almacenada.

Figura 22. Sistema propuesto para almacenamiento temporal.

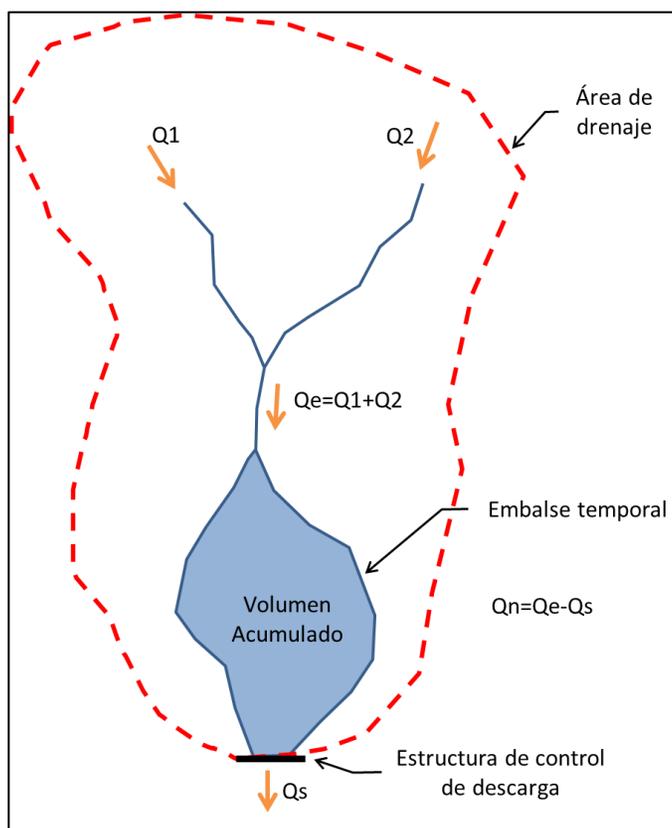
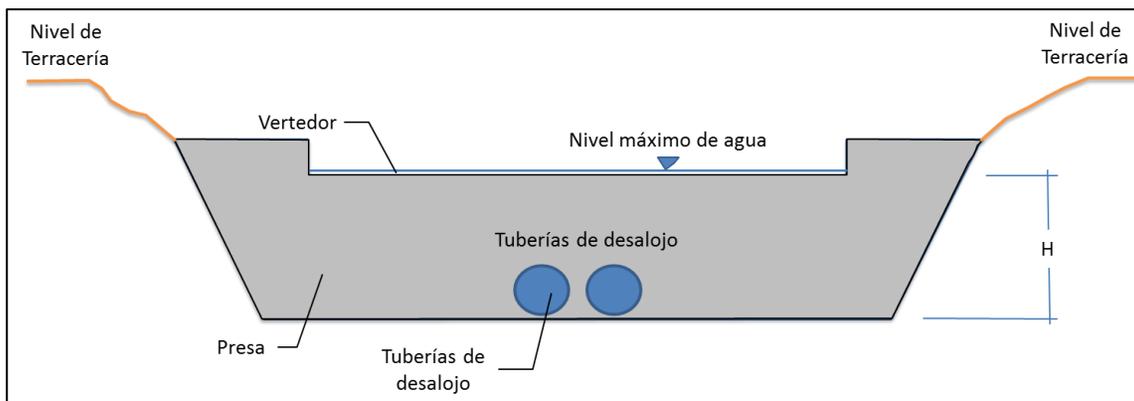


Figura 23. Esquema conceptual de estructuras de control de niveles de escorrentía.



La Figura 24 muestra la ubicación de los embalses propuestos.

El primero de los embalses tiene como ubicación propuesta el área entre las servidumbres eléctricas y la parte posterior del Instituto Nacional de Medicina Física y Rehabilitación. Se prevé utilizar un área de 0.60 hectáreas para almacenar un volumen estimado de 12,000 metros cúbicos provenientes de una porción de la Subcuenca 10.

El segundo embalse se propone en el área verde de una de las “orejas” del intercambiador del Corredor Norte y la autopista Panamá – Colón donde captará la escorrentía de la Subcuenca 8. El área tendría aproximadamente 1.90 hectáreas y se estima un almacenamiento de 47,500 metros cúbicos.

Por último el tercer embalse se propone ubicarlo en el área verde de una de las “orejas” del intercambiador del Corredor Norte y la Vía Centenario donde podría almacenar una fracción de la escorrentía de la Subcuenca 9. El área destinada es de 1.05 hectáreas y se estima acumular un volumen de 21,000 metros cúbicos.

La Tabla 9 a la Tabla 11, muestran los resultados de los cálculos de las estimaciones de los caudales que las áreas propuestas de embalse podrían retener y por cuánto tiempo, durante la lluvia diseño.

Figura 24. Ubicación de los embalses propuestos en terrenos públicos.

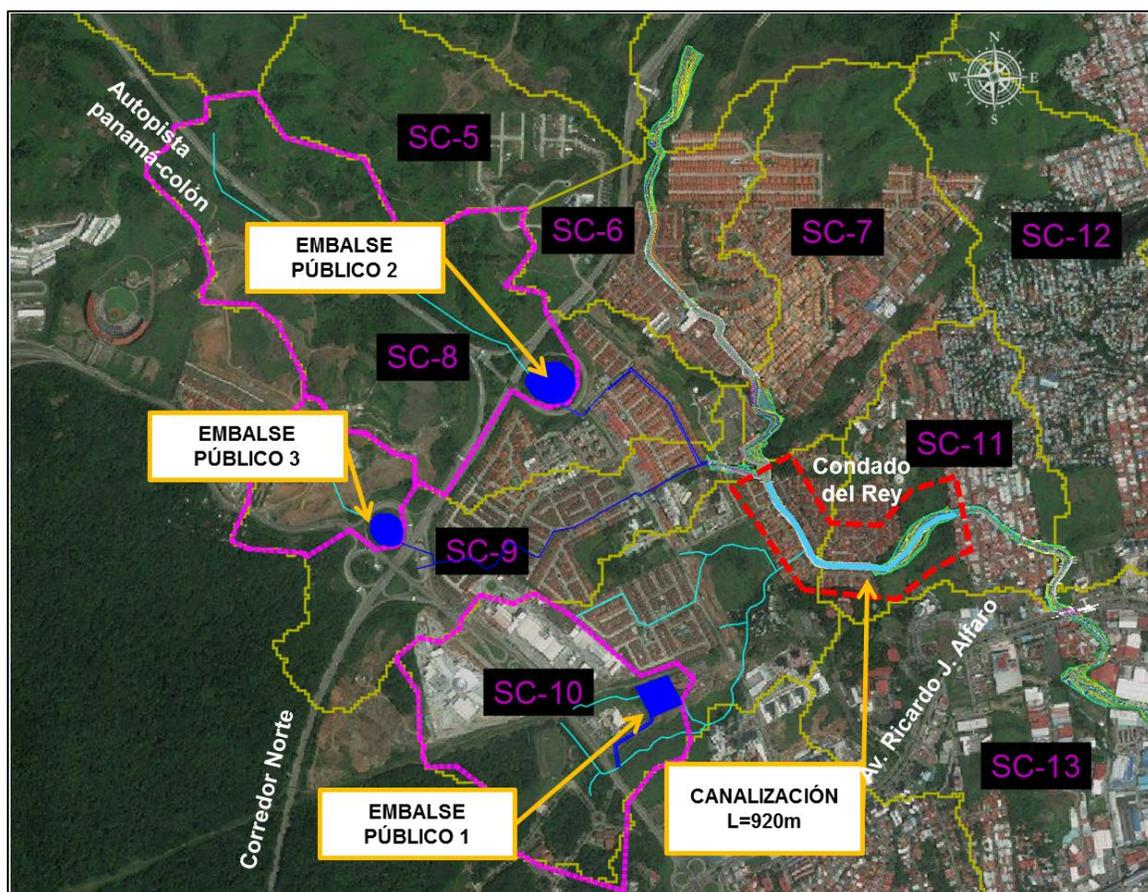


Tabla 9. Cálculo de volumen y tiempo de retención para el embalse público 1.

Embalse Público 1	Entre Serv. eléctricas		
Cuenca	SC-10		
Área de drenaje de la cuenca	Ad cuenca=	119.00	hectareas
Caudal total de la cuenca	Qcuenca=	30.60	m ³ /s
A. de drenaje hasta embalse	Ad embalse=	65.33	hectareas
Caudal entrada embalse	Qembalse=	16.80	m ³ /s
Caudal salida (2 tubos 36")	Qs=	10.93	m ³ /s
Caudal neto	Qn=	5.87	m ³ /s
Área de embalse	Aemb=	0.60	hectareas
Prof. de embalse	h=	2.00	m
Volumen acumulado	Vacum	12000.00	m ³
Tiempo de retención	Tret=	34.08	min

Tabla 10. Cálculo de volumen y tiempo de retención para el embalse público 2.

Embalse Público 2	Intercambio Corr. Norte hacia Colón		
Cuenca	SC-8		
Área de drenaje de la cuenca	Ad cuenca=	136.50	hectareas
Caudal total de la cuenca	Qcuenca=	33.00	m ³ /s
A. de drenaje hasta embalse	Ad embalse=	103.12	hectareas
Caudal entrada embalse	Qembalse=	24.93	m ³ /s
Caudal salida	Qs=	0.00	m ³ /s
Caudal neto	Qn=	24.93	m ³ /s
Área de embalse	Aemb=	1.90	hectareas
Prof. de embalse	h=	2.50	m
Volumen acumulado	Vacum	47500.00	m ³
Tiempo de retención	Tret=	31.76	min

Tabla 11. Cálculo de volumen y tiempo de retención para el embalse público 3.

Embalse Público 3	Intercambio Corr. Norte Vía Centenario		
Cuenca	SC-9		
Área de drenaje de la cuenca	Ad cuenca=	81.80	hectareas
Caudal total de la cuenca	Qcuenca=	20.30	m ³ /s
A. de drenaje hasta embalse	Ad embalse=	23.82	hectareas
Caudal entrada embalse	Qembalse=	5.91	m ³ /s
Caudal salida	Qs=	0.00	m ³ /s
Caudal neto	Qn=	5.91	m ³ /s
Área de embalse	Aemb=	1.05	hectareas
Prof. de embalse	h=	2.00	m
Volumen acumulado	Vacum	21000.00	m ³
Tiempo de retención	Tret=	59.21	min

Los cálculos indican entonces que la construcción de los embalses de retención descritos, representan una disminución de los aportes de las cuencas localizadas al norte durante un periodo de 30 minutos en un volumen total de 80,500 m³. Esta medida, sumado a las ya descritas en el Escenario 1 de canalizar el Río en el sector de Condado del Rey y mejorar el gálibo de los puentes, permite que el cauce del Río Abajo contenga en su totalidad las aguas en el tramo residencial de Condado del Rey.

Las siguientes figuras se muestran los resultados de las zonas inundables de acuerdo a la simulación del Escenario 2.

Figura 25. Zonas vulnerables a inundaciones bajo las condiciones descritas en el Escenario 2.

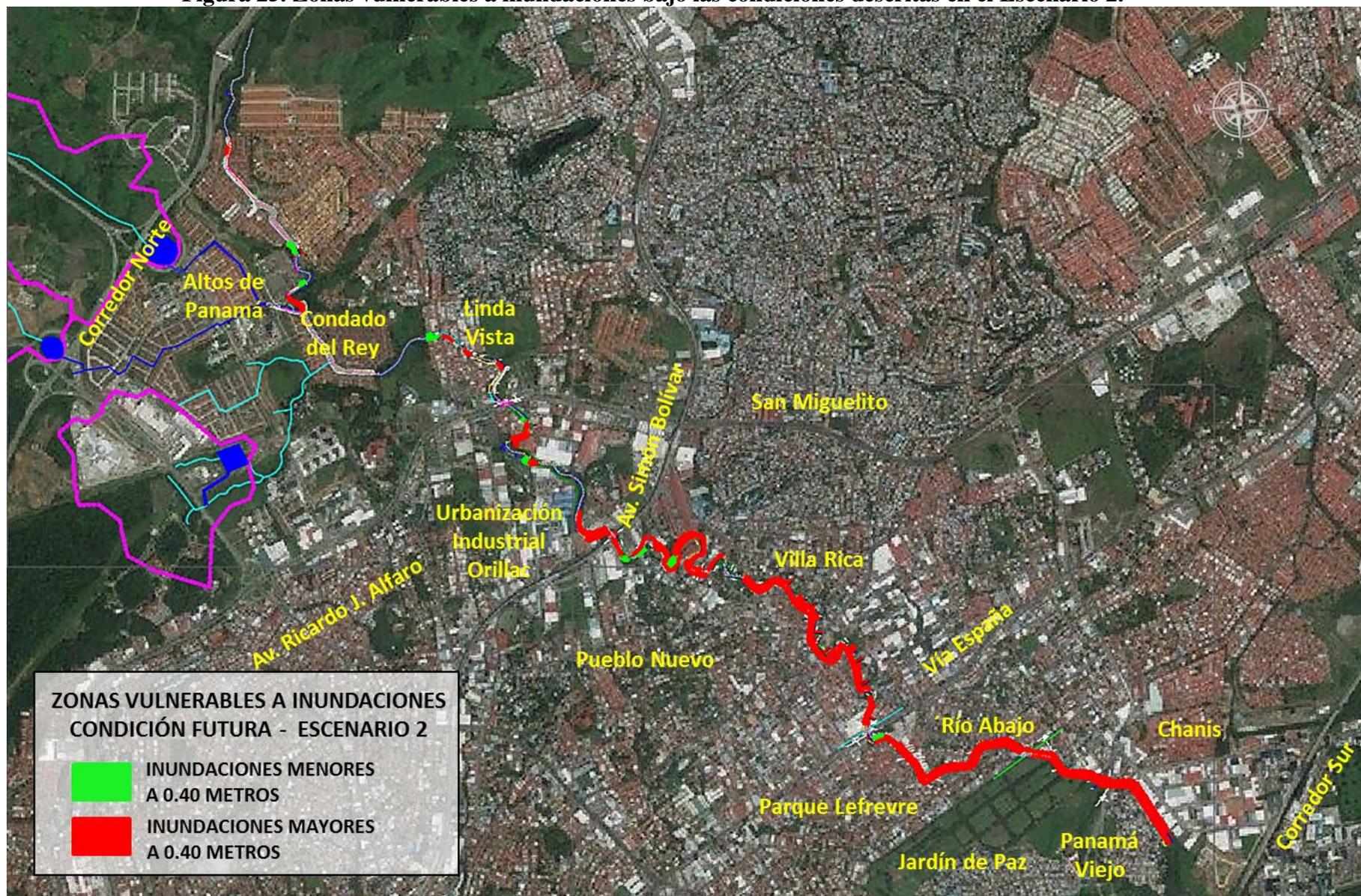
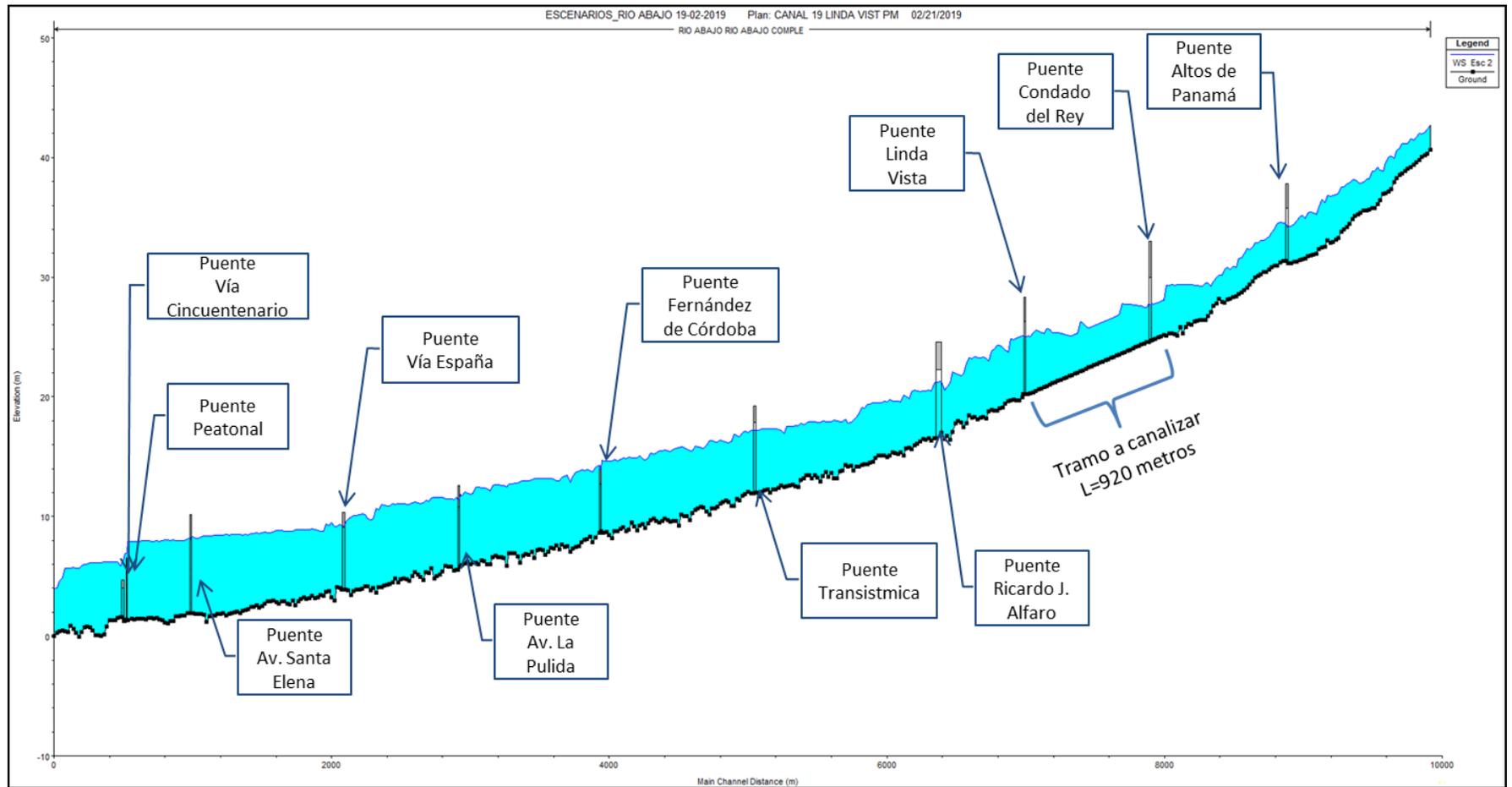


Figura 26. Perfil del cauce del Río Abajo en el Escenario 2.



4.3 ESCENARIO 3: ESCENARIO 2, AGREGANDO EMBALSES EN TERRENOS DE DESARROLLOS PRIVADOS

La tercera alternativa propone llevar a cabo lo recomendado para el Escenario 2 (Canalización del tramo entre inicios de Condado del Rey hasta inicios de Linda Vista, modificación de los puentes de Condado del Rey y Linda Vista, y embalses en terrenos públicos), además de incluir embalses en los terrenos de los proyectos privados futuros que se planeen construir en las cuencas de la zona norte del Río Abajo.

Se ha considerado en este escenario, que los desarrollos futuros en la parte alta de la cuenca del Río Abajo almacenen el volumen adicional producido por el incremento en la escorrentía superficial causado por su desarrollo. Este volumen corresponderá a la diferencia de los caudales para la condición futura y la condición actual, por un periodo mínimo de 30 minutos.

Esta solución propone distribuir el volumen sobrante entre los proyectos que se planeen construir y almacenarlo de forma conjunta, destinando una fracción de la superficie de cada proyecto para la construcción de embalses, los cuales pueden ser utilizados durante la época seca como áreas recreativas y zonas verdes.

La Tabla 12 muestra los resultados de los volúmenes correspondientes a los caudales excedentes producidos por el desarrollo de los proyectos futuros en la cuenca norte del Río Abajo

Tabla 12. Volúmenes a retener en la cuenca norte del Río Abajo.

VOLUMEN A RETENER EN LAS CUENCAS NORTE DEL RÍO ABAJO POR UN TIEMPO DE 30 MIN				
CUENCAS	Q ACT	Q FUT	ΔQ	VOL (M3)
SC-1	30.8	33.1	2.3	4140
SC-2	17.2	17.6	0.4	720
SC-3	31.3	44.0	12.7	22860
SC-4	18.0	28.6	10.6	19080
SC-5	13.4	17.3	3.9	7020
SC-6	15.9	17.1	1.2	2160
SC-7	16.9	17.8	0.9	1620
SC-8	24.7	33.0	8.3	14940
SC-9	18.4	20.3	1.9	3420
SC-10	27.7	30.6	2.9	5220
SC-11	18.0	19.9	1.9	3420
				84600

El Escenario 3 permitirá almacenar un volumen total de 165,100 metros cúbicos, los cuales corresponden a 80,500 metros cúbicos de los embalses en terrenos públicos y a 84,600 en los embalses de proyectos privados futuros.

La Figura 27 y la Figura 28, muestra el resultado de las zonas inundables para el Escenario 3. Se puede observar que el área de Condado del Rey no presenta zonas inundables, y en el área de

Linda Vista se ha disminuido el tirante de agua. En términos generales la superficie del agua ha disminuido hasta en aproximadamente 0.30 metros en el tramo sur del Río Abajo, ya que el caudal cumulativo que aportan todas las subcuencas al Río, durante la lluvia de diseño de 100 años disminuyó en 16.5% comparándolo con el caudal sin la integración de embalses.

En la Figura 27 se puede observar que en el área de estudio, sólo se identifica dos tramos que presentan vulnerabilidad a inundaciones, el cual corresponde a la zona de ETESA, precisamente donde descargan las colectoras Centenario y Autopista, las cuales fueron mencionadas en el capítulo de Diagnostico. Para subsanar el desborde del Río Abajo, se sugiere la construcción de bermas que contengan el flujo dentro del río. De la misma forma, en la zona de Linda Vista se presentan ligeras inundaciones, las cuales pueden ser controladas con muros no mayores de un metro de altura.

Figura 27. Zonas vulnerables a inundaciones en el Escenario 3, para la condición futura.

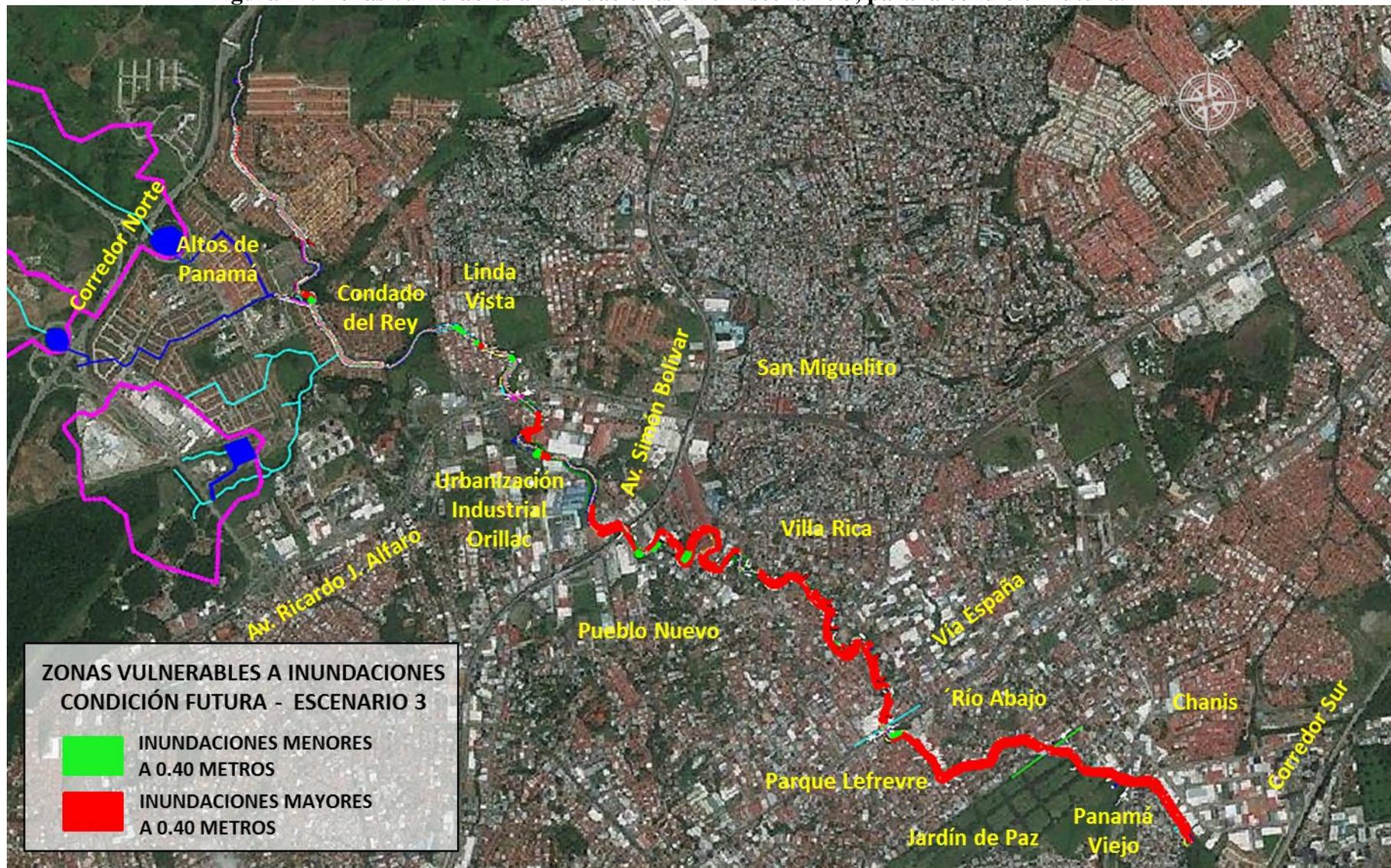
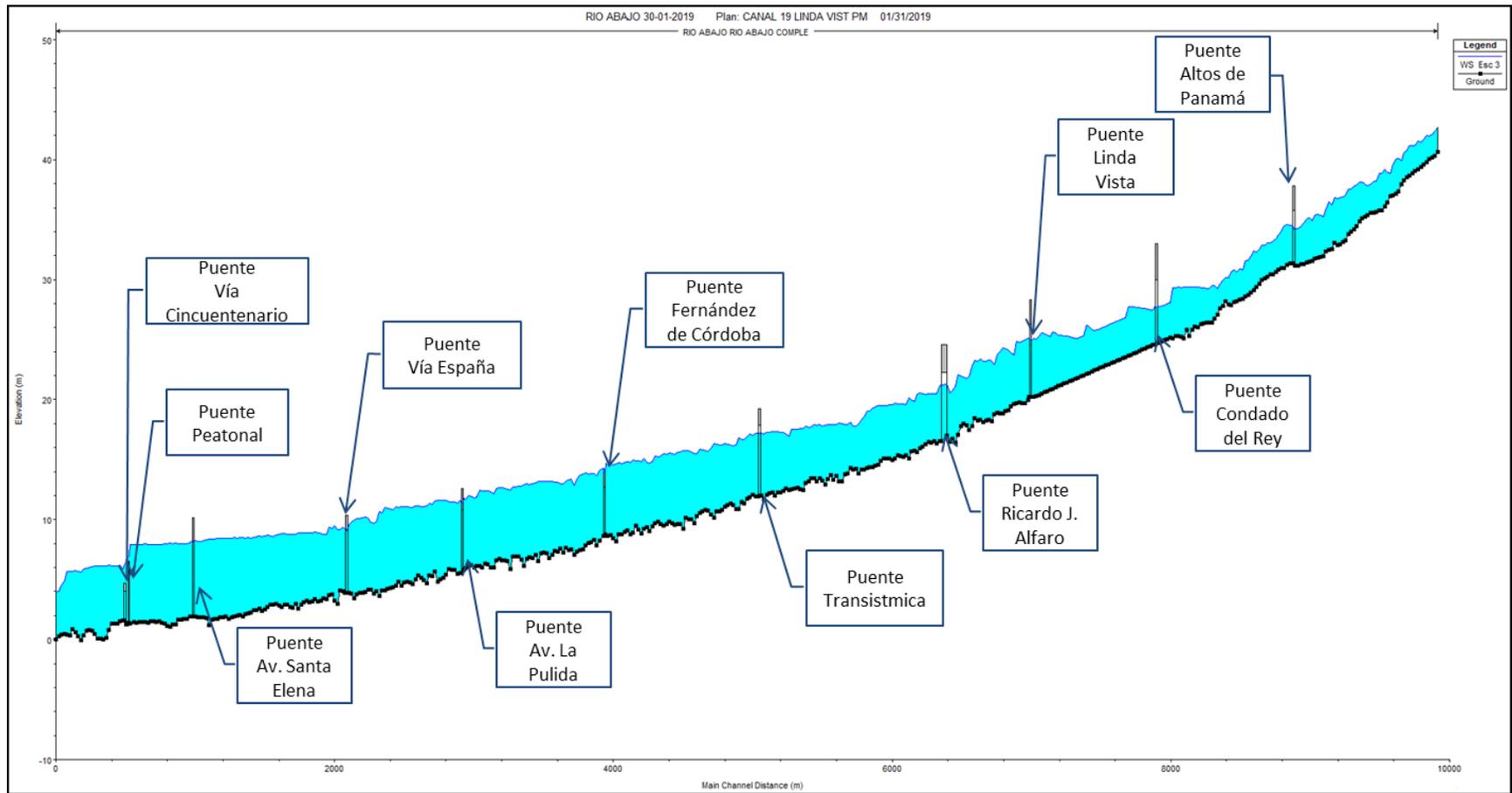


Figura 28. Perfil del cauce del Río Abajo en el Escenario 3.



4.4 CAUDALES RESULTANTES DE CADA ESCENARIO.

A continuación se presentan los caudales resultantes para cada escenario analizado.

Tabla 13. Caudales en metros cúbicos, resultantes para cada escenario, para una lluvia con periodo de retorno de 100 años.

CUENCAS	ESCENARIO 1: CANALIZACIÓN		ESCENARIO 2: CANALIZACIÓN + EMBALSES PÚBLICOS		ESCENARIO 3: EMBALSES PÚBLICOS + RETENCION PRIVADA	
	CAUDAL 1	CAUDAL 1 ACUM	CAUDAL 2	CAUDAL 2 ACUM	CAUDAL 3 T=30.00min	CAUDAL 3 ACUM
SC-1, SC-2, SC-4	79.30	79.30	79.30	79.30	66.00	66.00
SC-3	44.00	123.30	44.00	123.30	31.30	97.30
SC-5, SC-6, SC-7, SC-8, SC-9	105.50	228.80	74.66	197.96	58.46	155.76
SC-10, SC-11	50.50	279.30	44.63	242.59	39.83	195.59
SC-12	27.30	306.60	27.30	269.89	27.30	222.89
SC-13, SC-14	82.20	388.80	82.20	352.09	82.20	305.09
SC-15, SC-16	61.30	450.10	61.30	413.39	61.30	366.39
SC-17	58.40	508.50	58.40	471.79	58.40	424.79

5 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE BAJO LA CONDICION FUTURA E IMPLEMENTANDO LOS EMBALSES PÚBLICOS.

Mediante el software Hydraflow Express se analizaron los sistemas existentes de las colectoras Centenario, Autopista y Condado del Rey, las cuales fueron descritas en la sección 3.1 del capítulo de diagnóstico.

Para este análisis se contempló que estarán en funcionamiento los embalses públicos, y las colectoras existentes solo recibirán el caudal que no es acumulado por dichos embalses.

5.1 COLECTORA AUTOPISTA - SUBCUENCA 8 (SC8)

El aporte de la Subcuenca 8 es de $8.07\text{m}^3/\text{s}$, está compuesto por un cajón existente de $B=3.05$, $H=2.75$, que cruza la rampa de acceso al Autopista Panamá-Colón, el cual tiene capacidad justa, ya que la entrada se encuentra a sección llena. Luego el agua es captada y conducida por un conjunto de cuatro tubos que pasan por el residencial Royal Country, para luego conectarse a un sistema de tres tubos, dos de diámetro de 1.20m y uno de 1.50m , hasta descargar al suroeste de las instalaciones de ETESA.

Se analizó el sistema de cuatro tubos y se determinó que tiene la capacidad necesaria para conducir el caudal bajo el escenario de implementar los embalses en terrenos públicos.

Figura 29. Ubicación del aporte de subcuenca 8.



Culvert Report

Hydraflow Express Extension for Autodesk® AutoCAD® Civil 3D® by Autodesk, Inc.

miércoles, feb 20 2019

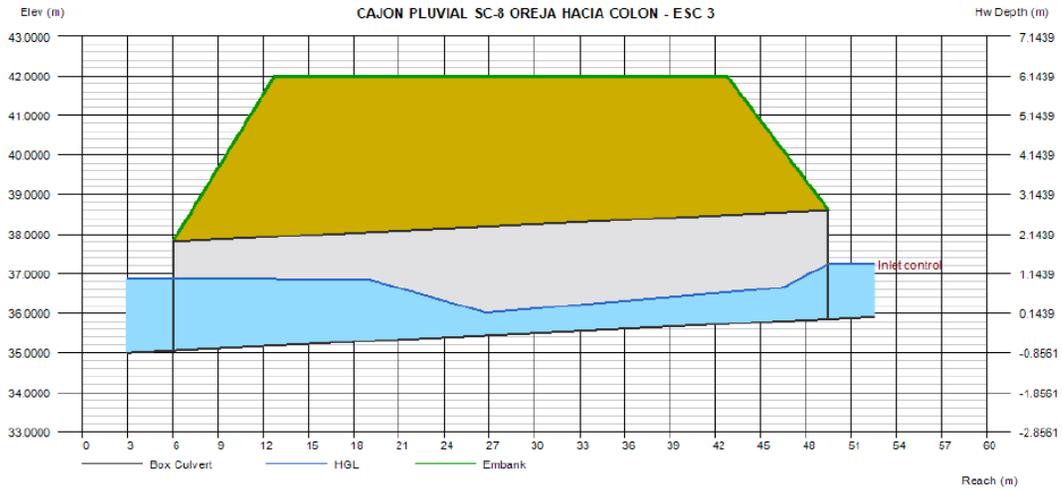
CAJON PLUVIAL SC-8 OREJA HACIA COLON - ESC 3

Invert Elev Dn (m) = 35.0600
 Pipe Length (m) = 43.5000
 Slope (%) = 1.8301
 Invert Elev Up (m) = 35.8561
 Rise (mm) = 2750.0
 Shape = Box
 Span (mm) = 3050.0
 No. Barrels = 1
 n-Value = 0.013
 Culvert Type = Flared Wingwalls
 Culvert Entrance = 30D to 75D wingwall flares
 Coeff. K,M,c,Y,k = 0.026, 1, 0.0347, 0.81, 0.4

Embankment
 Top Elevation (m) = 42.0000
 Top Width (m) = 30.0000
 Crest Width (m) = 100.0000

Calculations
 Qmin (cms) = 8.0700
 Qmax (cms) = 8.0700
 Tailwater Elev (m) = (dc+D)/2

Highlighted
 Qtotal (cms) = 8.0700
 Qpipe (cms) = 8.0700
 Qovertop (cms) = 0.0000
 Veloc Dn (m/s) = 1.4526
 Veloc Up (m/s) = 2.9632
 HGL Dn (m) = 36.8815
 HGL Up (m) = 36.7490
 Hw Elev (m) = 37.2469
 Hw/D (m) = 0.5057
 Flow Regime = Inlet Control



Culvert Report

Hydraflow Express Extension for Autodesk® AutoCAD® Civil 3D® by Autodesk, Inc.

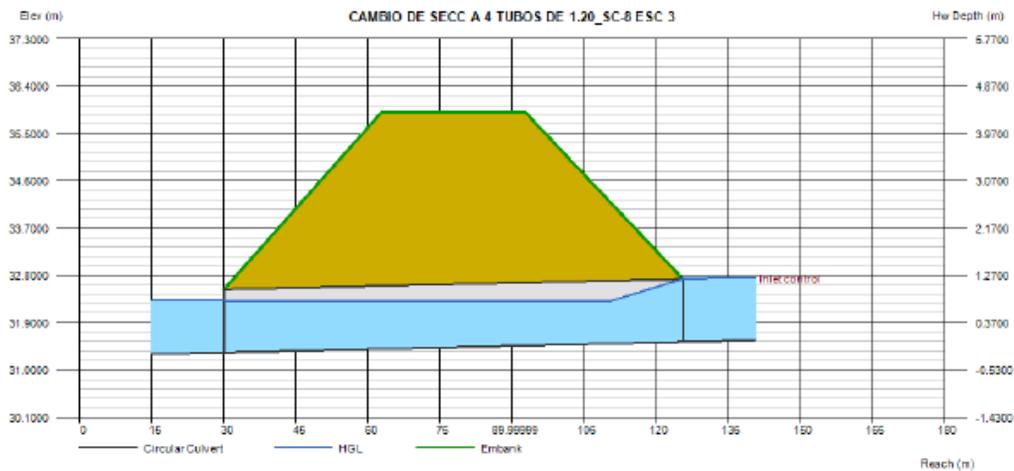
miércoles, feb 20 2019

CAMBIO DE SECC A 4 TUBOS DE 1.20_SC-8 ESC 3

Invert Elev Dn (m)	= 31.3300
Pipe Length (m)	= 95.5800
Slope (%)	= 0.2093
Invert Elev Up (m)	= 31.5300
Rise (mm)	= 1200.0
Shape	= Circular
Span (mm)	= 1200.0
No. Barrels	= 4
n-Value	= 0.013
Culvert Type	= Circular Concrete
Culvert Entrance	= Square edge w/headwall (C)
Coeff. K,M,c,Y,k	= 0.0098, 2, 0.0398, 0.67, 0.5

Embankment	
Top Elevation (m)	= 35.9000
Top Width (m)	= 30.0000
Crest Width (m)	= 150.0000

Calculations	
Qmin (cms)	= 8.0700
Qmax (cms)	= 8.0700
Tailwater Elev (m)	= (dc+D)/2
Highlighted	
Qtotal (cms)	= 8.0700
Qpipe (cms)	= 8.0700
Qovertop (cms)	= 0.0000
Veloc Dn (m/s)	= 2.0207
Veloc Up (m/s)	= 2.5893
HGL Dn (m)	= 32.3204
HGL Up (m)	= 32.3108
Hw Elev (m)	= 32.7539
Hw/D (m)	= 1.0199
Flow Regime	= Inlet Control



5.2 COLECTORA CENTENARIO - SUBCUENCA 9 (SC9)

La subcuenca 9 aporta un caudal de $14.39\text{m}^3/\text{s}$, recorre las urbanizaciones Dorado Village y Dorado Lake, y en su tramo final es conducido por un sistema de dos tuberías de 1.90m de diámetro, las cuales descargan al suroeste de las instalaciones de ETESA, en el mismo sitio donde descarga la subcuenca 8.

En el análisis de este aporte se determinó que el sistema cuenta con la capacidad necesaria para transportar el caudal bajo el escenario de implementar los embalses en terrenos públicos.

Figura 30. Ubicación de la descarga de la colectora Centenario.



Culvert Report

Hydraflow Express Extension for Autodesk® AutoCAD® Civil 3D® by Autodesk, Inc.

miércoles, feb 20 2019

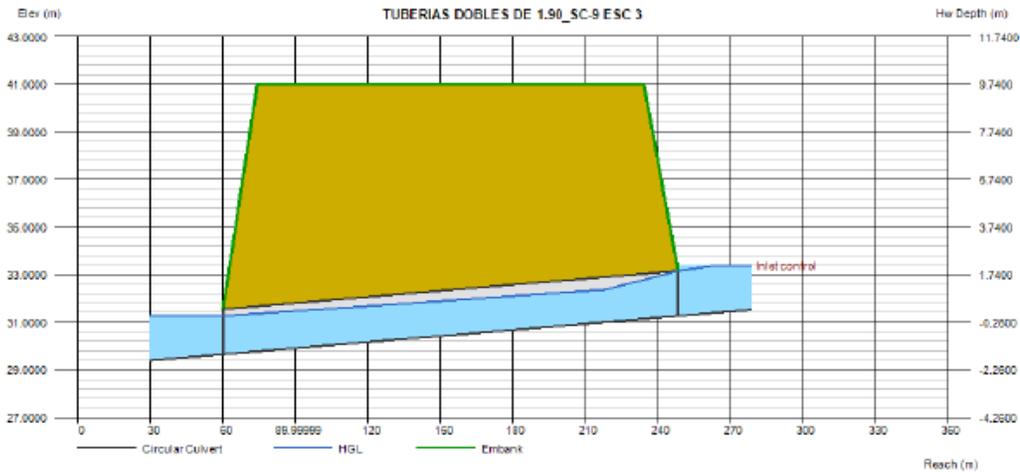
TUBERIAS DOBLES DE 1.90_SC-9 ESC 3

Invert Elev Dn (m)	= 29.6500
Pipe Length (m)	= 188.3800
Slope (%)	= 0.8547
Invert Elev Up (m)	= 31.2600
Rise (mm)	= 1900.0
Shape	= Circular
Span (mm)	= 1900.0
No. Barrels	= 2
n-Value	= 0.013
Culvert Type	= Circular Concrete
Culvert Entrance	= Square edge w/headwall (C)
Coeff. K,M,c,Y,k	= 0.0098, 2, 0.0398, 0.67, 0.5

Embankment	
Top Elevation (m)	= 41.0000
Top Width (m)	= 160.0000
Crest Width (m)	= 160.0000

Calculations	
Qmin (cms)	= 14.3900
Qmax (cms)	= 14.3900
Tailwater Elev (m)	= (dc+D)/2

Highlighted	
Qtotal (cms)	= 14.3900
Qpipe (cms)	= 14.3900
Qovertop (cms)	= 0.0000
Veloc Dn (m/s)	= 2.8111
Veloc Up (m/s)	= 3.4320
HGL Dn (m)	= 31.2583
HGL Up (m)	= 32.5766
Hw Elev (m)	= 33.3763
Hw/D (m)	= 1.1138
Flow Regime	= Inlet Control



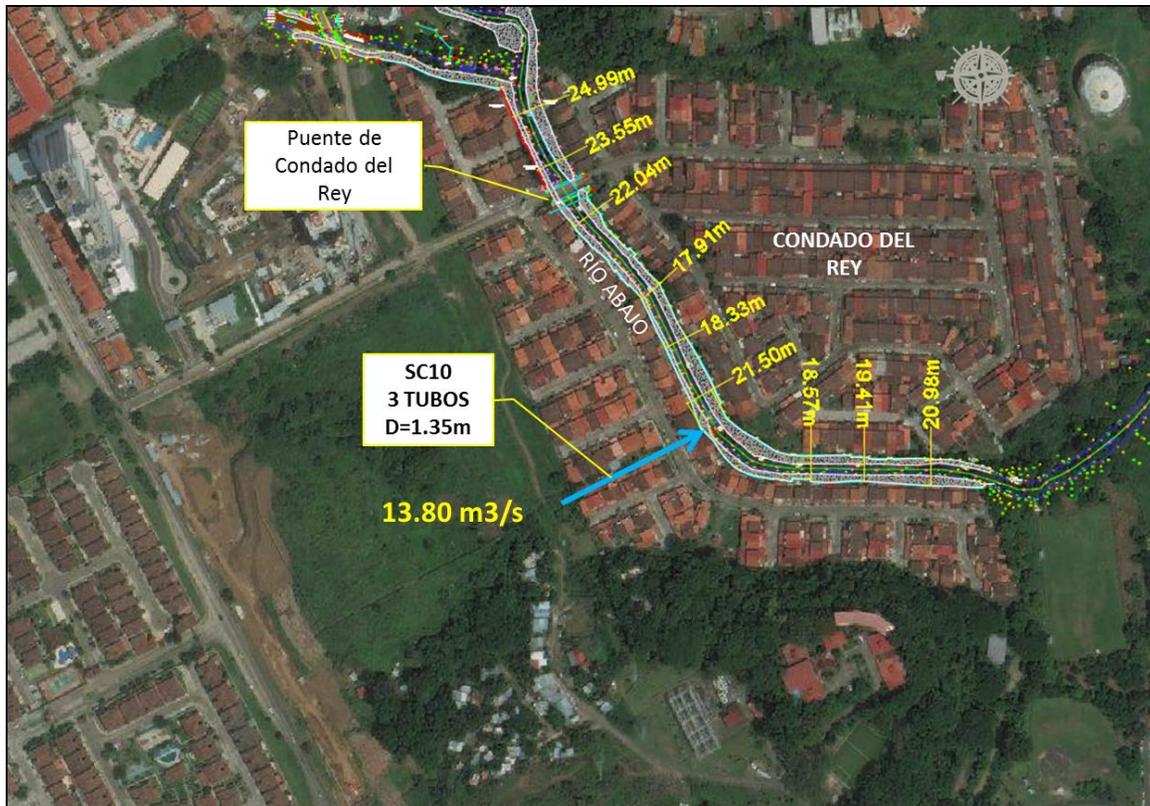
5.3 COLECTORA CONDADO DEL REY - SUBCUENCA 10 (SC10)

La subcuenca 10 se extiende desde la Universidad tecnológica de Panamá hasta el sector oeste de la Condado del Rey, y aporta un caudal de $13.80 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual es captado por un sistema de tres tuberías de 1.35m de diámetro, para luego descargar en el Río Abajo.

El análisis del sistema comprendido por los tres tubos arrojó que puede conducir el caudal de $13.80 \text{ m}^3/\text{s}$, sin embargo estaría funcionando a sección llena. El nivel del agua en la entrada de las tuberías se encuentra aproximadamente a 3.70 metros por debajo del nivel de terracería de las viviendas existentes, por lo tanto esto no representa una afectación para las viviendas adyacentes.

Se recomienda revestir el área circundante a la entrada del cabezal para evitar la erosión de esta zona, además, realizar labores de limpieza sedimentos de forma periódica para garantizar un adecuado funcionamiento del sistema de tuberías.

Figura 31. Ubicación de la descarga de la colectora Condado del Rey.



Culvert Report

Hydraflow Express Extension for Autodesk® AutoCAD® Civil 3D® by Autodesk, Inc.

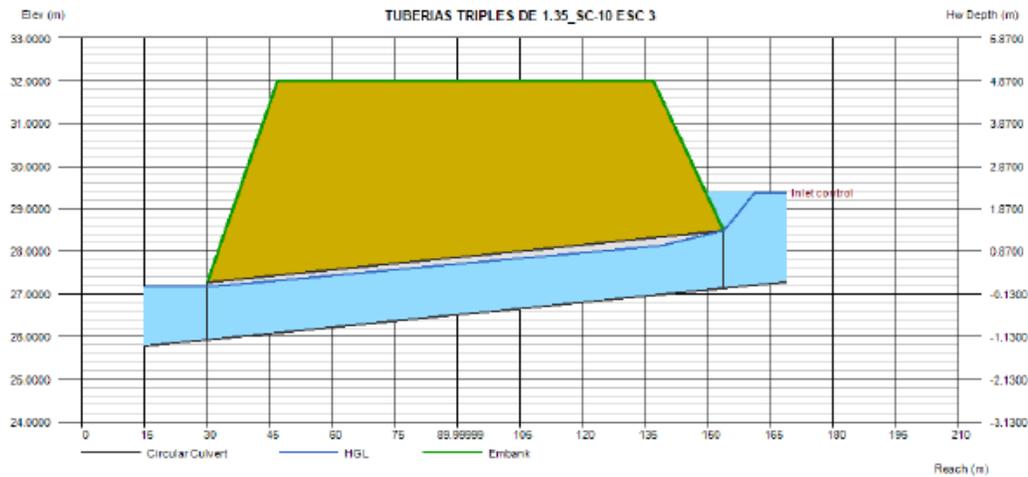
miércoles, feb 20 2019

TUBERIAS TRIPLES DE 1.35_SC-10 ESC 3

Invert Elev Dn (m)	= 25.9200
Pipe Length (m)	= 123.8000
Slope (%)	= 0.9774
Invert Elev Up (m)	= 27.1300
Rise (mm)	= 1350.0
Shape	= Circular
Span (mm)	= 1350.0
No. Barrels	= 3
n-Value	= 0.013
Culvert Type	= Circular Concrete
Culvert Entrance	= Square edge w/headwall (C)
Coeff. K,M,c,Y,k	= 0.0098, 2, 0.0398, 0.67, 0.5

Embankment	
Top Elevation (m)	= 32.0000
Top Width (m)	= 90.0000
Crest Width (m)	= 10.0000

Calculations	
Qmin (cms)	= 13.8000
Qmax (cms)	= 13.8000
Tailwater Elev (m)	= (dc+D)/2
Highlighted	
Qtotal (cms)	= 13.8000
Qpipe (cms)	= 13.8000
Qovertop (cms)	= 0.0000
Veloc Dn (m/s)	= 3.3375
Veloc Up (m/s)	= 3.5799
HGL Dn (m)	= 27.1627
HGL Up (m)	= 28.2654
Hw Elev (m)	= 29.3764
Hw/D (m)	= 1.6640
Flow Regime	= Inlet Control



6 CONCLUSIONES DE ESCENARIOS ANALIZADOS

- De acuerdo al análisis de los escenarios modelados se concluye que la tercera alternativa es la solución con mayor impacto positivo a lo largo del cauce del Río Abajo, y de forma puntual en las áreas de Condado del Rey, ETESA y Linda Vista, donde se observa una disminución significativa del nivel de aguas máximas para un periodo de retorno de 100 años.
- Con respecto al comportamiento del cauce del Río Abajo, se debe considerar que el análisis descrito en la condición actual ya muestra áreas altamente vulnerables a inundaciones en la zona sur para la lluvia de 100 años, y en este estudio se han buscado alternativas para no agravar la condición en estas áreas, ya que al retener por 30 minutos el total del volumen excedente producido por la escorrentía superficial en las cuencas localizadas al norte, se asegura que al cauce no le ingresa aportes correspondientes a los futuros desarrollos que se planeen construir en la parte alta de la cuenca del Río Abajo durante la condición crítica de lluvia. En adición, la construcción de embalses en áreas públicas, contribuyen a retener un volumen aún mayor con un impacto positivo sostenible a largo plazo para los terrenos adyacentes al cauce del Río Abajo, especialmente aguas abajo de la Vía Ricardo J. Alfaro. Estos embalses también ayudan al mejorar la condición de flujo en las tuberías colectoras existentes en el sector.
- Es importante que el Ministerio de Obras Públicas MOP, como institución gubernamental, encargada de velar por los temas relacionados a la infraestructura pública y específicamente al manejo de drenajes, analice alternativas para mitigar de forma integral, el impacto provocado por las áreas desarrolladas en la parte de la cuenca del Río Abajo localizada al sur de la Vía Ricardo J. Alfaro. Esto debido a que estos sectores de la ciudad fueron desarrollados hace más de 50 años y no dejaron servidumbre para manejar adecuadamente las crecidas del Río durante lluvias extremas.
- Mediante el análisis de la capacidad máxima admisible del cauce existente bajo la condición actual, se determina que el Río puede conducir aproximadamente un 70% del caudal para un periodo de retorno de 100 años, es decir, se estima que el Río tiene capacidad para conducir un caudal equivalente a una lluvia con periodo de retorno de entre 5 y 10 años. En otras palabras se estima que, sin realizar ninguna mejora, el Río puede conducir la escorrentía producida por el área ya desarrollada, incluyendo los proyectos en ejecución, para dicho periodo de retorno.
- Para mitigar el aumento de los niveles de agua de la zona norte del Río Abajo (área de estudio) para la condición futura y la lluvia diseño con período de retorno de 100 años, se propone implementar de manera conjunta las soluciones que se han mencionado en este informe, las cuales corresponden a:
 1. Realizar labores de limpiezas y dragado del río de forma periódica, ya que en muchos casos, y según el registro fotográfico de este informe, se han detectado diversos puntos donde se observan escombros y sedimentación, los cuales afectan el flujo en el cauce, especialmente en la época lluviosa.
 2. Modificación de los niveles de los puentes del condado del Rey y Linda Vista.

3. Construcción de aproximadamente 920 metros de canalización entre Condado del Rey e inicios de Linda Vista.
4. Construcción de embalse en áreas públicas, capaces de acumular un volumen determinado de agua para una lluvia de 100 años, con duración de 30 minutos como mínimo.
5. Crear de una normativa que requiera que los proyectos privados futuros deban construir embalses para retener, por un tiempo mínimo de 30 minutos, el total de la escorrentía excedente generada por el área a desarrollar.

ANEXOS

ANEXO A: SIMULACIÓN RÍO ABAJO, CONDICIÓN ACTUAL

ANEXO B: SIMULACIÓN RÍO ABAJO, CAPACIDAD MÁXIMA DEL CAUCE EXISTENTE

ANEXO C: SIMULACIÓN RÍO ABAJO, ESCENARIOS ANALIZADOS