

## **6. HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA**

### **6.1 INTRODUCCIÓN**

Como parte de los análisis que se adelantan para el estudio de los deslizamientos en las laderas de Ciudad Bolívar se procedió a realizar una inspección de campo sobre el estado de las redes de acueducto y alcantarillado existentes en el área el posterior análisis de sus características y definir, en caso de ocurrencia, los posibles efectos de fallas en los sistemas actuales, y proponer las alternativas de solución.

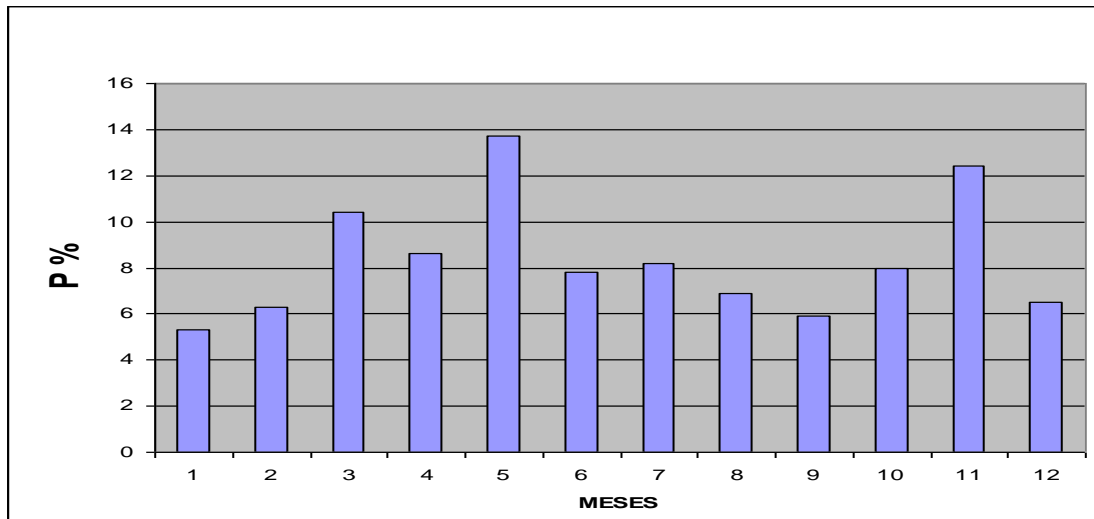
Dentro de este marco, se adelantaron labores tanto de campo como de oficina que permitieron definir la localización, dirección del flujo y el estado actual de las redes de conducción, adelantar cálculos de los caudales que transportan en diferentes circunstancias y emitir algunos conceptos y propuestas de acción con miras a mitigar el impacto que la intrusión de aguas servidas y pluviales puede tener en la estabilidad de las laderas estudiadas.

#### **6.1.1 Descripción climática del área**

El área de interés se localiza al sur oriente de la ciudad de Bogotá. Se caracteriza por su topografía empinada, con pendientes cercanas al 26%. La conforman la parte izquierda de la cuenca de la quebrada La Carbonera, la cuenca de la quebrada Los Rosales y la parte de la cuenca de la quebrada Santa Rita localizada en la margen derecha de ésta.

El clima del área es, con muy pocas diferencias, similar al de la Sabana de Bogotá. De acuerdo con el patrón de distribución territorial, los valores medios anuales multianuales de precipitación son menores que en el resto de la Sabana, como consecuencia de evidencia en los estudios adelantados por INGEOMINAS para el FOPAE. El valor total anual reportado en la estación Doña Juana, la más cercana al área con una serie valores de longitud suficiente para adelantar estimativos confiables, es de 657 mm.

La distribución intra anual de la precipitación obedece a un modelo bimodal, en el que se evidencian dos períodos lluviosos intercalados con períodos secos. El primer período lluvioso o húmedo corresponde a los meses de marzo a mayo, en el que tiene ocurrencia el 32,7 % de la precipitación anual. El segundo se localiza entre los meses de octubre y noviembre, en el que ocurre el 20,4 % del total anual. Los períodos secos corresponden a los meses de enero y febrero, el primero y a Julio a agosto el segundo. La variación intra anual de la precipitación en el área se aprecia en la Tabla 6-1.



Precipitación	Meses											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Milímetros	34.6	40.8	68.8	56.4	90.1	50.4	54.2	45.4	38.5	52.8	81.8	42.8
%	5.3	6.3	10.4	8.6	13.7	7.8	8.2	6.9	5.9	8	12.4	6.5

**Tabla 6-1 Variación intraanual de la precipitación**

La temperatura es casi constante a lo largo del año, con variaciones que no superan 1,0 °C La media mensual es de 12,3 °C.

La humedad relativa presenta poca variación dentro del año. El valor medio mensual multianual es de 73 %.

Los procesos de evapotranspiración son muy activos. El valor medio multianual de evapotranspiración potencial anual es de 639 mm.

En la Tabla 6-2 se consignan los valores mensuales de los principales elementos constitutivos del clima sobre los cuales se dispone de información

**Tabla 6-2 Valores medios mensuales multianuales de elementos climáticos**

ELEMENTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Precipitación (mm)	34.6	40.8	68.8	56.4	90.1	50.4	54.2	45.4	38.5	52.8	81.8	42.8
Temperatura del aire °C	12	12	13	13	13	12	11	12	12	13	13	12
Humedad relativa %	69	70	73	73	77	75	78	75	71	71	73	72
Brillo solar (Horas)	194	149	148	131	128	144	129	157	156	148	134	183
Evapotranspiración Potencial (mm)	51.3	49.2	55.4	55.9	56.5	53.3	49.3	51.3	53.5	56.8	54.1	52.4

## 6.2 ACTIVIDADES ADELANTADAS

### 6.2.1 Actividades de oficina

Las actividades de oficina se refieren principalmente a las de planeación y programación de los trabajos como un todo.

Una vez definidos los alcances de las labores se recopiló y analizó la información existente en los campos de la Hidrología, Climatología e Hidráulica, en particular los informes de estudios adelantados en el pasado reciente por INGEOMINAS para el área, y los planos de las redes de acueducto y alcantarillados existentes.

### 6.2.2 Actividades de campo

Una vez definida el área y sus principales vías de acceso, se programaron visitas de campo en las cuales se adelantó el estudio visual del estado de las redes de alcantarillado y acueducto.

Vale la pena anotar que en esta etapa de los estudios se dio especial atención al análisis de los problemas de drenaje en los sectores denominados I y II con miras a establecer el efecto de la posible inestabilidad de estos sobre la estabilidad del área que comprende el sector III, por una parte, y a la definición de lo que puede ser el efecto de la falla de la

zona III o de los sistemas de conducción de aguas que se localizan en ella, sobre las áreas aledañas a la misma.

### **6.3 HIDROLOGÍA**

Las aguas provenientes de las redes de alcantarillado pluvial y sanitario de las fases III y II fluyen en una gran proporción hacia la corona del deslizamiento, y desde aquí, hacia la parte baja de ésta donde se infiltran, como consecuencia de la discontinuidad de los ductos, causada por el deslizamiento. Dados los inconvenientes que esta agua pueden generar desde el punto de vista de la estabilidad de la ladera ya deslizada y en la generación de deslizamientos nuevos en particular en el área localizada en la fase III, se hace necesario determinar su influencia real, en función de los volúmenes que confluyen hacia la parte baja.

#### **6.3.1 Caudal de aguas servidas**

Puesto que no se dispone de memorias de cálculo de las redes de alcantarillado del área, se recurrió a la determinación de los caudales por métodos indirectos, que nos conducen a los órdenes de magnitud de los caudales actualmente generados.

Con tal fin, el área total de estudio se dividió en subzonas que corresponden con el patrón de drenaje de las cuencas de las quebradas Carbonera, Los Rosales y Santa Rita, y dentro de ellas con el esquema de drenaje propuesto para las redes de alcantarillado.

En cada una de estas subzonas se determinó, con base en los planos obtenidos de los levantamientos topográficos, el número de viviendas localizado en ellas. Se supuso entonces que en promedio, cada una de las viviendas está habitada por cuatro personas, cada una de las cuales consume, en promedio, 150 litros de agua por día. Adicionalmente se asumió que de este volumen consumido, se obtiene un retorno del 85%, que se convierte en aguas servidas que ingresan a las redes de alcantarillado.

Con base en las anteriores consideraciones, se obtuvieron los valores que se presentan en la Tabla 6-3 y Tabla 6-4.

**Tabla 6-3 Número de habitantes y caudales de aguas servidas fase II**

No. DE HABITANTES		AGUAS SERVIDAS Q (l/s)
ZONA Q. CARBONERA	A <sub>II</sub> 244	1,44
	B <sub>II</sub> 146	0,86
	C <sub>II</sub> 160	0,94
ZONA Q. ROSALES	R <sub>AII</sub> 233	1,37
	R <sub>BII</sub> 159	0,94
ZONA Q. SANTA RITA	SR <sub>AII</sub> 324	1,91

**Tabla 6-4 Número de habitantes y caudales de aguas servidas fase III**

No. DE HABITANTES		AGUAS SERVIDAS Q (l/s)
ZONA Q. CARBONERA	A <sub>III</sub> 185	1,04
	B <sub>III</sub> 188	1,11
	C <sub>III</sub> 44	0,26
ZONA Q. ROSALES	R <sub>AII</sub> 538	3,18
	R <sub>BII</sub> 248	1,46
ZONA Q. SANTA RITA	SR <sub>AIII</sub> 431	2,54

Como se puede apreciar en los cuadros anteriores, el caudal que fluye hacia la zona de deslizamiento y se infiltra en ella, es superior a los 1,5 l/s, lo cual es equivalente a decir, que le ingresan cerca de 130 metros cúbicos de aguas negras por día, sin que se evidencien sistemas de drenaje adecuados en la parte norte del deslizamiento, capaces de evacuarlos.

### 6.3.2 Caudales de aguas lluvias

Puesto que los patrones de la red de drenaje de aguas lluvias es paralelo al de aguas servidas, para efectos de la determinación de los caudales que llegan al área como resultado de aguaceros notables, se adoptaron las mismas subzonas que se emplearon para el cálculo de aquellas.

Se adoptó como criterio de cálculo, la precipitación de máxima intensidad de quince minutos de duración y 25 años de recurrencia. La selección de la duración de la lluvia se llevó a cabo haciendo abstracción de las condiciones reales actuales como son la

urbanización y dentro de ésta, el hecho de que no se considera el tiempo de concentración para bloques o manzanas individuales ni el tránsito del caudal generado en cada uno de éstos, a lo largo de los conductos o alcantarillas. Se tomó un tiempo global, para cada sector analizado.

Dentro de este marco, se seleccionaron las ecuaciones IDF desarrolladas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá para varios sectores del sur de la ciudad. Se consultaron las correspondientes a las localidades de La Flora, Gran Yomasa y Diana Turbay.

En términos generales las ecuaciones son de la forma

$$I = C_1(t + X_0)^{C_2}$$

En las cuales:

I es la intensidad de la precipitación en mm/hora

t es la duración del aguacero, en minutos

$X_0$  es un parámetro que depende del tiempo de recurrencia del evento

$C_1$  Coeficiente que depende del tiempo de recurrencia del evento

$C_2$  Exponente que es igualmente función del período de recurrencia

Del análisis de los resultados de aplicar las tres ecuaciones se llegó a la conclusión de que los valores obtenidos para las mismas circunstancias de duración y recurrencia de la lluvia son similares. Se optó, entonces, por tomar para efectos de cálculo el promedio de los valores obtenidos: 107 mm/hora.

Para la determinación del caudal generado por el aguacero con la intensidad obtenida se empleó el método racional, el cual, si bien es cierto que no es el mejor para determinar caudales por las incertidumbres en el coeficiente de escorrentía, amén de considerar constante la distribución temporal de la lluvia, produce resultados que son de utilidad para los fines propuestos en este estudio.

Si tenemos en cuenta que los dos sectores en estudio corresponden a áreas con viviendas y que las calles están construidas con materiales granulares altamente compactados, podemos adoptar un coeficiente de escorrentía bastante alto, 0,6.

Del empleo de esta metodología se obtuvieron los caudales de aguas lluvias para cada subzona, los cuales, fluirían al área de deslizamiento. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 6-5 y Tabla 6-6.

**Tabla 6-5 Caudales de aguas lluvias fase II**

ÁREA (m <sup>2</sup> )		AGUAS LLUVIAS Q (l/s)
<b>ZONA Q. CARBONERA</b>	<b>A<sub>II</sub> 30844</b>	550
	<b>B<sub>II</sub> 16512</b>	290
	<b>C<sub>II</sub> 17690</b>	315
<b>ZONA Q. ROSALES</b>	<b>R<sub>AII</sub> 30321</b>	540
	<b>R<sub>BII</sub> 20785</b>	370
<b>ZONA Q. SANTA RITA</b>	<b>SR<sub>AII</sub> 38109</b>	680

**Tabla 6-6 Caudales de aguas lluvias fase III**

ÁREA (m <sup>2</sup> )		AGUAS LLUVIAS Q (l/s)
<b>ZONA Q. CARBONERA</b>	<b>A<sub>III</sub> 17062</b>	304
	<b>B<sub>III</sub> 20157</b>	359
	<b>C<sub>III</sub> 4941</b>	88,1
<b>ZONA Q. ROSALES</b>	<b>R<sub>AII</sub> 86558</b>	1540
	<b>R<sub>BII</sub> 32107</b>	572
<b>ZONA Q. SANTA RITA</b>	<b>SR<sub>AIII</sub> 48645</b>	868

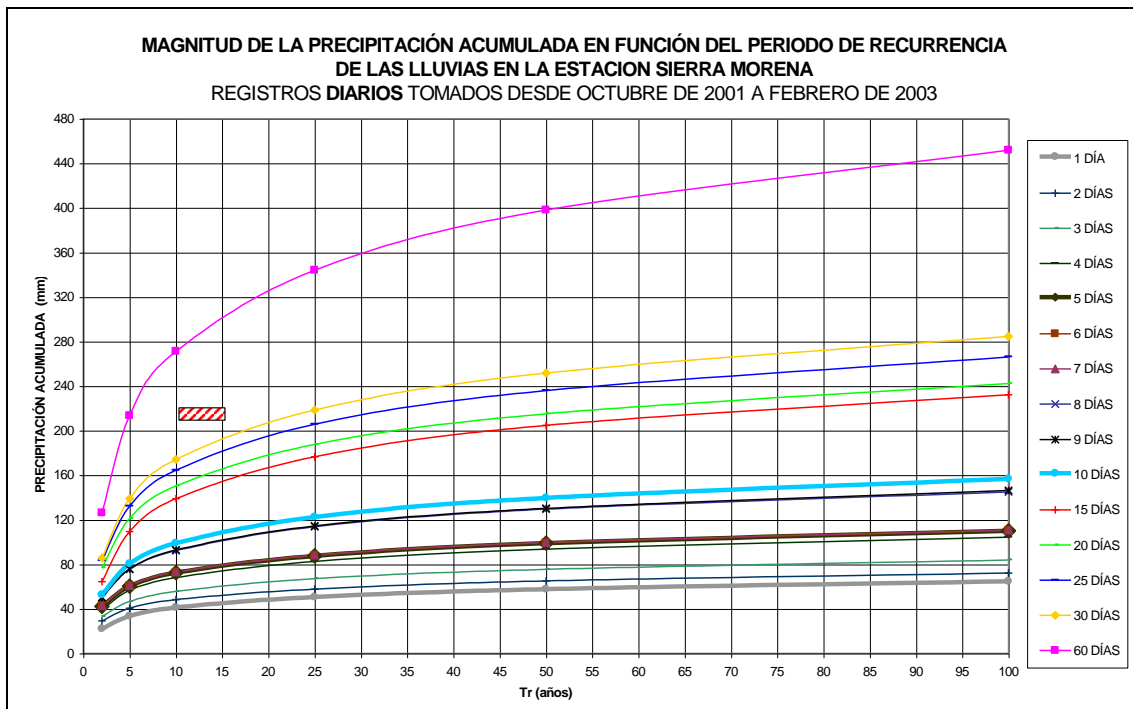
Como puede deducirse de los valores obtenidos, en caso de presentarse el evento de la magnitud considerada en los cálculos anteriores, ingresarían al área volúmenes considerables de agua, si se tiene en cuenta que tan sólo la subzona A para las fases II y III integrados, generaría un caudal aproximado de 850 l/s.

### 6.3.3 Persistencia de la precipitación

Habida cuenta de que uno de los detonantes de los fenómenos de remoción en masa es la precipitación, en cuanto se refiere a su persistencia, es decir, a la presencia de temporadas más o menos largas con precipitación, se determinaron los valores de precipitación máxima para varios días consecutivos y de diferente probabilidad de ocurrencia o período de retorno.

Dentro de este orden de ideas, después de adelantarse una selección de estaciones pluviométricas cercanas al área de estudio, se concluyó que la localizada en las instalaciones de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado en Sierra Morena brindaba la información más conveniente a los objetivos perseguidos.

Puesto que existe un estudio en este sentido, adelantado por INGEOMINAS en 2002-2003, se revisó la metodología empleada en su desarrollo y se optó por adoptar los valores obtenidos de las curvas desarrolladas en el mismo. Las curvas citadas se presentan en la Figura 6-1.



**Figura 6-1 Magnitud de la precipitación acumulada en función del período de recurrencia de las lluvias en la Estación Sierra Morena (INGEOMINAS, 2001)**

Del análisis del estudio "RELACIONES DE PRECIPITACIÓN CRÍTICA- LLUVIAS QUE DISPARAN MOVIMIENTOS EN MASA EN SANTAFE DE BOGOTA-COLOMBIA – de Alvaro González y otros, es posible determinar que para las estaciones que rodean el área de interés del presente estudio, vale decir, Bosa, Tanque Jalisco y Santa Lucía las características de la lluvia crítica asociada con los movimientos en masa, corresponde a valores de 215 mm, en promedio, con duraciones de 30 días. Si tomamos estos valores como representativos de lo que podría ser la precipitación antecedente crítica en el área de Ciudad Bolívar, de las curvas de la Figura 6-1 se deduce que ésta tiene un período de retorno de 25 años.



## **6.4 ESTADO ACTUAL DE LAS REDES DE DRENAJE Y DE AGUA POTABLE**

### **6.4.1 Generalidades**

Del reconocimiento adelantado en el área, se pudieron definir dos sectores con características diferentes en cuanto al manejo actual de las aguas tanto de escorrentía generada por las lluvias como las de alcantarillado.

El primer sector se localiza en el extremo oriental del área, (Carboneras I y II). En él se aprecian vestigios de cunetas construidas en concreto para el drenaje de aguas de escorrentía sobre la ladera. En términos generales se puede afirmar que estas cunetas no han tenido ningún mantenimiento y se encuentran en mal estado en algunos tramos. Por otra parte, y tal vez debido a movimientos ocurridos con posterioridad a su construcción, no existe continuidad en ellas. Se presentan tramos aislados y desprovistos de mecanismos de drenaje, por lo cual el agua fluye sobre el suelo sin control.

En el extremo oriental se detectó un canal de 0,80 m de ancho y una profundidad de un metro, aproximadamente, con las paredes revestidas en piedra pegada. De acuerdo con los análisis e investigación adelantados sobre las redes de drenaje existentes, se determinó que este canal corresponde a la continuación de los ramales de alcantarillado de aguas servidas y pluviales que entregaban a la quebrada La Carbonera. Su pendiente es alta y la velocidad del agua es de más de un metro por segundo. El caudal el día de la visita era del orden de cinco litros por segundo.

Unos 150 m aguas abajo de la iniciación del canal, existe una caída vertical de aproximadamente 15 m de altura. Después de ésta, el agua corre sin ningún encauzamiento, formando una zona pantanosa, hasta alcanzar un pequeño lago localizado al noroccidente del curso alto del canal.

Más hacia el occidente, en la fase II, en cercanías de la corona del deslizamiento principal, la situación del sistema de drenaje es caótico. Debido a los deslizamientos, la red de alcantarillado que existió antes de éstos, colapsó. Como consecuencia, las aguas servidas de toda el área localizada en la parte superior de la corona del deslizamiento fluyen superficialmente hasta la zona deslizada donde se infiltra. Esto es particularmente notorio en los sectores denominados Santa Viviana y Santo Domingo. Los caudales que drenan hacia la zona de deslizamiento, provenientes de las redes de alcantarillado pluvial y sanitario se presentan más adelante.

Más hacia el norte del sector antes citado, se localizan los sectores El Espino I y II. En el primero de ellos no es visible la afluencia de agua proveniente de la parte superior. Sin embargo, a él drena parte de la red de alcantarillado de la fase II y es posible escuchar el movimiento del agua a alguna profundidad.

#### 6.4.2 Redes de alcantarillado Sanitario

Las redes de alcantarillado sanitario conforman subsistemas que siguen la pendiente natural del terreno dentro de las cuencas definidas de las tres quebradas existentes en el área.

En efecto, tal como se aprecia en la Figura 6-2. En la parte de la cuenca de la quebrada La Carbonera localizada en la margen izquierda de la misma, se evidencian tres zonas, A, B y C, cada una de las cuales corresponde al área aferente a un subsistema que drena finalmente sus aguas a ésta quebrada.

En la zona A un subsistema tiene inicio en la zona B y conduce sus aguas directamente a la quebrada, mediante tubería de 8 pulgadas que se localiza a lo largo de la calle 75 D Sur sobre el mismo cauce se construyó la continuación del ramal, con pendientes en algunos sectores superiores al 27% en la actualidad interrumpido al ingresar al sector Carboneras II por efecto de los deslizamientos. Un segundo ramal con características de pendiente similares al anterior se inicia en la intersección de la calle 75 D Sur con carrera 75 F y discurre por ésta hasta alcanzar el cauce de la quebrada. Este ramal se interrumpe al entrar en el sector de Carbonera II a consecuencia de los deslizamientos.

La zona C, de menor extensión que las anteriores, es drenada por un ramal que se localiza en la carrera 75 L Bis y otro que se situaba justo en la calle en la cual se ubica la corona actual del deslizamiento, al cual drenaba el anteriormente citado, para conducir las aguas hasta el ramal que ocupaba el cauce de la quebrada Los Rosales, y actualmente destruido por los deslizamientos.

En el área de la cuenca de la quebrada Los Rosales localizada en la margen derecha de ésta, se localizan las zonas denominadas  $R_{AII}$  y  $R_{AIII}$ . La primera drena sus aguas servidas al ramal antes citado, localizado en la corona del deslizamiento. La segunda, es drenada por ramales que fluyen hacia el norte hasta el colector que ocupa el cauce de la quebrada Los Rosales, el cual se interrumpe por destrucción en la carrera 76 B, donde se localiza la corona del deslizamiento. Hacia el norte, en el área de la cuenca en la margen izquierda de la quebrada, se localizan las zonas  $R_{BII}$  y  $R_{BIII}$  la primera drenaba mediante tuberías localizadas en calles localizadas en la zona de deslizamiento El Espino y que en la actualidad están destruidas. Vertían sus aguas al colector que ocupa el cauce de la quebrada Los Rosales, a partir de la calle 66 A Sur. La segunda zona, al igual que la que se localiza más hacia el norte, en la cuenca de la margen derecha de la quebrada Santa Rita,  $S_{RAIII}$ , drena hacia la quebrada de este nombre, por un colector ubicado en la carrera 76 C. Hacia el oriente de este colector se localizaban dos ramales paralelos por calles actualmente destruidas por el deslizamiento y que drenaban igualmente, a la quebrada Santa Rita.

### **6.4.3 Redes de aguas lluvias**

Las redes de aguas lluvias están concebidas mediante subsistemas paralelos a las redes de alcantarillado sanitario antes descritas. Están conformadas por conductos de 12 y 36 pulgadas de diámetro y al igual que las de aguas servidas, en su totalidad están destruidas en los sectores de deslizamiento, es decir, al inicio de la fase II, o en la corona del deslizamiento.

Adicionalmente, en las calles que hacen parte de las fases II y III es común la existencia de cunetas o canaletas para conducción de aguas lluvias que conducen a los sumideros de la red. Ver Figura 6-3.

### **6.4.4 Redes de agua potable**

En cuanto a redes de agua potable, de acuerdo con el plano suministrado por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, la zona de estudio está enmarcada por dos conducciones que la abastecen. La primera conducción, en tubería de ocho pulgadas de diámetro, se origina en el tanque Sierra Morena III e ingresa al área de estudio por la calle de acceso localizada en la parte sur del bloque de viviendas que se ubica justo en la parte superior de la corona del deslizamiento, tal como aparece en la Figura 6-4. Continúa hacia el noreste hasta la calle 69 B Sur, donde gira hacia el norte hasta encontrar la corona del deslizamiento del sector El Espino II, en la calle 66 A Sur, donde gira hacia el occidente hasta la carrera siguiente, en ésta gira de nuevo al oriente y luego se dirige al norte hasta empalmar con la segunda de las conexiones antes citadas, fuera del área de estudio. Una vez pasa por el cauce de la quebrada Santa Rita, su diámetro es de seis pulgadas.

La segunda conducción, en tubería de 16 pulgadas se localiza en el marco del área de estudio. Se origina en el tanque Sierra Morena III. Se localiza, como se mencionó antes, en los bordes del área, al oriente del sector Carbonera I y al oriente y norte del deslizamiento del sector El Espino, donde empalma con la primera conducción y continúa hasta el tanque de Cazucá.

Si se analizan los planos donde aparecen las coronas de los deslizamientos, se podría llegar a la conclusión de que la primera conducción fue destruida por el deslizamiento del sector El Espino. Esta apreciación se hace más creíble al observar los cambios de dirección de la tubería en cercanía de la corona del deslizamiento. Sin embargo, esta circunstancia no fue observada durante los reconocimientos de campo.

Como se puede apreciar en la Figura 6-4, no existen redes de conducción en las fases II y III. Estos se abastecen mediante conducciones en manguera conectadas a la primera de las conducciones citadas. En efecto, antes de cruzar el cauce de la quebrada Carbonera, se desprende de la conducción de la EAAB un ramal en, manguera de dos pulgadas de diámetro, sobre el cual se localizan tres estaciones de bombeo de la comunidad.. Del tramo de este ramal paralelo a la quebrada, se desprenden tres ramales adicionales: El localizado más al norte, se ubica sobre la calle 74 Sur, o límite norte de la fase III. El

segundo ramal se localiza sobre la Diagonal 76 B Sur, o límite sur de la fase III. El tercer ramal continúa desde esta calle hacia el sur, y abastece los barrios Mirador, Corralitos y la parte sur occidental de la fase III del área de estudio.

Más al norte, se desprende de la conducción de la EAAB otro ramal en manguera de tres pulgadas que se extiende hacia el límite occidental de la fase III, en el cual existe un tanque y estación de bombeo, desde donde se origina una nueva conducción en manguera de tres pulgadas, que se dirige al sur hasta el barrio Arroyo Alto, en la parte sur occidental de la fase III, el cual es abastecido, además, por el tercer ramal antes citado.

En el sector donde la primera conducción de la EAAB hace los quiebres, en la calle 66 A Sur, se desprende un ramal más en dirección al occidente, avanza un bloque de viviendas, y luego con rumbo norte, paralelo a la conducción de la EAAB. En la calle 62 sur, se desprende de éste otro ramal en manguera de dos pulgadas, al igual que el anterior en el cual se origina, y abastece el barrio El Minuto de Dios, ubicado al occidente del área de estudio. El ramal del cual se desprende este último continúa hacia el norte, hasta el barrio Tres Reyes.

Durante las visitas de reconocimiento no se observaron escapes de agua provenientes de las mangueras, de cuya existencia y localización se tuvo noticia a través de los Presidentes de la Juntas de Acción Comunal de los barrios.

## **6.5 INCIDENCIA DEL ESTADO DE LAS REDES EN LA PROBLEMÁTICA ACTUAL**

De lo establecido en los numerales anteriores se deduce que en la actualidad por efecto de la destrucción de las redes de alcantarillado pluvial y sanitario están confluyendo tanto a la zona deslizada, fase I, provenientes de la fase II y a éste, provenientes de la fase III, caudales de agua más o menos importantes, que se infiltran saturando los estratos más superficiales del área de deslizamiento actual y en buena medida, parte del área de la fase III cercana a la corona del deslizamiento actual.

Las aguas infiltradas, ya sean provenientes de los sistemas de alcantarillado fallados o de escorrentía directa sobre el área de las fases I y II, en buena medida se acumulan en lagunas localizadas en la parte baja de las quebradas, Santa Rita y Carbonera, generando problemas ambientales, fundamentalmente

De acuerdo con los cálculos elaborados, a los cuales se hace referencia en el numeral de Hidrología, se llega a la conclusión de que en promedio, se tiene un caudal permanente de aguas servidas cercano a 1,5 l/s, según puede apreciarse en la Tabla 6-7 y Tabla 6-8 y para cada una de las zonas descritas antes.

Los caudales de aguas lluvias obtenidos de acuerdo a la metodología explicada en el numeral de Hidrología, corresponden a período de retorno de 25 años, para duraciones de 15 minutos, tiempo que es aproximadamente el tiempo de concentración de las áreas de drenaje.

**Tabla 6-7 Caudales de aguas servidas y lluvias generadas en la fase II**

ZONA		AGUAS SERVIDAS Q (l/s)	AGUAS LLUVIAS Q (l/s)
Q. CARBONERA	A <sub>II</sub>	1,44	550
	B <sub>II</sub>	0,86	290
	C <sub>II</sub>	0,94	315
Q. ROSALES	R <sub>AII</sub>	1,37	540
	R <sub>BII</sub>	0,94	370
Q. SANTA RITA	SR <sub>AII</sub>	1,91	680

**Tabla 6-8 Caudales de aguas servidas y lluvias generadas en la fase III**

ZONA		AGUAS SERVIDAS Q (l/s)	AGUAS LLUVIAS Q (l/s)
Q. CARBONERA	A <sub>III</sub>	1,04	304
	B <sub>III</sub>	1,11	359
	C <sub>III</sub>	0,26	88,1
Q. ROSALES	R <sub>AIII</sub>	3,18	1540
	R <sub>BIII</sub>	1,46	572
Q. SANTA RITA	SR <sub>AIII</sub>	2,54	868

Por otra parte, es importante anotar que la conducción de agua potable de la EAAB que se localiza a lo largo de la parte superior de la fase I, cercana a la corona de los deslizamientos, puede tener discontinuidad en el sector de El Espino, donde el terreno donde se localiza falló. En este caso, si al hacer la conexión de la conducción en manguera paralela a ella no se interrumpió el flujo hacia la parte destruida, se estará suministrando al subsuelo un caudal importante de agua a presión. Es importante corroborar con la EAAB la situación actual de esta conducción.

La conducción perimetral al área de estudio no parece influir sobre el deslizamiento actual. Adicionalmente, se localiza en la parte plana de los barrios vecinos del sector .

El mayor riesgo de acceso de agua al subsuelo lo generan las conducciones en manguera, dado que su estado no se puede detectar en cuanto a filtraciones por porosidad de éstas o por uniones defectuosas, ni se tiene un monitoreo en este sentido.

Lo consignado anteriormente, conduce a concluir que es imperiosa la construcción de redes de conducción y distribución de acuerdo con las normas existentes, que reemplacen las mangueras.

## **6.6 EFECTO DE FUTUROS DESLIZAMIENTOS SOBRE LAS REDES EXISTENTES**

### **6.6.1 Redes de alcantarillado sanitario y pluvial**

Como se anotó antes, las redes de alcantarillado pluvial y sanitario en las fases II y III tienen patrones iguales en cuanto a su localización y dirección de flujo, en todas las subzonas en que se subdividió el área de estudio. Por esta razón, los efectos de deslizamientos futuros las afectarán de la misma manera y por tanto, nos referiremos a las redes de alcantarillado en general.

Tal como se aprecia en la Figura 6-2, en el cual aparecen las redes existentes, un deslizamiento de parte del sector II, en las subzonas A, B y C de la cuenca de la quebrada Carbonera, transportaría hacia el sur y sur occidente los problemas actuales de discontinuidad de las redes. Los problemas actuales del sector II continuarían igual que en la actualidad. Si los deslizamientos llegaran a interesar los dos bloques de viviendas localizados en la parte inmediatamente superior de las coronas del deslizamiento actual, se pondría en serio peligro el ramal de redes que se aconseja construir para drenar la parte del sector III localizada entre la Diagonal 76 B Sur, la calle 75 D Sur y la diagonal 76 A Sur y calle 74 Sur e interceptar las aguas que actualmente fluyen hacia el sector II. Esto es igualmente válido para las áreas de las subzonas que se localizan en ambos márgenes de la quebrada Los Rosales y que se han denominado subzonas  $R_{AII}$ ,  $R_{AIII}$ ,  $R_{BII}$  y  $R_{BIII}$ .

Una situación especial parece presentarse al norte de la calle 66 A Sur. Si no se desalojan los moradores de las viviendas localizadas en la fase II, al occidente de la carrera 76 C porque se logra estabilizar el deslizamiento del área de El Espino, es de especial importancia construir un nuevo ramal de alcantarillado de aguas negras y lluvias, que reemplace al existente.

### **6.6.2 Redes de agua potable**

La única red que aparentemente estaría en peligro de destrucción sería la que avanza en cercanías de las coronas de los deslizamientos, por el borde inferior de la fase II. En caso de falla de esta conducción, se suspendería el abastecimiento de agua a las fases II y III, ya que como se anotó antes, todas las conducciones en manguera están conectadas a ella. Adicionalmente, quedarían sin suministro los barrios localizados al sur, al occidente y al norte del área de estudio.

## 6.7 SOLUCIONES PROPUESTAS

De acuerdo con lo observado en la parte oriental y sur oriental del área, fases I y II, el deslizamiento es activo, es decir, el suelo aun tiene movimiento. Tenida en cuenta esta consideración, lo más conveniente es no construir obras de tipo rígido o que no puedan ser fácilmente reparadas en corto tiempo.

Dentro de este orden de ideas, se propone como medida a muy corto plazo, la reconstrucción de las cunetas de drenaje que han sido destruidas. Estas, aunque son de concreto, son fácilmente reparables y reemplazables.

En particular se propone, además de la reconstrucción, la construcción de tramos de empalme, así:

Un tramo de cerca de 60 m que debe empalmar la cuneta que baja por la ladera superior del deslizamiento, C1 y que se interrumpe en el cambio de pendiente de ésta. Deberá seguir la dirección de menor pendiente, rodeando la parte más empinada en dirección noreste y luego girar al norte hasta empatar con la cuneta C2 que se inicia en la parte más profunda del área. Reconstruir aproximadamente 200 m de ésta hasta empalmar con la entrega en el canal que baja por el costado oriental al cual se alude enseguida.

El canal existente en el extremo oriental, que coincide con el cauce de la quebrada La Carbonera, debe limpiarse en su parte superior, donde se inicia, es decir, en una caja de inspección localizada en el costado norte de la vía, se construirá un pozo de inspección, en el cual se le dará continuidad al ramal de alcantarillado que desciende desde la parte superior del área, o fase III. A unos 100 m hacia el norte de este pozo, se construirá otro, al cual convergerán las aguas provenientes de la parte nor occidental de la fase II y las de la quebrada. Todas estas aguas se conducirán mediante tubería a la red existente de 24 y 36 pulgadas de diámetro que se dirige hacia el barrio Sierra Morena. Este mismo desarrollo deberá darse a la red de aguas servidas. Con esta alternativa se evita que el área de deslizamiento siga recibiendo las aguas de toda la cuenca superior de la quebrada y adicionalmente las aguas servidas de la fase III y de la parte oriental de la fase II de Carbonera y se suspendería la alimentación del pantano y lago existentes en la parte nor oriental de la fase I de Carbonera.

Se debe estudiar el sistema de evacuación de las aguas de las lagunas hacia los sistemas de alcantarillado de aguas servidas que existen en los barrios Sierra Morena, al cual se hizo mención antes, y en el Mirador de la Estancia.

La evacuación de esta agua requiere del diseño y construcción de obras de conducción, que en nuestro concepto deben ser temporales, pues se asume que una vez se construyan las redes de alcantarillado en la parte superior del área cesará la afluencia de agua a las lagunas. Para efectos de diseño de las obras se requiere establecer los niveles más bajos de los almacenamientos, de manera que se garantice el drenaje completo de las aguas estancadas. Para ello es necesario ejecutar una topografía de detalle con miras

a establecer la pendiente, tipo y características de las obras de evacuación para su correcto empalme con las redes de alcantarillado, así como sondeos en las lagunas con el fin de conocer las cotas de fondo.

Una vez conocidos los anteriores detalles, se podrá definir el tipo de obra más eficiente y económico.

En el estado actual del conocimiento de las características hipsométricas del área que circunda las lagunas, es imposible determinar, con algún grado de exactitud la localización y dimensiones de las lagunas y la dirección o alineamiento de las estructuras, pero de manera aproximada, se bosquejan soluciones en el Mapa 13-1. Es importante anotar que para efectos de mantener caudales de drenaje controlados y con el propósito de que las conducciones resultantes obedezcan a dimensiones que redunden en costos bajos, se deben diseñar y construir estructuras de salida y entrega para caudales bajos.

Dentro de este orden de ideas, se sugiere drenar el lago  $L_A$  al lago  $L_B$  y éste, mediante una acequia o canal de máximo 0,50 m de ancho excavado en tierra, y con pendiente que se definirá en función de los resultados de los levantamientos topográficos, drenarlo hacia la red de alcantarillado sanitario existente en el barrio Sierra Morena.

Se sugiere drenar la laguna  $L_C$  localizada en la margen izquierda de la parte baja de la quebrada Santa Rita, mediante una conducción que lleve las aguas con caudal controlado, a la red de alcantarillado sanitario del barrio Mirador de la Estancia. Las características de la conducción dependen de la topografía del área circundante al alineamiento sugerido. Una vez se haya drenado el agua de las lagunas, se debe rellenar la depresión resultante y reconstruir el cauce original de la quebrada Santa Rita.

En la parte localizada en Santa Viviana y Santo Domingo, zonas A, B y C descritas antes, se debe suprimir en su totalidad la parte de la red de alcantarillado correspondiente a la manzana o bloque de viviendas inmediatamente contiguo a la corona del deslizamiento y que drena hacia el deslizamiento. Adicionalmente, se considera imperioso dotar de alcantarillado pluvial y sanitario diseñado de acuerdo con las normas la parte baja de la fase III, construyendo para tal fin colectores que se inicien en la Calle 69 B Sur, y se prolonguen por la diagonal 76 A Sur y calle 74 Sur, así como en la calle aledaña a ésta hacia el norte, en las cuales aparentemente no existe movimiento del suelo, hasta la red existente en el cauce de la quebrada La Carbonera.

Lo anterior exige la evacuación de los asentamientos aun existentes hacia el norte de la última vía de acceso a estos dos barrios.

Con respecto a la fase III, si bien es cierto que en las primeras etapas de los estudios no se encontraron problemas de manejo de aguas, los análisis posteriores realizados a las redes existentes y a los residuos de las destruidas por deslizamientos, llevaron a la conclusión de que es de fundamental importancia construir colectores y redes secundarias que evacuen las aguas servidas y lluvias hacia la quebrada La Carbonera,



desde la calle 69 B Sur tal como se indicó antes, y hacia la quebrada Rosales, desde esta misma calle a lo largo de las carreras 75 L y 75, hasta empalmar con la entrega en la quebrada Rosales sin que se permita la conexión de tuberías en dirección al deslizamiento. Esto implica levantar el colector existente y reemplazarlo, o sellar las salidas actuales hacia la zona deslizada.

Al oriente del límite oriental del Sector III en el barrio El Espino, carreras 75 L y 75, tal como se mencionó anteriormente, existen dos bloques o manzanas de viviendas localizadas entre este límite y la corona del deslizamiento, en los cuales existen, al menos en algunas calles, sistemas artesanales de alcantarillado que aunque no fue posible determinar su entrega final, se supone que ésta se encuentra en el deslizamiento. En nuestro concepto, estos asentamientos deben reubicarse y adicionalmente sellar o levantar las tuberías existentes.

En cuanto al abastecimiento con agua potable, se propone construir dos ramales que se empalmarían en la quebrada Carbonera con los ramales de 8 y 6 pulgadas que llegan a este sitio provenientes del tanque Sierra Morena III. los dos ramales propuestos convergen en la calle 69 B Sur con diagonal 76 B Sur, desde allí sólo continua una tubería hacia el norte por la carrera 77 A. Desde estos ramales se distribuiría el agua al área completa. Se considera necesario adelantar un estudio sobre las presiones existentes en la red actual, para determinar la necesidad de instalar bombes adicionales.

En la Figura 6-5 y Figura 6-6 se presentan las redes de alcantarillado y acueducto propuestas, respectivamente. Se dibujan sólo los colectores de aguas servidas, pues se supone que los de aguas lluvias son paralelos a éstos.

Finalmente, con respecto a las quebradas que se localizan en el área, no se recomienda adelantar en su cauce obra alguna antes de que se encuentre estabilizada la ladera. Cualquier obra, especialmente si es de tipo rígido, tendrá una duración muy corta, dado que aun se presentan movimientos del suelo. Se recomienda adelantar un monitoreo periódico de sus cauces y hacer limpieza y reconstrucción de los mismos, en aquellos sitios donde se encuentre que los mismos están obstruidos por materiales de derrumbe o estrangulados como resultado de movimientos de los taludes de sus orillas.

## **6.8 COSTO APROXIMADO DE OBRAS**

Con base en los planos del área y de acuerdo con la localización aproximada de las estructuras, se calcularon, de manera igualmente aproximada, las cantidades de obra involucradas en la propuesta de solución antes descrita. Estos costos son sólo indicativos, por tanto, del orden de magnitud del costo real resultante de diseños detallados, basados en levantamientos topográficos de detalle.

Estos cálculos indican el costo de las obras propuestas para el manejo de aguas, sin incluir el de los diseños de los sistemas de alcantarillado.



**Figura 6-2 Red del alcantarillado Sanitario y zonas de drenaje.**

**Figura 6-3 Red del alcantarillado Pluvial y zonas de drenaje.**

**Figura 6-4 Red de Acueducto.**

**Figura 6-5 Redes propuestas de alcantarillado sanitario y pluvial.**

**Figura 6-6 Redes propuestas de acueducto.**

