RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS LECTURAS REALIZADAS

CONTROL DE VIVIENDAS

En el cuadro 1 se muestra las fechas de ejecución de las diferentes campañas de topografía llevadas a cabo durante el transcurso del monitoreo.

Cuadro 1 fechas de ejecución de campañas topográficas.

NONITOREO Y SEGUIMIENTO DEL DESLIZAMIENTO EN LA CUENCA DE LA QUEBRADA LA CARBONERA	
FECHAS DE EJECUCION DE CAMPAÑAS TOPOGRAFICAS	
CAMPAÑA	FECHA DE EJECUCION
Levantamiento inicial	Enero 17 - 22 del 2000
1	Febrero 2 - 7 del 2000
2	Febrero 15 - 19 del 2000
3	Febrero 29 - Marzo 4 del 2000
4	Marzo 15 - 20 del 2000
5	Marzo 28 - Abril 1 del 2000
6	Abril 11 - 15 del 2000
7	Abril 25 - 28 del 2000
8	Mayo 9 - 13 del 2000
9	Mayo 23 - 27 del 2000
10	Junio 7 - 11 del 2000
11	Junio 21 - 25 del 2000
12	Julio 05 – 07 del 2000

Una vez ejecutadas las campañas de topografía programadas para el estudio de monitoreo y seguimiento del deslizamiento en la cuenca de La Quebrada La Carbonera, se pudo determinar la magnitud y dirección del movimiento de cada uno de los puntos materializados sobre las viviendas seleccionadas para el control topográfico. Como se muestra en el cuadro anterior las campañas se ejecutaron en períodos de 15 días, de esta forma fue posible realizar un seguimiento a cada punto y determinar la magnitud y dirección del movimiento. Los valores acumulados de dichos desplazamientos se presentan en el formato 1-V así como también la diferencia con respecto a la lectura anterior y la variación de cota. Así por ejemplo, se observa que los primeros 14 puntos se han desplazado mas de 1 metro durante el tiempo que duró la ejecución del proyecto y las cotas han disminuido hasta en

1.46 m como es el caso del punto 11. Los puntos antes mencionados se localizan en la parte Nor – oriental de la zona de estudio y próximos a la confluencia de las quebradas Los Rosales y Carbonera respectivamente.

Otros puntos que han presentado desplazamientos están referenciados por los números 67, 68, 69 y 70 ubicados en la parte centro y sur del barrio San Antonio cerca también al lugar donde se ejecutaron las obras propuestas por IGL. Estos puntos muestran valores de desplazamiento acumulado entre 0.14 y 1.81 m y una variación de cota entre 0.13 y 1.01 m con respecto a la lectura inicial.

En general, todos los puntos materializados en el área donde se presenta el deslizamiento registraron desplazamientos grandes, los puntos ubicados en el resto de la zona no presentan movimientos de gran magnitud a excepción de algunos puntos localizados sobre rellenos conformados por la misma comunidad y sobre los cuales construyeron sus viviendas.

En los siguientes cuadros se presentan los valores de desplazamiento ocurridos durante el período de ejecución del proyecto por campaña para tres puntos que básicamente reflejan la magnitud del desplazamiento de toda la masa deslizante.

Se muestran también las gráficas 1, 2 y 3 que representan la magnitud de desplazamiento en el tiempo de ejecución de las campañas, donde se indican los períodos de movimiento más intenso.

Cuadro 2. Desplazamiento por campañas del punto 1

CAMPAÑA	FECHA DE EJECUCION	DIFERENCIA PARCIAL(m)	DIFERENCIA ACUMULADA(m)
1 (Inicial)	Enero 22	0.000	0.000
2	Febrero 02	0.000	0.000
3	Febrero 15	0.003	0.002
4	Marzo 02	0.004	0.006
5	Marzo 21	0.206	0.141
6	Abril 01	0.001	0.142
7	Abril 15	0.651	0.384
8	Abril 25	0.208	0.610
9	Mayo 09	0.037	0.642
10	Mayo 23	0.004	0.639
11	Junio 06	0.361	1.074
12	Junio 20	0.182	1.284
13	Julio 05	0.197	1.521

Cuadro 3. Desplazamiento por campañas del punto 11

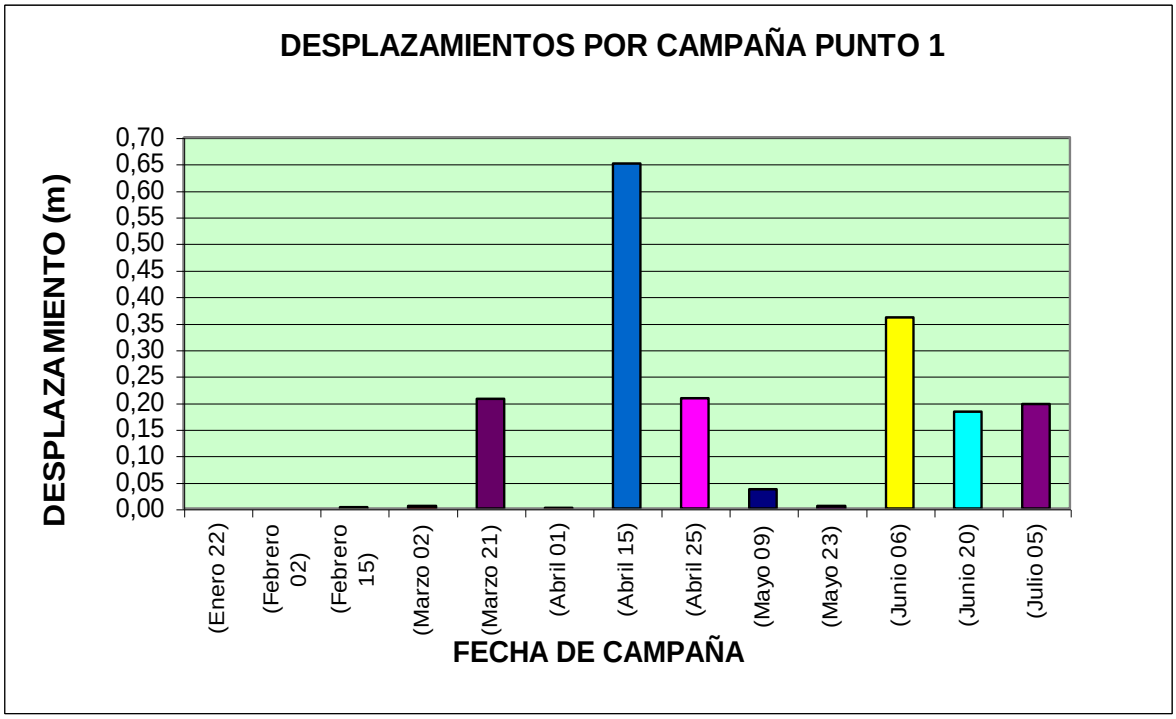
CAMPAÑA	FECHA DE EJECUCION	DIFERENCIA PARCIAL(m)	DIFERENCIA ACUMULADA(m)
1 (Inicial)	Enero 22	0.000	0.000
2	Febrero 02	0.000	0.000
3	Febrero 15	0.001	0.001
4	Marzo 02	0.140	0.106
5	Marzo 21	0.044	0.138
6	Abril 01	0.000	0.138
7	Abril 15	0.478	0.433
8	Abril 25	0.317	0.688
9	Mayo 09	0.088	0.776
10	Mayo 23	0.006	0.781
11	Junio 06	0.560	1.235
12	Junio 20	0.281	1.465
13	Julio 0.5	0.298	1.714

Cuadro 4. Desplazamiento por campañas del punto 41

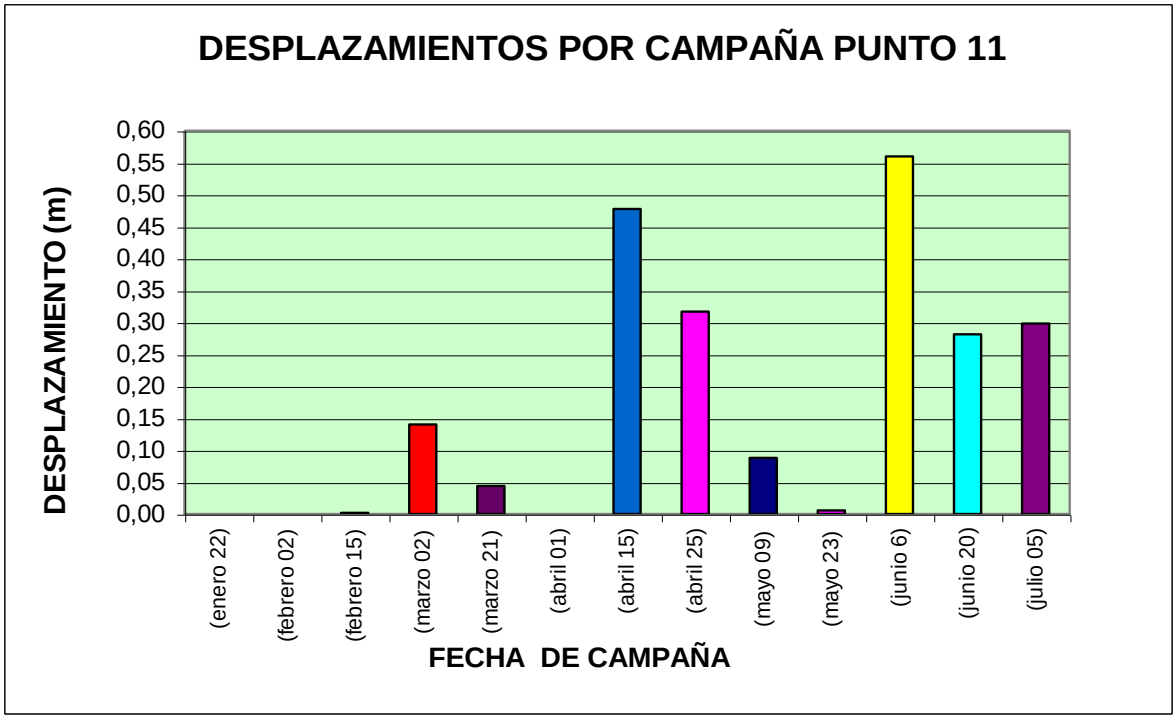
CAMPAÑA	FECHA DE EJECUCION	DIFERENCIA PARCIAL(m)	DIFERENCIA ACUMULADA(m)
1 (Inicial)	Enero 22	0.000	0.000
2	Febrero 02	0.000	0.000
3	Febrero 15	0.001	0.001
4	Marzo 02	0.140	0.106
5	Marzo 21	0.044	0.138
6	Abril 01	0.000	0.138
7	Abril 15	0.478	0.433
8	Abril 25	0.317	0.688
9	Mayo 09	0.088	0.776
10	Mayo 23	0.006	0.781
11	Junio 06	0.560	1.235
12	Junio 20	0.281	1.465
13	Julio 0.5	0.298	1.714

En las gráficas siguientes se muestran los valores correspondientes a diferencial parcial de los cuadros anteriores.

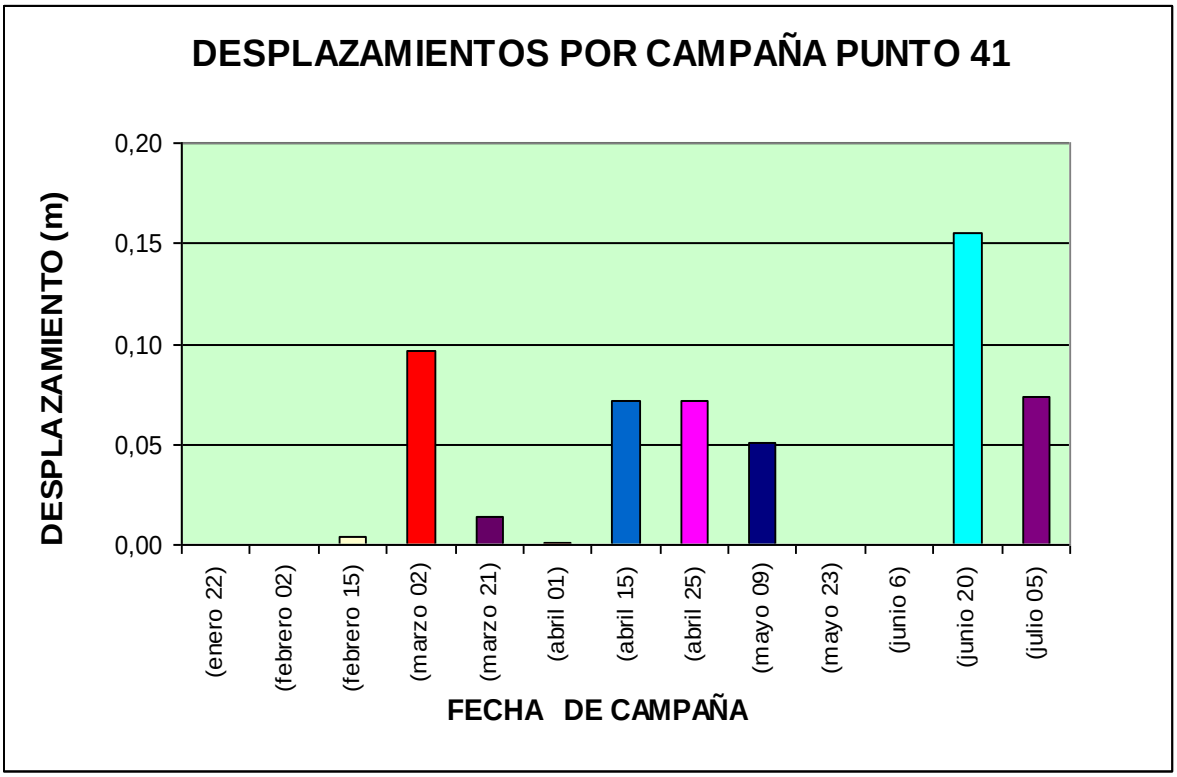
Gráfica 1. Desplazamientos parciales del punto 1



Gráfica 2. Desplazamientos parciales del punto 11



Gráfica 3. Desplazamientos parciales del punto 41



Con base en la información que suministran las gráficas se concluye:

En los primeros 45 días de monitoreo no se registraron movimientos considerables en la zona, a comienzos del mes de marzo se presentó el primer movimiento brusco del terreno, en el mes de abril estos movimientos se aceleraron alcanzando valores hasta de 65 cm en 15 días.
En las últimas tres campañas ejecutadas, el deslizamiento se ha mantenido activo con valores significativos.

CONTROL DE LADERA

El control topográfico de los diferentes mojones, GPS, y puntos de perforación realizado durante el tiempo de ejecución del proyecto arrojó los siguientes resultados:

De 21 mojones construidos en el área de monitoreo, 5 de ellos fueron localizados en la parte baja de la ladera que esta siendo afectada por el deslizamiento. Los mojones M–2 y M–5 fueron destruidos por el mismo movimiento que actualmente se presenta.

Los mojones M-1, M-3 y M-18 registraron los máximos valores de desplazamiento alcanzando cifras acumuladas hasta de 189 cm como es el caso del mojón 1. En las tres últimas campañas estos puntos se desplazaron considerablemente con respecto a lecturas anteriores.

La zona donde más se presenta movimiento en la actualidad pertenece a los sitios donde están ubicados los puntos de referencia del piezómetro 1 e Inclinómetro 1. Esta zona se ha desplazado hasta 2.35 metros y las cotas han descendido 1 m aproximadamente.

En el sitio donde esta ubicado en punto de referencia denominado M PICO D-10 se notó un desplazamiento de 58 cm en dirección a la Quebrada Los Rosales y tiende a aumentar rápidamente por la evidencia de grietas de tracción que se observan en superficie.

Con los valores de desplazamiento obtenidos durante el monitoreo se pudo establecer tres zonas claramente definidas, La primera comprende el barrio de San Antonio del Mirador limita por el Norte con la quebrada Los Rosales, por el Sur y Este con la quebrada La Carbonera y por el Oeste con la vía que divide al barrio Santa Helena del Barrio San Antonio. Una segunda zona que se ha denominado zona de transición, cubre todo el barrio de Santa Helena y parte inferior del barrio Santa Viviana. Dentro de esta zona están ubicados 3 inclinómetros, 4 piezómetros y una gran cantidad de puntos materializados para el control topográfico. La tercera zona que se definió comprende el barrio de Santo Domingo y Santa Viviana, esta zona se caracteriza por ser la mas densamente poblada, con mayores pendientes y con desplazamientos más bajos. Sin embargo, se nota que en algunos puntos las cifras de desplazamiento alcanzan valores hasta de 10 cm como es el caso del mojón 10 y el punto 33.

El factor detonante que están produciendo los desplazamientos son las aguas domésticas. Actualmente no existen redes de alcantarillado adecuadas para canalizar las aguas negras y el agua potable es conducida por mangueras en mal estado, donde se producen fugas considerables. Todas estas aguas son conducidas al escarpe principal del deslizamiento acelerando el movimiento.

A continuación se presentan los cuadros y gráficas de magnitudes de desplazamiento por campaña para dos puntos de control de ladera, se eligió el Mojón 8 ubicado en la escuela del barrio Santa Helena y el mojón 10 localizado en la parte alta del barrio Santo Domingo.

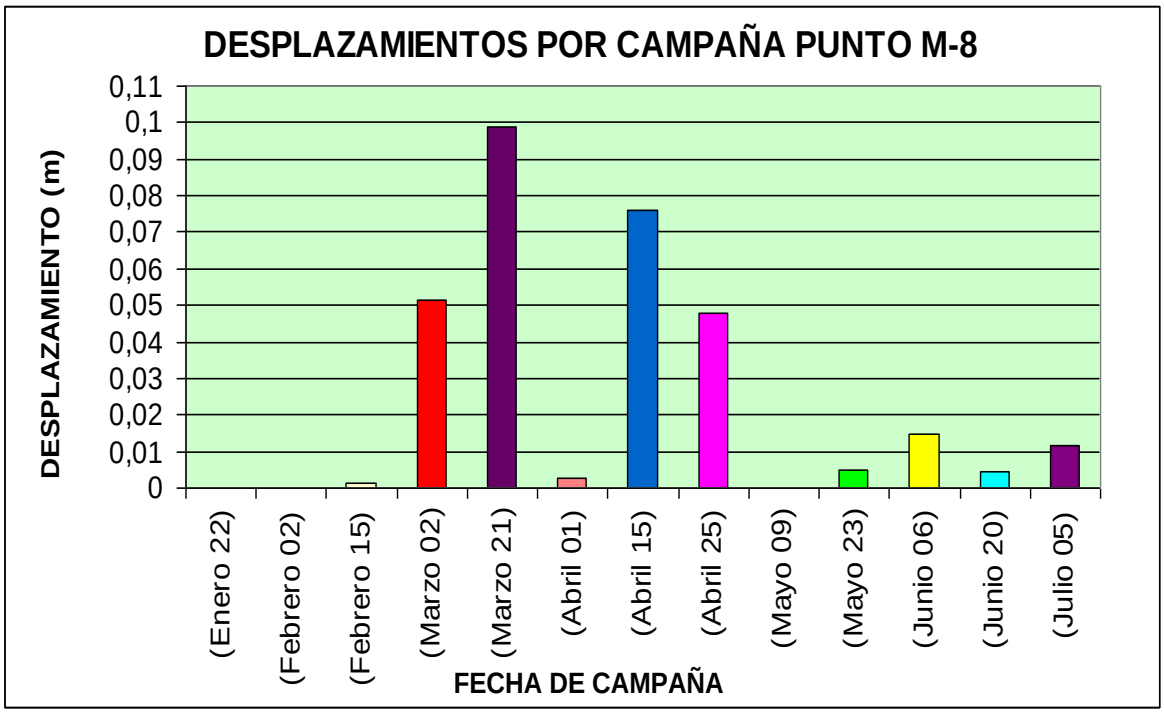
Cuadro 5. Desplazamiento por campañas del punto M-8

CAMPAÑA	FECHA DE EJECUCION	DIFERENCIA PARCIAL(m)	DIFERENCIA ACUMULADA(m)
1 (Inicial)	Enero 22	0.000	0.000
2	Febrero 02	0.000	0.000
3	Febrero 15	0.001	0.001
4	Marzo 02	0.051	0.050
5	Marzo 21	0.099	0.053
6	Abril 01	0.003	0.051
7	Abril 15	0.076	0.028
8	Abril 25	0.048	0.072
9	Mayo 09	0.000	0.072
10	Mayo 23	0.005	0.076
11	Junio 06	0.015	0.063
12	Junio 20	0.004	0.062
13	Julio 0.5	0.012	0.059

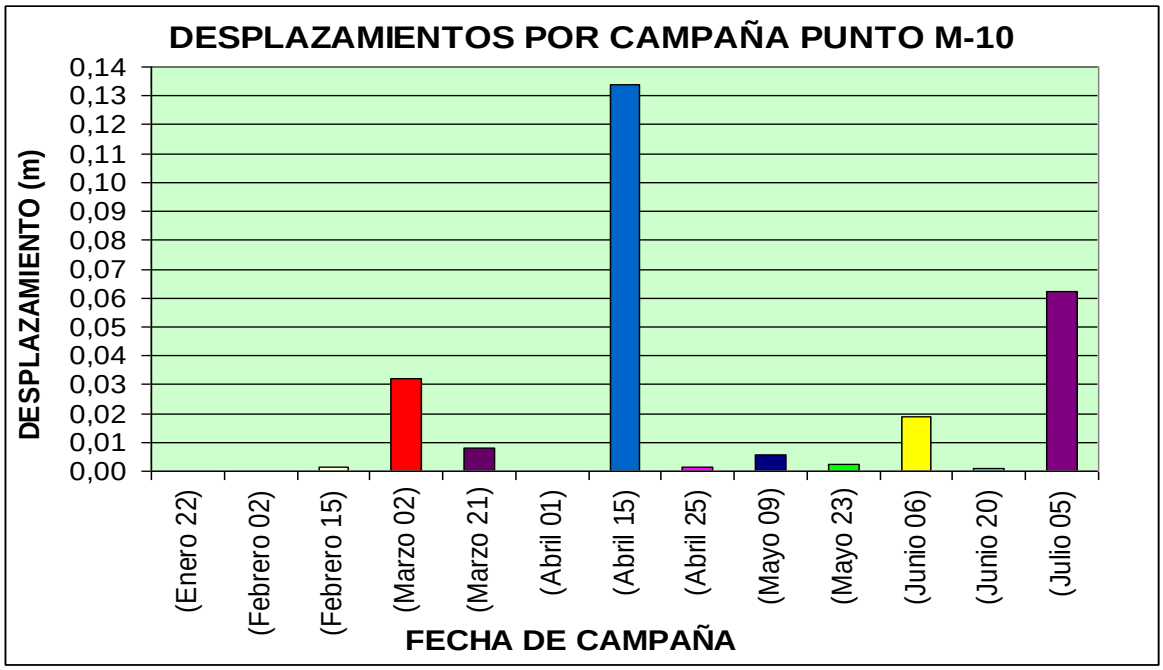
Cuadro 6. Desplazamiento por campañas del punto M-10

CAMPAÑA	FECHA DE EJECUCION	DIFERENCIA PARCIAL(m)	DIFERENCIA ACUMULADA(m)
1 (Inicial)	Enero 22	0.000	0.000
2	Febrero 02	0.000	0.000
3	Febrero 15	0.001	0.001
4	Marzo 02	0.032	0.032
5	Marzo 21	0.008	0.024
6	Abril 01	0.000	0.024
7	Abril 15	0.134	0.154
8	Abril 25	0.001	0.152
9	Mayo 09	0.006	0.148
10	Mayo 23	0.002	0.146
11	Junio 06	0.019	0.152
12	Junio 20	0.001	0.153
13	Julio 0.5	0.062	0.107

Gráfica 4. Desplazamientos parciales del punto M-8



Gráfica 5. Desplazamientos parciales del punto M-10



Con base en la información que suministran las gráficas se concluye:

El mojón localizado en la escuela no presentó movimiento durante las tres primeras campañas de control topográfico, en el mes de marzo tubo un desplazamiento de 10 cm con dirección Nor – Este y se estabilizó durante la primera mitad del mes de abril, al finalizar abril este punto reportó un desplazamiento de 5 cm. En los meses de mayo – julio se mantuvo estable, lo que significa que el movimiento en esta zona es muy lento. Sin embargo, se debe tener en cuenta que este punto esta ubicado en la zona de transición y cerca al escarpe principal del deslizamiento y por desconfinamiento del terreno pueden acelerarse los movimientos.

En cuanto al punto M-10 este no reportó movimientos significativos durante los primeros tres meses después de haberse iniciado el monitoreo, durante los primeros quince días del mes de abril el mojón presento un desplazamiento de 13 cm. El movimiento disminuyó notablemente en las siguientes 5 campañas. Durante la campaña realizada el 05 julio el mojón se desplazó 6 cm acumulando al final 10.7 cm en sentido Nor – Este. Este punto probablemente se encuentra localizado sobre un relleno antrópico.

CONTROL MEDIANTE PIEZOMETROS E INCLINOMETROS

Para el presente estudio se realizaron 25 campañas de control mediante inclinómetros y piezómetros. Estas lecturas se distribuyeron semanalmente obteniéndose información de las deformaciones sufridas por la tubería instalada para inclinómetros y ademas se observó la variación del nivel de agua en la zona. En el cuadro 6 se indican las fechas de ejecución de las campañas.

INCLINOMETROS

La información actualizada que contiene los formatos I – 2, I – 3 corresponde a las lecturas tomadas durante el mes de julio y agosto del monitoreo de instrumentación la cual arrojó la los siguientes resultados:

Inclinómetro No 1

El inclinómetro No 1 se instaló en la parte media del barrio San Antonio (ver plano anexo), este instrumento fue destruido por el movimiento a una profundidad de 7 m y solo se pudo medir deformaciones hasta la campaña No 7. Mediante control topográfico se determinó la magnitud de desplazamiento en este punto, siendo de 166 cm en el sentido horizontal y 91 cm en sentido vertical. Junto con el punto donde se ubica el piezómetro No 1 estos son los sitios donde se registran los mayores desplazamientos.

Inclinómetro No 2

Las lecturas de deformación para este inclinómetro se realizaron a una profundidad de 7.5 m hasta el monitoreo No 18 ejecutado el 20 de junio, a partir de esta fecha la tubería presentó una obstrucción a cuatro metros de profundidad, sin embargo a la tubería se le introdujo una varilla con el fin de comprobar si esta se encontraba taponada con algún objeto extraño; finalmente se pudo tomar lecturas hasta una profundidad de 5.5 m únicamente, a partir de esta se comparó hasta la lectura final.

Inclinómetro No 3

La última lectura registró una deformación de 0.23 mm en la dirección del movimiento presentándose en la superficie del terreno. La deformación máxima acumulada resulta también en la superficie con una magnitud de 8.77 mm y ortogonalmente al movimiento del terreno es de 3.6 mm también en superficie.

Inclinómetro No 4

En el formato I – 4 se muestran los valores de las deformaciones de las últimas 6 campañas de instrumentación para el inclinómetro 4. La profundidad total de este instrumento es de 10.5 m, La línea mas gruesa en la gráfica representa la posición inicial de tubería. La deformación máxima se presenta en la superficie del terreno con un valor de 3.75 mm, este valor es el acumulado de las 6 lecturas que se tomaron en el mes de junio y comienzos de julio.

Mediante control topográfico solo fue posible tomar los datos iniciales de coordenadas y cota para ubicarlo en el plano anexo.

El siguiente cuadro contiene las fechas de ejecución de las campañas de monitoreo de instrumentación mediante inclinómetros y piezómetros programadas.

Cuadro 6 fechas de ejecución de campañas de instrumentación

NONITOREO Y SEGUIMIENTO DEL DESLIZAMIENTO EN LA CUENCA DE LA QUEBRADA LA CARBONERA	
FECHAS DE EJECUCION CAMPAÑAS DE INSTRUMENTACION	
CAMPAÑA	FECHA DE EJECUCION
(inicial)	Febrero 12 del 2000
2	Febrero 19 del 2000
3	Febrero 26 del 2000
4	Marzo 4 del 2000
5	Marzo 11 del 2000
6	Marzo 18 del 2000
7	Marzo 25 del 2000
8	Abril 04 del 2000
9	Abril 08 del 2000
10	Abril 25 del 2000
11	Abril 29 del 2000
12	Mayo 06 del 2000
13	Mayo 13 del 2000
14	Mayo 20 del 2000
15	Mayo 27 del 2000
16	Junio 3 del 2000
17	Junio 10 del 2000
18	Junio 17 del 2000
19	Junio 24 del 2000
20	Julio 01 del 2000
21	Julio 05 del 2000
22	Julio 15 del 2000
23	Julio 22 del 2000
24	Agosto 01 del 2000
25	Agosto 08 del 2000

PIEZÓMETROS

Durante el tiempo que se llevó a cabo el monitoreo, el nivel freático no presentó mayores fluctuaciones, este se mantuvo mas o menos constante en la mayoría de los piezómetros instalados.

Piezómetro No 1

A partir de la octava campaña se suspendió la toma de lecturas del nivel piezométrico debido a las obstrucciones que se presentaban. En la actualidad este piezómetro no funciona ya que fue destruido por el fenómeno de remoción que se presenta en este lugar.

Piezómetro No 2

Este piezómetro no reportó la existencia de agua subterránea durante el período de ejecución del proyecto a pesar de que fue ubicado en un sitio donde permanece un flujo constante de aguas domésticas.

Piezómetro No 3

El nivel freático observado en este piezómetro se estabilizó en el mes de julio, la profundidad de la tabla de agua se mantuvo entre 5.74 y 5.73 m. La profundidad máxima que se ha observado en este piezómetro se registró en la última semana del mes de abril siendo de 5.83 m.

Piezómetro No 4

Este piezómetro se instaló a una profundidad de 8.50 m La profundidad del nivel freático ha venido aumentando en las últimas lecturas. El aumento se debe probablemente a acumulación de aguas en ese sitio. La profundidad del nivel freático final observado fue de 5.56 m el cual aumentó en 2.64 m en un mes.

Piezómetro No 5

La profundidad de este piezómetro llega hasta los 7.30 m La lectura inicial se efectuó el 5 de Julio y se registró a una profundidad de 2.00 y se mantuvo constante hasta finales del mismo mes, en la última lectura realizada el nivel freático se registró a 1.83 m disminuyendo 7 cm con respecto a la lectura inicial.

CONTROL ESTRUCTURAL

El control de agrietamiento se ejecutaron conjuntamente con las lecturas de piezómetros e inclinómetros. La relación de fechas de programación y ejecución de esta actividad se presenta en el cuadro 7.

Cuadro 7. Fechas de ejecución control de agrietamiento

NONITOREO Y SEGUIMIENTO DEL DESLIZAMIENTO EN LA CUENCA DE LA QUEBRADA LA CARBONERA	
FECHAS DE EJECUCION DE CAMPAÑAS EN AGRIETAMIENTOS	
CAMPAÑA	FECHA DE EJCUCION
1	Febrero 12 del 2000
2	Marzo 03 del 2000
3	Marzo 17 del 2000
4	Marzo 31 del 2000
5	Abril 14 del 2000
6	Abril 28 del 2000
7	Mayo 12 del 2000
8	Mayo 26 del 2000
9	Junio 12 del 2000
10	Junio 23 del 2000
11	Julio 07 del 2000
12	Julio 21 del 2000
13	Agosto 13 del 2000

Transcurridas 13 campañas de control sobre el agrietamiento de las viviendas seleccionadas se puede observar que las diez primeras casas no han reportado movimiento alguno; estas viviendas se encuentran localizadas en la parte alta de la zona de estudio específicamente en los barrios de Santa Viviana y Santo Domingo.

Como consecuencia del movimiento que se está presentando en el barrio de Santa Helena y San Antonio un gran porcentaje de las viviendas construidas en estos barrios están siendo afectadas seriamente en sus estructuras notándose grietas en las paredes y abombamiento de las columnas en muchas de las casas.

Las viviendas que se seleccionaron para llevar a cabo el control estructural y que están ubicadas en el barrio San Antonio fueron prácticamente destruidas por el deslizamiento. Dichas viviendas están numeradas en el formato CE del 11 al 15.

ANALISIS DEL TRABAJO REALIZADO

Después de ocho meses de trabajo, en el que se instalaron una serie de instrumentos y se realizó un monitoreo periódico, surge la necesidad de hacer un balance sobre los aspectos técnicos que comprendieron el trabajo y los resultados obtenidos.

1. Evaluación sobre los sistemas utilizados

Para la ejecución del monitoreo fue necesario instalar los siguientes elementos, los cuales sirvieron para conocer diferentes aspectos sobre los movimientos ocurridos en el barrio San Antonio.

A. Mojones de control

En el área se instalaron 35 puntos distribuidos en toda el área, con concentración de elementos en aquellos sitios considerados como de mayor riesgo en los estudios realizados por IGL. En este grupo se incluyeron las bocas de los inclinómetros y piezómetros, lo mismo que cinco puntos topográficos instalados con anterioridad en el barrio para trabajos de estudio precedentes.

Del total de puntos, durante el desarrollo del monitoreo fueron destruidos 8, por razones diversas, ajenas a la voluntad de quienes llevaban adelante los controles.

Sobre cada uno de los puntos vigentes se tomaban cada dos semanas datos de coordenadas y cotas, las primeras con estación geográfica y las segundas con nivel de precisión. La base estaba constituida por tres puntos localizados por fuera del área, amarrados a placas del IGAC y chequeados en el transcurso del monitoreo.

Después de cada lectura, se tomaba esa información y se comparaba con los datos iniciales, estableciéndose una diferencia, la cual se consideraba como magnitud de los desplazamientos ocurridos.

B. Puntos de control topográfico en viviendas

Se establecieron mediante la instalación de una puntilla de acero en estructuras de las viviendas (placas, muros, vigas). El total de puntos instalados fue de 59 y durante el desarrollo del monitoreo se destruyeron 6 por diferentes causas.

Todos estos puntos se monitoreaban en la misma forma como se hizo con los mojones de control, con las mismas frecuencias y procedimientos.

El monitoreo topográfico realizado en mojones y puntos de control resultó ser muy fructífero debido a que la información obtenida correspondió a diversos puntos distribuidos en todo el terreno, con lo que se pudo zonificar el área desde el punto de vista de magnitud de desplazamientos horizontales.

El control de coordenadas fue el mas útil para evaluar desplazamientos, en tanto que el control de cotas no tubo tanta utilidad y la mayoría de los datos solo sirvieron para engrosar los informes. El control de cotas se empleó para evaluar los levantamientos en la pata del deslizamiento, hacia la confluencia de las quebradas Carbonera y Rosales. Ese control de cotas también hubiera podido realizarse mediante las cotas calculadas con la estación geográfica. En lo que tiene que ver con el cálculo de coordenadas, es necesario decir que estas no son tan exactas a pesar de utilizar un equipo topográfico moderno, pues se notó que el error rondaba alrededor de los 5 cm en cada punto. Es evidente que en la introducción del error entran muchos factores que no dependen del aparato, principalmente aquellos que tienen relación con la concentración del topógrafo y personal auxiliar, condiciones climáticas (lluvia, exceso de sol, frío, aire), estados anímicos, aspectos de seguridad etc.

En conclusión, el monitoreo topográfico puede hacerse con equipos menos sofisticados, tomando también el dato de cotas. La verdad es que no vale la pena realizar monitoreo con nivel de precisión, cuando perfectamente, asentamientos de decenas de centímetros pueden ser captados con un distanciómetro normal.

De acuerdo con la experiencia obtenida, desplazamientos horizontales de casi dos metros y verticales de cerca de un metro han sido manejables, además de que dichos desplazamientos, antes de ser captados con los aparatos se han manifestado en agrietamientos de las viviendas.

Así que cuando se trata de hacer monitoreo para zonificar áreas y evaluar magnitudes de desplazamiento en esa clase de movimientos, no parece razonable llegar al detalle del milímetro, pues con aproximaciones de centímetros se obtienen resultados similares.

C. Agrietamientos de viviendas.

Este monitoreo consistió en identificar en las casas estructuras agrietadas (placas, muros, vigas) y localizar puntos a cada lado de la grieta, haciéndole lecturas de separación cada 15 días. Así se localizaron 15 grietas, en la que se instalaron tres pares de puntos en cada grieta y se les hizo el correspondiente control.

Si se tiene en cuenta que en áreas construidas, cualquier desplazamiento horizontal o vertical del terreno se manifiesta indudablemente con agrietamientos de las estructuras, esta clase de monitoreo tiene enormes ventajas.

Si en el monitoreo topográfico es necesario esperar a que se sucedan cifras superiores a 5 cm para pensar que existe desplazamiento, en el monitoreo de grietas, los desplazamientos se captan al milímetro. La desventaja de este sistema radica en que es posible que la casa se esté desplazando completa con el terreno y aunque las grietas se agranden, esta magnitud no puede tomarse como cifra de desplazamiento del terreno.

Sin embargo, este tipo de monitoreo tiene mas ventajas que desventajas, además de que su costo de ejecución es bajo, razón por la cual, es recomendable que se implemente en cualquier zona de movimientos del terreno, como primera opción de control.

D. Inclinómetros

En el área se instalaron 4 inclinómetros, de los cuales uno se rompió por efecto de los movimientos ocurridos otro no se alcanzó a romper pero tiene fallas, pues la sonda no se puede bajar hasta el fondo de la perforación, no se sabe si por doblamiento del tubo, avería en los canales o ingreso de tierra.

Para el control de movimientos en masa el inclinómetro tiene como función principal captar las superficies de desplazamiento. Adicionalmente, se puede determinar con el inclinómetro la magnitud de los desplazamientos que ocurran en ese sitio, relacionadas con el fondo del mismo, el cual se supone está en sitio firme.

En la cuenca de la quebrada La Carbonera los inclinómetros han cumplido su función pero con algunas dificultades, pues las lecturas realizadas no han captado claramente las superficies de falla, muy probablemente porque los movimientos parecen ser súbitos en un momento dado. Además, el hecho de que por alguna razón la sonda no pase en un sitio no siempre se debe al doblamiento del tubo sino puede ser causado por obstrucción del mismo o daños de las canales.

En cuanto a magnitud de los movimientos, el inclinómetro da resultados muy buenos pero para el caso, estas magnitudes no tienen mucha importancia por ser muy puntuales y de tipo milimétrico, razón por la cual, su utilidad es reducida, pues en el caso que nos ocupa tienen mas significado los movimientos zonales y en magnitudes que superan varios centímetros.

D. Piezómetros

En el área se instalaron 5 piezómetros, de los cuales uno se destruyó por los movimientos ocurridos. De los piezómetros vigentes solo uno muestra variaciones de nivel de agua, mientras los otros no muestran variaciones desde el momento de su instalación.

Este es un buen sistema de control, pero pierde efectividad si no se comparan los resultados con los volúmenes de lluvia ocurridos en el lugar. En el caso de La Carbonera los piezómetros se han medido semanalmente pero los datos solo han servido para ingresarlos a los informes sin análisis, pues no hay elementos para realizarlos.

2. INFORMACION OBTENIDA

Como resultado de los trabajos realizados, en cada uno de los sistemas implementados se obtuvieron los resultados indicados en los cuadros con las anotaciones siguientes:

A. Control topográfico

Los resultados de este sistema indican que no toda el área está afectada por los movimientos, encontrándose que en el curso de los seis meses monitoreados existen algunos puntos que han sufrido movimientos hasta de 2 metros y mas, mientras otros no registran desplazamiento.

En general 27 puntos permanecieron sin desplazamiento mientras 21 puntos registran desplazamientos de mas de un metro y los demás puntos con movimientos menores de 1 metro.

En cuanto a cotas, se observa que la gran mayoría de los puntos registran asentamiento, mientras 4 puntos de la pata, en proximidades de la confluencia de las quebradas Carbonera y Rosales registran levantamientos, situación que indica una componente rotacional del movimiento, no se sabe si por naturaleza del desplazamiento o por acumulación de material en la pata contra algún obstáculo rocoso.

B. Inclinómetros

El inclinómetro No 1, instalado el 12 de febrero del presente solo operó hasta el 25 de marzo cuando se dobló y no permitió mas su lectura debido a los desplazamientos del terreno. De acuerdo con la avería, se encontró que la superficie de falla se ubica a 7 metros de profundidad. Sin embargo, debido a que la última lectura dió cifras negativas respecto a la penúltima, queda la sospecha de que haya superficies de falla más profundas, incluso por debajo del fondo del inclinómetro, el cual estaba a 14 m. Si esa falla se da, es por el contacto de estratos de roca, pues el inclinómetro estaba anclado en roca en la parte inferior.

El inclinómetro No 2 tuvo problemas a 4 m de profundidad pero no ha sido claro el motivo. La sonda solo llega hasta 5.5 m con dificultad, cuando la profundidad es de 7.5 m. Las lecturas tomadas antes de los problemas no evidencian doblamientos en ningún punto en particular, aunque sí se nota un desplazamiento en la boca en el sentido de la pendiente del terreno. Hay duda sobre probables fallas del terreno a 4 m, donde se encuentra el contacto entre material coluvial y roca, pero esa falla no se hace tan evidente, pues el monitoreo topográfico no registra movimientos grandes.

En la penúltima lectura topográfica se registran 8 cm y en la última 3 cm de desplazamiento total, entendiéndose que por las aproximaciones del sistema los desplazamientos de superficie pueden estar alrededor de 5 cm. Esta cifra se confirma con los resultados de la última campaña realizada en todo el inclinómetro, la cual indicaba el desplazamiento de 5.3 cm en la boca respecto al fondo del tubo.

El inclinómetro No 3 no registra movimientos de importancia, aunque no se puede negar un movimiento de la boca en el sentido de la pendiente con valor de 0.9 cm (diferencia entre campañas No 1 y 25).

C. Piezómetros

Las lecturas tomadas en los piezómetros denotan que los niveles de agua subterránea no varían con la lluvia, y mas bien parecen estar marcados por los flujos de agua subterránea generados por las aguas domésticas. No se descarta que el agua infiltrada de lluvia actúe en corto tiempo y no se alcance a detectar en los piezómetros.

Solo el piezómetro No 4 registra descensos del nivel de agua constantes, sin poderse analizar la razón, pues no se tienen registros de lluvia para ver si depende de esa circunstancia.

D. Abertura de grietas

Las lecturas de abertura de grietas muestran claramente que hay 7 casas de las 15 instrumentadas que no presentan progreso. Estas casas se localizan en la parte alta de la ladera

Las casas de la parte baja muestran progresos significativos de las grietas, llegando incluso a destruirse el elemento monitoreado. Esto sucedió con 5 viviendas.

3. ZONIFICACION DEL AREA

Teniendo en consideración los resultados obtenidos en los diferentes sistemas de monitoreo, el área puede zonificarse dependiendo de la magnitud de los desplazamientos y manifestaciones visibles de los agrietamientos.

a. Zona inferior

Claramente delimitada por el escarpe visible que se conformó hacia la parte central del terreno, el cual se extiende desde la quebrada La Carbonera hasta la quebrada Los Rosales. Todo ese terreno inferior tiene desplazamientos en el sentido de la pendiente del terreno. Hacia la parte baja y lateral el límite está definido por las quebradas mencionadas, las cuales se unen en el extremo mas bajo del área. Aquí se ubican los barrios Mirador, San Antonio y parte baja de Santa helena. La velocidad de desplazamiento de los puntos controlados topográficamente es de 42 a 13 cm/mes con un valor medio de 30 cm/mes. Allí hay puntos que se han desplazado horizontalmente hasta 2.35 m en los 5.6 meses que duraron los monitoreos. En promedio los desplazamientos horizontales son del orden de 1.70 m en el tiempo que duró el monitoreo.

En cuanto a asentamientos estos se encuentran en el rango de 45 cm a 1.00 m con un promedio de 66 cm. De acuerdo con esto, el ángulo medio del plano de deslizamiento es de 21 grados de inclinación.

Referente a la posición de la superficie de falla es muy poco lo que se sabe y solo se puede afirmar que esta se encuentra en el inclinómetro No 1 a 7 m de profundidad, con sospecha de que sea más profunda, abarcando algunos estratos de roca. Es

probable que si la superficie de falla es por planos de estratificación este sea escalonado, pues no se puede explicar de otra manera el deslizamiento de estratos de roca hacia la parte superior de la zona inestable.

En lo que tiene que ver con agua subterránea, la información también es muy puntual, referida al piezómetro No 1, el cual hasta su destrucción no reportó modificaciones de nivel, estando esta a 7.88 m de profundidad.

En esta zona el movimiento se manifiesta con agrietamientos del terreno y las viviendas hasta límites de destrucción.

b. Zona superior

Comprende toda la zona ubicada por encima del escarpe mencionado anteriormente, donde no se aprecian evidencias de movimiento general. Hay algunos puntos de control topográfico que presentan desplazamiento pero esto ocurre probablemente en zonas de relleno, las cuales parece ocupan antiguos cauces y caños. Por estos terrenos pueden ocurrir desestabilizaciones debido al desconfinamiento en la parte inferior del escarpe.

El área comprende los barrios Santa Viviana, Santo Domingo y parte superior de Santa Helena.

Dadas las características, se puede se puede decir que esta zona es estable a excepción de los sitios de relleno que es necesario identificar geológicamente y monitorear para observar su comportamiento.

4. ASPECTOS RELACIONADOS CON SISTEMA DE ALARMA

Si se tiene en cuenta el poco tiempo en que se ha desarrollado el monitoreo y la falta de otro parámetro importante como la lluvia, todavía no se dispone de información suficiente para conocer el comportamiento del terreno y los posibles límites de peligrosidad de los desplazamientos.

Además el modelo de deslizamiento no se encuentra establecido, a excepción de algunas hipótesis no comprobadas. Tampoco se conoce el grado de influencia del agua subterránea, pues no se captaron variaciones en los piezómetros, mientras las velocidades de desplazamiento sí variaron.

Lo único que se conoce es que con velocidad de 30 cm/mes el desplazamiento no reviste peligrosidad por movimientos de masa súbitos que puedan causar una catástrofe, pues a esa velocidad se está desplazando la masa hasta ahora sin que haya ocurrido deslizamiento súbito.

Es posible que con velocidades mayores el terreno pueda comportarse igual y se pueda manejar la situación, pero eso no tiene comprobación.

Así que para establecer una clasificación de desplazamiento (alto, medio y bajo) no es posible en el campo científico – técnico, con la información obtenida en el monitoreo. Sin embargo, es posible exponer algunas ideas que puedan conducir a tomar acciones y a pronosticar un posible colapso.

En primer término es necesario continuar con el monitoreo topográfico, graficando tiempo – desplazamiento – lluvia de puntos típicos del área. Se sabe que los mayores peligros están cuando las lluvias sean más intensas, pues parte de esa agua se filtra en el suelo y contribuye a aumentar presión de poros. En las épocas de lluvia es necesario intensificar el monitoreo topográfico y elaborar las gráficas observando las posibles aceleraciones que pueden suceder.

De acuerdo con la teoría de fluencia, toda aceleración conduce a un colapso, razón por la cual es posible establecer alarma cuando las curvas desplazamiento – tiempo tienen aceleración. Alarmas físicas en el terreno no es posible establecer por la ausencia de información que represente los diferentes niveles de peligro.

5. ACCIONES FUTURAS

Dado el poco conocimiento que se tiene todavía del terreno es necesario emprender acciones que conduzcan a comprender mejor la situación Es necesario realizar exploración del terreno para evaluar posición y forma de la superficie de falla. Para ello es conveniente emplear métodos geofísicos, los cuales a menor costo, mas rápido y con mayor cubrimiento pueden identificar contactos entre materiales de relleno o cuaternarios y niveles de roca.

También, mediante medios geofísicos (geoeléctrica) es posible identificar niveles de agua y sitios o zonas de mayores concentraciones de flujo para conocer con mas detalle el comportamiento del principal detonante de los movimientos. Solo después de un estudio geoeléctrico es posible evaluar la influencia de las aguas subterráneas. Identificando las zonas de mayor flujo es necesario hacer monitoreo con piezómetros en esas zonas o canales subterráneos.

Solo con un conocimiento apropiado del terreno es posible diseñar medidas de mitigación apropiadas. Junto con la investigación del terreno es necesario continuar con el monitoreo topográfico, buscando un sistema que ojalá se pueda hacer en un solo día para que los resultados sean más inmediatos.

Si se tiene en cuenta que el principal detonante del movimiento es el agua subterránea, toda obra de mitigación debe enfocarse para atacar ese problema, pues es muy posible que si se logre controlar el agua subterránea, el movimiento se mitigue satisfactoriamente. El principal origen del agua subterránea son los desechos domésticos.

Las obras de movimientos de tierra no resultan apropiadas dadas las grandes masas en movimiento.

Como medida inmediata urgente se requiere la evacuación de todas las viviendas en la zona inferior, donde ocurre el deslizamiento.

En la zona superior debe controlarse con el monitoreo de agrietamiento de viviendas y control topográfico concentrado en la franja de transición ubicada en las proximidades al escarpe. Identificados los sitios de relleno, en estas áreas debe hacerse monitoreo de agrietamientos inicialmente, y luego, cuando se note progreso pasar a monitoreo topográfico.

La instrumentación con inclinómetros solo debe hacerse allí donde se requiere comprobar posición de probables superficies de falla. Para otros fines los inclinómetros no son apropiados. Debe continuarse con el monitoreo topográfico toda el área.

A continuación se presentan los formatos que contienen los resultados de las lecturas realizadas. El plano anexo contiene los vectores resultantes de la dirección y magnitud del movimiento, los perfiles muestran el avance del escarpe del deslizamiento que se está presentando en el barrio Santa Helena hasta el mes de julio de 2000

Los diferentes puntos que fueron destruidos durante el tiempo que duró el monitoreo por diversas causas se ubican en el plano anexo señalizados mediante una cruz para facilitar su identificación.