

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

**EVALUACIÓN DE PELIGRO DE REMOCIÓN EN
MASA: CASO COLONIA PIEDRA BOLA,
HERMOSILLO, SONORA**

TESIS

**Que para obtener el Grado de:
Maestro en Ciencias-Geología.**



PRESENTA:

ALBA LUCINA MARTÍNEZ HAROS

Hermosillo, Sonora, Junio del 2014

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA
División de Ciencias Exactas y Naturales
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

TEL. (662) 259 21 10
FAX 259 21 11

Hermosillo, Sonora, a 2 de Junio del 2014

Dr. Rogelio Monreal Saavedra
Coordinador de Programa
Maestría en Ciencias-Geología
Departamento de Geología

Por este conducto y de la manera más atenta, me permito someter a su consideración, para su aprobación el siguiente tema de tesis, intitulado:

"EVALUACIÓN DE PELGRO DE REMOCIÓN EN MASA: CASO COLONIA PIEDRA BOLA, HERMOSILLO, SONORA"

Esto con el fin de que el alumno: **ALBA LUCINA MARTINEZ HAROS**, pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Grado de la Maestría en Ciencias-Geología.

Sin otro en particular quedamos de Usted.

ATENTAMENTE

M.C. José Ismael Minjárez Sosa
Director de Tesis

C.c.p. Interesado
C.c.p. Archivo





"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Geología
División de Ciencias Exactas y Naturales

Hermosillo, Sonora a 02 de junio de 2014

M.C. José Ismael Minjárez Sosa
Director de Tesis

Por este conducto le comunico que ha sido aprobado el tema de tesis propuesto por Usted, intitulado:

“EVALUACIÓN DE PELIGRO DE REMOCIÓN EN MASA: CASO COLONIA PIEDRA BOLA, HERMOSILLO, SONORA”

Esto es con el fin de que la alumna: **MARTÍNEZ HAROS ALBA LUCINA** pueda presentar su examen profesional, para la obtención del título de Grado. Asimismo le comunico que han sido asignados los siguientes sinodales:

M.C. Elia María Tapia Villaseñor	Presidente
M.C. Francisco Javier Grijalva Noriega	Secretario
M.C. Grisel Alejandra Gutiérrez Anguamea	Vocal
M.C. Ismael Minjárez Sosa	Vocal

Sin otro en particular quedo de Usted

Atentamente

Dr. Rogelio Monreal Saavedra
Coordinador de Programa
Maestría en Ciencias-Geología



EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA
MAESTRIA EN CIENCIAS
GEOLOGIA
DEPTO. DE GEOLOGIA

C.c.p. Interesada
C.c.p. Archivo



UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Geología
División de Ciencias Exactas y Naturales

"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

NOMBRE DE LA TESIS:

"EVALUACIÓN DE PELIGRO DE REMOCIÓN EN MASA: CASO COLONIA PIEDRA BOLA, HERMOSILLO, SONORA"

NOMBRE DE LA SUSTENTANTE:

ALBA LUCINA MARTÍNEZ HAROS

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Grado en la Universidad de Sonora.

M.C. Elia María Tapia Villaseñor

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Grado en la Universidad de Sonora.

M.C. Francisco Javier Grijalva Noriega

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Grado en la Universidad de Sonora.

M.C. Grisel Alejandra Gutiérrez Anguamea

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Grado en la Universidad de Sonora.

M.C. Ismael Minjárez Sosa

Atentamente

Dr. Rogelio Monreal Saavedra
Coordinador de Programa
Maestría en Ciencias-Geología



E. SABER DE MIS HIJOS
PARA MI GRANDEZA
MAESTRIA EN CIENCIAS
GEOLOGIA
DEPTO. DE GEOLOGIA

*“Aquél, pues, que escucha estas palabras mías y las pone por obra,
se asemejará a un varón prudente que edificó su casa sobre la roca;
y bajó la lluvia y vinieron los ríos, y soplaron los vientos,
y se echaron sobre aquella casa, pero no se derrumbó,
porque estaba cimentada sobre la roca.*

*Pero todo aquél que escucha estas palabras mías pero no las pone por obra, Se asemejará a un
hombre necio que edificó su casa sobre la arena;
y bajó la lluvia y vinieron los ríos, y soplaron los vientos,
y se estrellaron contra aquella casa, y se derrumbó y su ruina fue grande”
(Mateo 7, 24-27)”*

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado a través de la Beca para llevar a cabo los estudios de Maestría en Ciencias Geología, con número de registro 177192 en el período de enero 2006-diciembre 2007.

Al personal del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora por el espacio y medios proporcionados para el desarrollo de este trabajo.

A Dios por brindarme la oportunidad de desarrollarme personal y profesionalmente.

A mis padres Elsa y Urbano, por su amor, paciencia, fortaleza y ejemplo que son el pilar de mi vida.

A Angelina, Patricia y Rafael, por su apoyo incondicional.

A Samuel por ser mi estímulo.

A mi director de tesis José Ismael Minjárez Sosa, por su paciencia, tiempo y atinados consejos.

A mis sinodales Francisco Javier Grijalva, Elia Tapia y Grisel Gutiérrez por su valiosa colaboración en este trabajo académico.

A Giancarlo por tomarse un tiempo y apoyarme en el desarrollo de este trabajo.

A Laura, Samantha y Vicky por apoyarme incondicionalmente y a enseñarme a trabajar en equipo.

A Gabriel, Iván, Ismael, Lourdes y Luz por su ayuda.

RESUMEN

Los procesos de remoción en masa se pueden definir como la pérdida de la capacidad del terreno natural para autosustentarse, lo que deriva en reacomodos y colapsos, como el desplazamiento de ladera abajo de un cuerpo compuesto por: roca, detritos, suelos, o materiales artificiales, limitada o no por superficies de deslizamiento. Los procesos de remoción en masa (PRM) se presentan sobre la superficie terrestre en una extensa variedad de escalas, lugares, condiciones geológicas, geomorfológicas, climáticas e inclusive sociales.

Por primera vez se presenta una microevaluación de peligro de remoción en masa en la ciudad de Hermosillo, apoyados en un estudio multidisciplinario, sin embargo, es imperativo el continuar el desarrollo de este trabajo o similares en el resto de la ciudad.

El área de estudio cuenta con un relieve irregular semi-escarpado hacia el oeste y una morfología más suave hacia el este, presenta una elevación de 85 metros sobre el terreno y se encuentra comprendida entre los 225 a 308 metros sobre el nivel del mar. Presenta un suelo de tipo litosol con una capa muy delgada menor a los 10 centímetros resultado del intemperismo de las rocas graníticas-granodioríticas presentes en el sitio. Geomorfológicamente podemos observar que el sitio se encuentra asentado en un lomerío de pendiente metaestable de granito y de un piedemonte metaestable urbanizado. El resultado del análisis del fracturamiento, nos reveló que no existe fracturamiento preferencial pero si nos determinó que la cuña generada por el fracturamiento en la mayoría de los sitios analizados es hacia la pendiente la ladera.

Dada las características del sitio, las caídas de roca en la ladera del Cerro de la Piedra Bola se han presentado con más frecuencia en la parte sur, esto tal vez sea debido a las condiciones de la pendiente de la ladera y/o por el fracturamiento en el área. Se obtuvo información de que al menos 3 casos de caída de roca se registraron en el área sin consecuencias graves y se determinó que, estos eventos se presentan con mayor frecuencia en época de lluvias.

ALMH

Índice Contenido

I. INTRODUCCIÓN	1
I.1. Presentación	1
I.2. Objetivos del Estudio	2
I.3. Método de Trabajo	2
I.4. Revisión de Conceptos	3
I.4.1. Riesgo	3
I.4.2. Procesos de Remoción en Masa	5
I.4.3. Causas Generales de los Movimientos del Terreno	10
I.4.4. Reconocimiento de proceso de remoción en masa	11
I.4.5. Velocidad de los movimientos	12
I.5. Trabajos Previos	14
II. GENERALIDADES	17
II.1. Localización	17
II.2. Geomorfología	17
II.3. Edafología	21
II.4. Relieve	21
II.5. Climatología	21
II.5.1. Temperatura	25
II.5.2. Precipitación	25
II.6. Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB)	28
III. MARCO GEOLÓGICO	29
III.1. Geología Regional	29
III.2. Geología Local	30
III.3. Geología Estructural y Tectónica	40
IV. PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA: CASO COLONIA PIEDRA BOLA	42
IV.1. Modelo de Elevación	42
IV.2. Análisis de Fracturamiento Área Piedra Bola	43
IV.3. Planos de Peligro de Caída de Roca	49
IV. 4. Secciones	50
V. ANALISIS DE RIESGOS	57
VI. DISCUSIÓN Y RESULTADOS	60
VII. MEDIDAS DE MITIGACIÓN O PREVENCIÓN DE CAÍDA DE ROCA	63
VII.1. Mallas de contención	63

VII.2. Modificación del talud (áreas de captación)	65
VII.3. Instalación de atraques de estabilidad	66
VIII. BIBLIOGRAFIA	68
ANEXOS	72
Anexo A.	72
Anexo B.	74
Sección 01	74
Sección 02	78
Sección 03	82
Sección 04	85
Sección 05	88
Sección 06	92
Sección 07	96
Sección 08	100
Sección 09	104
Sección 10	108
Sección 11	112
Sección 11a	112
Sección 12	120
Sección 13	124
Sección 14	132
Sección 15	136
Sección 16	140

Índice de Figuras

Figura 1. Desprendimiento o caída.....	7
Figura 2. Vuelco o desplome	7
Figura 3. Deslizamiento rotacional (Skinner & Porter, 1992).....	8
Figura 4. Flujos de detritos y de lodos (Skinner & Porter, 1992).....	9
Figura 5. Expansión lateral.....	9
Figura 6. Sección Esquemática de la Geología de Hermosillo.....	34
Figura 7. Filtro lineal Laplace aplicado a la banda 1, con los principales.....	41
Figura 8. Modelo de Elevación, la línea amarilla indica donde inicia la zona urbana.....	42
Figura 9. Modelo de Elevación viendo hacia el este	43
Figura 10. Red de Wulff con el total de fracturas en el área de estudio.....	45
Figura 11. Polos del fracturamiento con un plano de dirección promedio de NE70 con inclinación 60° NW.....	46
Figura 12. Red de Schmidt donde se presentan las concentraciones de los polos de las direcciones principales de fracturamiento en el área de estudio.....	47
Figura 13. Distribución de familias de fracturas en el área de estudio	47
Figura 14. Diseño de malla de contención	64
Figura 15. Diseño para modificación del talud de la trayectoria de la estructura de roca en función del ángulo de inclinación del talud de la trayectoria.....	65
Figura 16. Monogramas para diseñar la distancia del área de captación de caída de roca, respecto a la inclinación del talud de la trayectoria, (FHWA 1989).	66
Figura 17. Perfil de sección	74
Figura 18. Condición normal de caída libre de roca	74
Figura 19. Medida de mitigación.....	76
Figura 20. Perfil de sección	80
Figura 21. Condición normal de caída libre de roca	80
Figura 22. Perfil de sección	84
Figura 23. Condición normal de caída libre de roca	84
Figura 24. Perfil de sección	87
Figura 25. Condición normal de caída libre de roca	87
Figura 26. Perfil de sección	90
Figura 27. Condición normal de caída libre de roca	90
Figura 28. Medida de mitigación.....	91
Figura 29. Perfil de sección	94
Figura 30. Condición normal de caída libre de roca	94
Figura 31. Medida de mitigación.....	95
Figura 32. Perfil de sección	98
Figura 33. Condición normal de caída libre de roca	98
Figura 34. Medida de mitigación.....	99
Figura 35. Perfil de sección	102
Figura 36. Condición normal de caída libre de roca	102
Figura 37. Medida de mitigación.....	103
Figura 38. Perfil de sección	106
Figura 39. Condición normal de caída libre de roca	106
Figura 40. Medida de mitigación.....	107
Figura 41. Perfil de sección	110
Figura 42. Condición normal de caída libre de roca	110
Figura 43. Medida de mitigación.....	110
Figura 44. Perfil de sección	114
Figura 45. Condición normal de caída libre de roca	114

Figura 46. Medida de mitigación.....	115
Figura 47. Perfil de sección	118
Figura 48. Condición normal de caída libre de roca	118
Figura 49. Medida de mitigación.....	118
Figura 50. Perfil de sección	122
Figura 51. Condición normal de caída libre de roca	122
Figura 52. Medida de mitigación.....	123
Figura 53. Perfil de sección	126
Figura 54. Condición normal de caída libre de roca	126
Figura 55. Medida de mitigación.....	127
Figura 56. Figura Perfil de sección	130
Figura 57. Condición normal de caída libre de roca	130
Figura 58. Medida de mitigación.....	131
Figura 59. Perfil de sección	134
Figura 60. Condición normal de caída libre de roca	134
Figura 61. Medida de mitigación.....	135
Figura 62. Perfil de sección	138
Figura 63. Condición normal de caída libre de roca	138
Figura 64. Medidas de mitigación.....	139
Figura 65. Perfil de sección	142
Figura 67. Condición normal de caída libre de roca.....	142
Figura 68. Medida de mitigación.....	143

Índice de Fotos

Foto 1. Roca con PRM	2
Foto 2. Cerro de La Campana	30
Foto 3. Cerro El Apache	33
Foto 4. Cerro de La Cementera	35
Foto 5. Cerro de La Cementera	35
Foto 6. Diques de pegmatita-aplita y andesita-diorita.	35
Foto 7. “Intrusivo Bachoco”, colonia El Coloso.....	37
Foto 8. Contacto por intrusivo entre las rocas paleozoicas, “Intrusivo Bachoco” y diques.....	38
Foto 9. Cerro Las Cuevitas, rocas terciarias	38
Foto 10. Cerro Colorado, rocas terciarias.....	39
Foto 11. Sección 01.....	74
Foto 12. Sección 02.....	78
Foto 13. Sección 03.....	82
Foto 14. Sección 04.....	85
Foto 15. Sección 05.....	88
Foto 16. Sección 06.....	92
Foto 17. Sección 07.....	96
Foto 18. Sección 08.....	100
Foto 19. Sección 09.....	104
Foto 20. Sección 10.....	108
Foto 21. Sección 11a.....	112
Foto 22. Sección 11b.....	116
Foto 23. Sección 12.....	120
Foto 24. Sección 13a.....	124

Foto 25. Sección 13b.....	128
Foto 26. Sección 14.....	132
Foto 27. Sección 15.....	136
Foto 28. Sección 16.....	140

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Temperatura media mensual, estación Hermosillo Norte (26139).....	25
Gráfica 2. Precipitación media mensual, estación Hermosillo Norte (26139).....	25

Índice de Planos

Plano 1. DESLIZAMIENTOS	16
Plano 2. LOCALIZACIÓN	19
Plano 3. GEOMORFOLOGÍA	20
Plano 4. EDAFOLOGÍA	22
Plano 5. TOPOGRAFÍA	23
Plano 6. CLIMA.....	24
Plano 7. ÁREAS GEOESTADÍSTICAS BÁSICAS DE HERMOSILLO, (INEGI, 2010).....	31
Plano 8. GEOLOGÍA.....	32
Plano 9. LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO	44
Plano 10. CURVAS DE NIVEL	45
Plano 11. ESTRUCTURAS.....	48
Plano 12. CAÍDA DE ROCA A.....	53
Plano 13. CAÍDA DE ROCA B.....	54
Plano 14. SECCIONES	55
Plano 15. ÁREAS GEOESTADÍSTICAS BÁSICAS.....	56
Plano 16. POBLACIÓN AFECTADA A.....	58
Plano 17. POBLACIÓN AFECTADA B.....	59

Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación de los procesos de remoción en masa.....	6
Tabla 2. Causas de los movimientos del terreno.....	11
Tabla 3. Características empleadas en el reacomodo de los movimientos del terreno	12
Tabla 4. Escala de velocidades de los movimientos de ladera	13
Tabla 5. Zonas de riesgo por deslizamientos en Hermosillo (Peña, 2000)	15
Tabla 6. Unidades geomorfológicas	18
Tabla 7. Temperatura media mensual, estación Hermosillo Norte (26139).	26
Tabla 8. Precipitación media mensual, estación Hermosillo Norte (26139).	27
Tabla 9. Familia de fracturas del sitio	43
Tabla 10. Direcciones y echados de la familia de fracturas	47
Tabla 11. Resultados del Peligro de Procesos de Remoción en Masa en Secciones	51
Tabla 12. Coordenadas de Secciones.....	52
Tabla 13. Generales de Secciones.....	52
Tabla 14. Población Afectada en el Plano Caída de Roca A	57
Tabla 15. Población Afectada en el Plano Caída de Roca B	57



I. INTRODUCCIÓN

I.1. Presentación

La presencia de desastres originados por fenómenos naturales, por ejemplo: huracanes, sismos y procesos de remoción en masa, provoca un retraso en el desarrollo de la población y genera un gasto importante a los gobiernos. Estas condiciones se agravan por la vulnerabilidad de países o regiones con un nivel económico limitado, el cual dificulta la rápida recuperación e incluso la preparación adecuada para afrontar el desastre mismo.

Los procesos de remoción en masa (PRM) se presentan sobre la superficie terrestre en una extensa variedad de escalas, lugares, condiciones geológicas, geomorfológicas, climáticas e inclusive sociales. Una adecuada evaluación de los procesos de remoción en masa requiere de identificación y clasificación tipológica de los movimientos en su contexto espacio-tiempo, en su etapa inicial; seguido de modelos que nos puedan indicar el tipo de impacto en el sitio y de un monitoreo constante de los eventos futuros (Alcántara et. al, 2007).

Los procesos de remoción en masa se pueden definir como la pérdida de la capacidad del terreno natural para autosustentarse, lo que deriva en reacomodos y colapsos, como el desplazamiento de ladera abajo de un cuerpo compuesto por: roca, detritos, suelos, ó materiales artificiales, limitada o no por superficies de deslizamiento; esto en respuesta a un tipo de ajuste que los materiales presentes en un talud o ladera hacen en relación con su ambiente físico, en donde la fuerza de gravedad los motiva y la precipitación, sismicidad y actividades antropogénicas (excavaciones, sobrecargas y vibraciones del terreno) constituyen los factores detonantes principales.

En la ciudad de Hermosillo, los primeros asentamientos urbanos se ubicaron sobre las márgenes del Río Sonora, sobre los cuales se construyó en 1947 la presa Abelardo L. Rodríguez, ubicada en el sector este de la Ciudad. El Río Sonora cruza la Ciudad de oriente a poniente, actualmente en forma de canal revestido de concreto desde el vertedor de la presa hasta las colonias urbanas del oeste, con una longitud total de 7.6 Km.

No solo en las márgenes del Río Sonora se asentaron los pobladores, algunas de las colonias de más tradición de la Ciudad se localizan en las laderas de las elevaciones predominantes como La Matanza, San Juan (Cerro de la Campana), El Mariachi, El Coloso, El Ranchito (Cerros el Mariachi y Coloso), Villa de Seris (Cerro de la Cruz), El Jito, Tiro al Blanco, La Piedra Bola (Sierra Tecoripita), etcétera

La presente tesis es un trabajo elaborado para conocer la problemática actual de procesos de remoción en masa en la colonia Pedregal de la Villa (Piedra Bola) en la ciudad de Hermosillo, Sonora. La colonia se fincó a principios de los años 60's, al llegar la población al

sitio los fenómenos perturbadores propios de las actividades antrópicas y naturales detonaron los procesos de remoción en masa.

I.2. Objetivos del Estudio

1. Proponer una metodología para evaluar los Procesos de Remoción en Masa (PRM) en las laderas de un entorno urbano, ejemplificado en la ladera de la Sierra Tecoripita en la Colonia Piedra Bola (Pedregal de la Villa), Hermosillo, Sonora.
2. Utilizar las herramientas de sistemas de información geográfica (GIS), disponibles para elaboración de planos de peligro de procesos de remoción en masa.
3. Modelar los diferentes escenarios de riesgos derivado de los procesos de remoción en masa que puedan presentarse.



Foto 1. Roca con PRM

La roca señalada con línea roja hacia el lado izquierdo de la foto tuvo un PRM en Julio de 1987, esta se trasladó 15 m aproximadamente a una velocidad promedio de 8.8 m/s (Sección 03).

I.3. Método de Trabajo

1. Se recopilaron datos históricos donde se han presentado los PRM de información documental y se entrevistó a los habitantes de la colonia donde se han registrado dichos procesos.



2. Teniendo como base la imagen de satélite (Google Earth de 500 x 660 metros, escala 5,000) se identificaron algunas rocas con PRM.
3. A partir de dicha imagen se realizaron visitas al sitio donde se verificó cuáles eran los lugares en los que podría presentarse o ya se había presentado un PRM se levantaron 16 secciones sobre la ladera de la Sierra Tecoripita, se utilizó una versión modificada del Formato Para la Estimación del Peligro del Proceso de Remoción en Masa (Anexo A), de donde se clasifica al sitio con un factor numérico las diferentes escalas de peligros (Muy Bajo, Bajo, Mediano, Alto y Muy Alto), con los resultados obtenidos de los formatos se elaboraron dos planos de PRM.
4. En gabinete se elaboraron modelos de elevación con el programa Global Mapper V.13.0, para conocer la dirección de la pendiente; y con RocFall V.4.0 (Rocsiene) se modelaron eventos de PRM, dicho programa elabora un análisis estadístico que brindó información de velocidad de traslación, energía, altura de salto, pendiente y localización final de la roca.
5. Y como paso final se utilizó ArcMap 10 para la elaboración de los mapas y cruce de información para generar planos de Caídas de Roca y de población afectada.

I.4. Revisión de Conceptos

I.4.1. Riesgo

Cualitativamente hablando, se entiende por riesgo a la probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por personas, comunidad o sus bienes, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos perturbadores.

De manera cuantitativa se ha adoptado una definición más aceptada del riesgo, entendido como la función de tres factores (ONU):

- a) la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno dañino (peligrosidad),
- b) la vulnerabilidad de la zona, es decir: qué tan expuesta esta una zona a un desastre natural y
- c) el valor de los bienes expuestos, es decir, la exposición desde el punto de vista esperado del número de vidas perdidas, de personas heridas, daños a la propiedad e interrupción de la actividad económica debido a un fenómeno natural.

En este contexto, la definición más aceptada de *Riesgo (R)* se expresa como el producto de tres factores: Peligro (P), Vulnerabilidad (V) y el valor de los bienes expuestos (E).

$$R = P * V * E$$



A continuación se definen y explican cada una de las variables utilizadas en la ecuación anterior:

P “Peligro”

Puede definirse como la probabilidad de ocurrencia, dentro de un período específico de tiempo en un área determinada, de fenómenos naturales potencialmente peligrosos (Varnes, 1984). Éstos pueden ser sismos, movimientos masivos y repentinos de tierras, inundaciones, sequías, huracanes, etc. Todos ellos ocurren con un contraste de frecuencias e intensidades, las cuales producen diferentes niveles de impacto ambiental.

El potencial de peligro lo mediremos con una cantidad llamada *Intensidad*, para esto la caracterización de fenómeno natural solo será completa si se especifica su intensidad.

La naturaleza de los fenómenos naturales hace que, en general, sea imposible predecir de manera puntual cuando ocurrirán, por lo tanto, la mejor representación posible del peligro en un sitio determinado especifica la probabilidad del tiempo de ocurrencia y la intensidad de los eventos que afectarán este sitio en el futuro.

V “Vulnerabilidad “

La vulnerabilidad se determina como el factor interno de una comunidad expuesta (o un sistema) a una amenaza, resultado de sus condiciones intrínsecas para ser afectada: es decir, es una medida de que tan susceptible es un bien expuesto a la ocurrencia de un fenómeno perturbador.

La vulnerabilidad suele expresarse como un número entre 0 y 1; 0 para cuando no se afecta nada y 1 para la vulnerabilidad donde el bien expuesto (vidas humanas, infraestructura, etc.) tiene pérdida total.

E “Valor de los bienes expuestos”

Mide “cuánto” es susceptible de afectarse durante la ocurrencia de un fenómeno perturbador. En la mayor parte de los casos E tiene unidades monetarias, ya que normalmente así se expresa el valor de los bienes, pero hay ocasiones que no está siempre en función del dinero. Suponiendo que lo que sea susceptible de afectarse sean vidas humanas, entonces E quedaría expresada en esos términos (Ordaz, 1996).

Es importante mencionar que, si el valor de E es nulo, el riesgo también será nulo, independientemente del valor del peligro, medido con la probabilidad de que ocurra un hecho potencialmente dañino; por el contrario, si el valor de lo expuesto es muy elevado, mayor será el riesgo al cual se enfrente.

El valor de la variable E es una cantidad que se modifica de acuerdo a dos factores, el tiempo y el alertamiento.



a) El tiempo: el período de frecuencia en el cual el bien es expuesto ante un fenómeno natural.

b) El alertamiento: el conocimiento anticipado de la ocurrencia de un fenómeno natural puede hacer que se tomen medidas preventivas para resguardar de una forma más segura los bienes materiales o vidas humanas, por lo tanto el valor de E disminuirá y el riesgo también será mínimo, en la medida de que se cuente con un sistema de alerta adecuado.

A pesar de que actualmente la sociedad cuenta con recursos tecnológicos avanzados para protegerse de los fenómenos naturales, el incremento en el valor de los bienes expuestos aumenta el riesgo.

I.4.2. Procesos de Remoción en Masa

Entre los peligros naturales de tipo geológico, los procesos de remoción en masa son de los más destructivos en nuestro planeta, y son de los que más amenaza la vida y los bienes materiales de las poblaciones humanas. Aunque los procesos de remoción en masa son frecuentes en todo el mundo, la población de los países pobres es la más afectados por sus características de vulnerabilidad; es decir, esta población construye sus casas en o cerca de las laderas de los cerros, sin tomar en cuenta las condiciones de seguridad para la construcción, no conocen las características del terreno y mucho menos se elabora un trabajo de mitigación de ladera. Incluso el factor espacio también juega un papel importante, ya que la población de escasos recursos al no poder expandirse hacia las orillas de las ciudades, cualquier sitio es viable.

Estos procesos se presentan sobre la superficie terrestre en una extensa variedad de escalas, lugares, condiciones geológicas, geomorfológicas, climáticas e inclusive sociales. Es necesario establecer criterios y estandarizar los datos que surgen y se relacionan con su estudio.

Los procesos de remoción en masa también son conocidos como inestabilidad de laderas, , procesos gravitacionales, deslizamientos, derrumbes o deslaves. Los procesos de remoción en masa se pueden definir como la pérdida de la capacidad del terreno natural para autosustentarse, lo que deriva en reacomodos y colapsos; o bien como el desplazamiento ladera abajo de un cuerpo compuesto por roca, detritos, suelos, y materiales artificiales, limitados o no por superficies de deslizamiento; como en respuesta a un tipo de ajuste que estos hacen en su ambiente físico, en donde la fuerza de gravedad los motiva, y la precipitación, sismicidad y las actividades antropogénicas (excavaciones, sobrecargas y vibraciones del terreno) constituyen factores detonantes principales (Modificado de Alcántara, 2000).



La clasificación de los procesos de remoción en masa más aceptada y aplicada a nivel internacional se basa en el mecanismo del movimiento, por lo que de manera general estos movimientos se dividen en caídas o desprendimientos (*falls*), vuelcos o desplomes (*topples*), deslizamientos (*slides*), expansiones laterales (*lateral spreading*), flujos (*flows*) y movimientos complejos.

Una simple y completa clasificación que considera estos aspectos es la propuesta por el programa EPOCH (1993), el cual a partir de la clasificación de Varnes (1978) y Hutchinson (1988), establece una diferencia entre el tipo de movimiento y de los materiales involucrados (Tabla 1). De acuerdo con esta clasificación, los diferentes movimientos se subdividen de acuerdo con los materiales formadores, los cuales pueden ser rocas, detritos o derrubios y suelos.

Mecanismo de Movimiento	Tipo de Material Involucrado		
	Roca(Rock)	Derrubios (debris)	Suelo(Soil)
Desprendimientos (<i>fall</i>)	Caída o desprendimiento de rocas (<i>rockfall</i>)	Caída o desprendimiento de derrubios (<i>debris fall</i>)	Caída o desprendimiento de suelos (<i>soil fall</i>)
Vuelco o desplome (<i>tumble</i>)	Vuelco o desplome de rocas (<i>rock tumble</i>)	Vuelco o desplome de derrubios (<i>debris tumble</i>)	Vuelco o desplome de suelos (<i>soil tumble</i>)
Deslizamiento rotacional simple (<i>rotational slide</i>)	Individual (<i>simple</i>) Múltiple (<i>multiple</i>) Sucesivo (<i>successive</i>)	Individual (<i>simple</i>) Múltiple (<i>multiple</i>) Sucesivo (<i>successive</i>)	Individual (<i>simple</i>) Múltiple (<i>multiple</i>) Sucesivo (<i>successive</i>)
Deslizamiento traslacional o no rotacional (<i>translational slide, non-rotational</i>)	Deslizamiento de rocas en bloque (<i>block slide</i>)	Deslizamiento de derrubios en bloque (<i>block slide</i>)	Deslizamiento traslacional de suelos (<i>slab slide</i>)
Deslizamiento planar (<i>planar</i>)	Deslizamiento de rocas (<i>rock slide</i>)	Deslizamiento de derrubios (<i>debris slide</i>)	Coladas de barro (<i>mudslide</i>)
Flujos (<i>flow</i>)	Flujo de rocas (<i>rock flow</i>)	Corrientes de derrubios (<i>debris flow</i>)	Flujos de tierra. arena o suelo (<i>soil flow</i>)
Expansión lateral (<i>lateral spreading</i>)	Expansiones laterales en rocas (<i>rock spreading</i>)	Expansiones laterales en derrubios (<i>debris spread</i>)	Expansiones laterales en suelos (<i>soil spreading</i>)
Complejo (<i>complex</i>)	Ejemplo: Alud de rocas (<i>rock avalanche</i>)	Ejemplo: Flujo deslizante (<i>flow slide</i>)	Ejemplo: Rotación con flujo de tierras (<i>slump/earthflow</i>)

Tabla 1. Clasificación de los procesos de remoción en masa. Fuente: EPOCH (1993) a partir de la clasificación de Varnes (1978) y Hutchinson (1988)

A continuación se describen los procesos de remoción en masa:

I.4.2.1. Desprendimientos o caídas

Los desprendimientos o caídas (Figura 1) son los movimientos en caída libre de distintos materiales tales como rocas, detritos o suelos. Este tipo de movimiento se origina por el desprendimiento del material de una superficie inclinada, el cual puede rebotar, rodar, deslizarse o influir ladera abajo posteriormente. El material considerado no incluye las pequeñas partículas resultado del intemperismo. Estos movimientos son definidos con base en el material involucrado, por lo que se clasifican de manera general en caídos o desprendimientos de rocas (*rockfalls*), de detritos (*debris falls*) y suelos (*soil falls*). La velocidad de estos movimientos puede ser rápida o extremadamente rápida, a excepción de cuando la masa desplazada sufre socavamiento o incisión, y el desprendimiento o caída es precedido por el deslizamiento o vuelco que separan el material desplazado de la masa intacta (Cruden y Varnes, 1996). Estos movimientos ocurren en laderas fuertemente inclinadas, tanto de tipo natural como artificial.

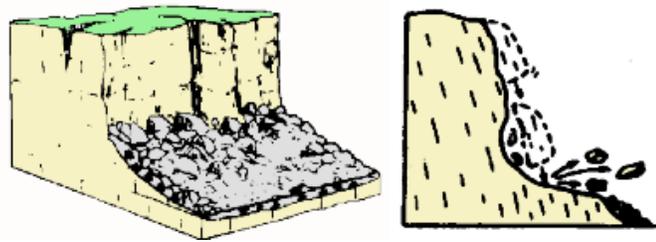


Figura 1. Desprendimiento o caída

I.4.2.2. Vuelcos o desplomes

Un vuelco o desplome (Figura 2) consiste en la rotación de una masa de suelo, detritos o roca en torno a un eje o pivote determinado por su centro de gravedad. Su movimiento es hacia adelante o hacia la parte externa, por lo cual involucra inclinación o basculamiento, pero no implica colapsamiento. Frecuentemente ocurren en una o más superficies, en materiales que poseen un sistema de discontinuidades preferenciales como diaclasas, grietas de tensión o superficies columnares. Se clasifican en vuelcos o desplomes de rocas, derrubios o detritos y de suelos.

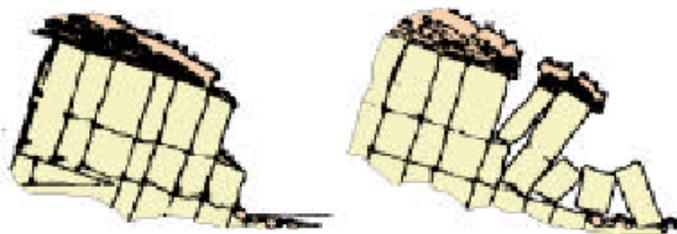


Figura 2. Vuelco o desplome

I.4.2.3. Deslizamientos

Los deslizamientos (Figura 3) son movimientos ladera abajo de una masa de suelo, detritos o roca, las cuales ocurren sobre una superficie reconocible de ruptura. Con frecuencia, la formación de grietas transversales es la primera señal de la ocurrencia de este tipo de movimientos, que se localizan en la zona que ocupará el escarpe principal. La superficie de ruptura define el tipo de deslizamiento, por lo que las superficies curvas, cóncavas o en forma de cuchara se asocian a deslizamientos rotacionales; las superficies de rupturas semiplanas u onduladas a los movimientos de translacional; y la superficies planas a los deslizamientos planos.

En los deslizamientos rotacionales, los bloques ubicados en la parte superior se inclinan hacia atrás, el escarpe principal regularmente es vertical, la masa desplazada se acumula ladera abajo y su deformación interna es de muy bajo grado. Movimientos posteriores al inicial, pueden generar el retroceso progresivo de la corona. La velocidad y extensión de este tipo de movimientos es muy variable. Los deslizamientos translacionales son menos profundos que los rotacionales y al igual que los planos, involucran un movimiento paralelo a la superficie, el cual está en gran medida controlado por superficies de debilidad de los materiales formadores.

Con base en las etapas del movimiento, los deslizamientos rotacionales se clasifican en simples, múltiples y sucesivos, clasificación que también se aplica a las variantes resultantes del tipo de material (ejemplo: deslizamiento rotacional de roca, debris, suelo; y por ende, deslizamiento de roca individual, múltiple, sucesivo, etc.). Los deslizamientos translacionales se subdividen en deslizamientos de roca en bloque (*block slide*), deslizamientos de derrubio en bloque (*block slide*) y deslizamientos translacionales de suelos (*slab slide*). Los deslizamientos planos se clasifican en simples términos a partir del material involucrado, por lo cual los principales tipos son los deslizamientos de rocas (*rock slide*), deslizamientos de derrubios (*debris slide*) y las coladas de barro (*mudslides*).

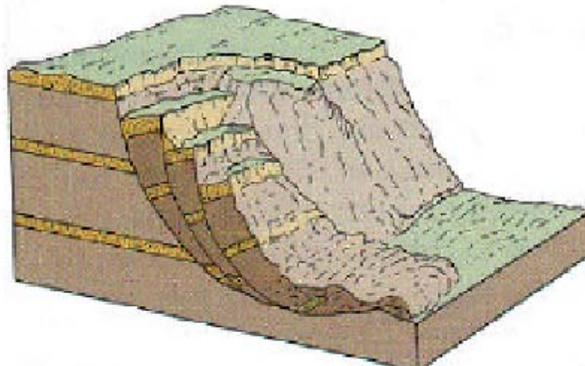


Figura 3. Deslizamiento rotacional (Skinner & Porter, 1992)

I.4.2.4. Flujos

Los flujos (Figura 4) son movimientos especialmente continuos, en los que las superficies de cizalla son muy próximas, de poca duración y por consiguiente, difíciles de observar. El movimiento de los flujos es muy parecido al de un fluido viscoso, razón por la cual la distribución de velocidades no es homogénea y origina la formación de lóbulos a partir del predominio del movimiento irregular. Los flujos envuelven todos los tipos de materiales disponibles y se clasifican con base en su contenido, por tanto, se dividen en flujos de rocas (*rock flows*), flujos o corrientes de derrubios (*debris flows*) y flujos de arena o suelo (*soil flows*).

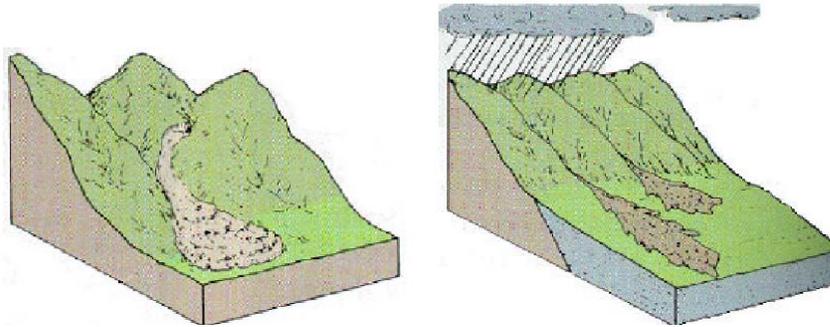


Figura 4. Flujos de detritos y de lodos (Skinner & Porter, 1992)

I.4.2.5. Expansiones laterales

Estos movimientos (Figura 5) son resultado de la fracturación y expansión de suelos o masas de roca compactos, debido a la licuefacción o fluidización del material subyacente, ocurre cuando materiales gruesos, como fragmentos de roca, grava, etc., están inmersos en una matriz de material más fino o contienen arcillas. La superficie de cizallamiento no está bien definida, la masa involucrada se mueve rápida y retrogresivamente, y puede tener una duración de algunos minutos. Este tipo de movimiento ocurre principalmente en ambientes lacustres y marinos de poca profundidad, los cuales se localizan en los márgenes de antiguos casquetes de hielo en las costas de Noruega, Alaska y Canadá. Los flujos pueden ser desencadenados por movimientos rotacionales o por efectos sísmicos. Se clasifican en expansiones laterales en roca (*rock spreading*), en derrubios (*debris spread*) y en suelos (*soil spreading*).

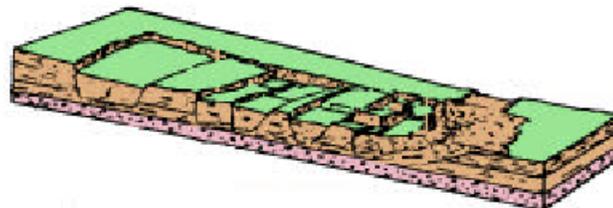


Figura 5. Expansión lateral



I.4.2.6. Movimientos Complejos

Los movimientos complejos ocurren cuando el movimiento inicial se transforma en otro al ir desplazándose ladera abajo, entre los más importantes son de destacar los aludes o avalanchas de roca y los flujos deslizantes. Las avalanchas o aludes de roca consisten en la movilización a gran distancia, de grandes masas de roca y detritos, los cuales viajan a gran velocidad. Los flujos deslizantes son resultado del colapso repentino y de gran extensión de una masa de material granular o de detritos, como resultado de un efecto perturbador. El material involucrado es metaestable, con una estructura suelta y alta porosidad. Durante el colapsamiento, la carga del terreno es transferida a los fluidos de los poros (generalmente agua), lo que ocasiona un incremento en la presión de estos últimos y por consiguiente, la pérdida de resistencia, ocasiona el flujo deslizante (Hutchison, 1988). Por lo general, la morfología resultante es alargada y estrecha, el área de depósito tiene un espesor relativamente delgado.

I.4.3. Causas Generales de los Movimientos del Terreno

Los procesos de remoción en masa o movimientos del terreno ocurren debido a dos causas fundamentales, las cuales son de tipo externo e interno (Terzaghi, 1950; Selby, 1993). Los factores externos ocasionan un incremento en los esfuerzos o acciones que se dan en una ladera, es decir, producen una mayor concentración de las fuerzas motoras o actuantes, mientras que los factores internos reducen la resistencia de los materiales, en otras palabras, disminuyen la concentración de fuerzas resistentes.

Existen varios factores de tipo externo, entre los principales cabe destacar los procesos que se relacionan con las modificaciones de la geometría de una ladera (por erosión, socavación, incisión de un río, excavaciones artificiales, etc.), las cargas y descargas, el efecto de los sismos o vibraciones por explosiones y maquinaria pesada, así como los cambios en el régimen hidrológico como consecuencia de la variabilidad de la intensidad y duración de las precipitaciones. Cuando la ladera se ve afectada por estos procesos, es más fácil que las fuerzas motoras influyan en la estabilidad de la ladera. Por otro lado, los factores internos están relacionados con las características de los materiales térreos en cuanto a composición, textura, grado de intemperismo, características físico-químicas, etc., y las modificaciones que éstos van sufriendo (Tabla 2).

Los procesos de ladera ocurren gracias a la combinación de estos dos tipos de factores, ya que todos ellos contribuyen en diferente grado a su inestabilidad. Sin embargo, según ciertas circunstancias, algunos de estos elementos pueden ser considerados como factores detonantes a decisivos, como por ejemplo, la presencia de lluvias extraordinarias en materiales permeables, razón por la cual no sólo es importante conocer los mecanismos y tipos de



movimientos, sino también los factores que causan y controlan este tipo de procesos en espacios definidos.

Causas de índole geológica	Causas por procesos físicos
Materiales débiles	Precipitación intensa
Materiales sensibles	Derretimiento rápido de nieve o hielo
Materiales intemperizados	Eventos de precipitación extraordinarios
Materiales sujetos a cizallamiento	
Materiales con fisuras y diaclasas	Actividad sísmica
Discontinuidades orientadas adversamente (esquistosidad, planos de inclinación)	Erupciones volcánicas
Discontinuidades estructurales (fallas, discordancias, contactos)	Gelifracción
Permeabilidad contrastante	
Contraste de materiales con diferente plasticidad	Expansión e hidratación de arcillas
Causas morfológicas	Causas de origen antrópicas
Levantamientos tectónicos o volcánicos	Excavación de laderas o del pie de laderas
Erosión glacial	
Erosión fluvial al pie de las laderas	Incremento de peso en las laderas
Erosión marina al pie de los acantilados	Disecación de cuerpos de agua (presas)
Erosión glacial al pie de las laderas	Deforestación
Erosión en márgenes laterales	Irrigación
Erosión subterránea	Actividad minera
Remoción de la vegetación (por incendios y sequías)	Vibraciones artificiales

Tabla 2. Causas de los movimientos del terreno (Cruden y Varnes, 1996)

I.4.4. Reconocimiento de proceso de remoción en masa

El tipo de actividad de un movimiento está relacionado con sus características morfológicas, si estas últimas son observadas y estudiadas con atención, es posible diagnosticar de manera precisa el estado de actividad de un deslizamiento. Para tal efecto Brunsden (1984) y Crozier (1986) enlistan las principales características que se pueden emplear para reconocer la actividad de los movimientos del terreno (Tabla 3).



<p style="text-align: center;">Depósitos</p> <ol style="list-style-type: none">1. Crestas transversales en la corona. Crestas longitudinales en el cuerpo. Crestas concéntricas en el pie, las cuales son transversales a la morfología2. Fracturamiento transversal y radiales en el pie.3. Valles parcial o totalmente bloqueados. Divergencia de patrones de drenaje4. Desplazamientos de material.
<p style="text-align: center;">Movimientos Activos</p> <ol style="list-style-type: none">1. Los escarpes y fracturas que tiene ejes abruptos y filosos. No hay presencia de rellenos secundarios.2. Las unidades principales muestran fracturamiento secundarios y crestas de presión.3. Las superficies muestran pulimiento y estriaciones de apariencia fresca.4. Cambios en el drenaje.5. No hay desarrollo de suelos, solamente crecimiento de vegetación.6. Diferencias considerables entre la forma, rugosidad, textura y vegetación de las áreas con y sin deslizamientos7. Vegetación inclinada.
<p style="text-align: center;">Movimientos Inactivos</p> <ol style="list-style-type: none">1. Escarpes y fracturas intemperizadas, grietas rellenas.2. Inexistencia de movimientos secundarios de crestas de presión.3. Superficies intemperizadas y cubiertas de vegetación.4. Drenaje integrado, el cual puede tener un patrón irregular y depresiones sin relleno.5. Buen desarrollo de la cubierta de suelo, ya sea por vegetación natural o cultivada.6. Dificultad para designar límites y texturas a través de fotografía y crecimiento de árboles

Tabla 3. Características empleadas en el reacomodo de los movimientos del terreno (Brunsdén y Crozier, 1984)

I.4.5. Velocidad de los movimientos

Análogamente a la elaboración de la escala de Mercalli, la cual describe los efectos locales en términos de daños sufridos por un evento sísmico, Cruden y Varnes (1996) presentan una modificación a la escala de Varnes (1978), a partir de la cual describen la velocidad y la naturaleza del impacto causado por los diferentes procesos de ladera (Tabla 4).



Velocidad	Clasificación según velocidad	Límites de velocidad	Descripción de la velocidad	Naturaleza del Impacto
3 m/s	7	5 m/s	Extremadamente rápido	Catástrofe de gran violencia, edificios expuestos totalmente destrozados y decesos de la población por el impacto del material desplazado, o por la disgregación del material desplazado
0.3 m/min	6	3 m/min	Muy rápido	Pérdida de algunas vidas debido a que la velocidad del movimiento es muy rápida para permitir que todas las personas escapen a la destrucción
1.5 m/día	5	1.8 m/hora	Rápido	Posibles escapes y evacuación, estructuras, posesiones y equipo destruido por la masa desplazada.
1.5 m/mes	4	13 m/mes	Moderado	Estructuras poco sensibles pueden ser mantenidas si están localizadas a una distancia considerable en relación con el pie de la masa desplazada. Estructuras localizadas en la masa desplazada son dañadas en gran medida.
1.5 m/año	3	1.6 m/año	Lento	Infraestructura como carreteras, caminos y estructuras poco sensibles pueden ser mantenidas a través de mantenimiento frecuente.
0.06 m/año	2	0.016 m/año	Muy lento	Algunas estructuras permanentes no son dañadas y si son agrietadas por el movimiento, pueden ser reparadas
	1		Extremadamente lento	No hay daño a las estructuras construidas con precaución

Tabla 4. Escala de velocidades de los movimientos de ladera (Cruden y Varnes, 1996)



I.5. Trabajos Previos

A nivel nacional el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) elaboró cuadernos de investigación, revistas de prevención, folletos y una serie de fascículos con el objetivo de difundir los conocimientos acerca de los fenómenos susceptibles de provocar desastres y con la finalidad de fomentar una cultura de protección civil en la población. Además de difundir conceptos básicos, causas, efectos de los fenómenos, también incluyen acciones preventivas aplicables para mitigación y reducción de sus efectos negativos que aportan datos estadísticos. En base a estos productos editoriales se han elaborado varias publicaciones como atlas y/o programas estatales para la prevención de desastres, algunos de los cuales se mencionan en este trabajo:

Salas P. y alumnos del Departamento de Geología, Universidad de Sonora, durante 1979, hicieron un estudio sobre la Geología Urbana de Hermosillo, en el cual se elaboraron distintos mapas como: mapa de pendientes, tipos de suelo, geológicos y de riesgos naturales. Cabe mencionar que esta investigación fue una de las pioneras en cuanto a estos últimos en México.

Salas et. al (1983), realizaron un estudio sobre la Falla Sismotectónica de Hermosillo, este estudio se enfocó en mostrar la utilidad de una fórmula matemática para el cálculo de los riesgos provocados por un sismo de magnitud 7 y 8 en las Colonias Pitic, Centenario y Las Quintas.

Grijalva et. al (1988), elaboraron un Estudio Geotécnico Aplicado a la Estabilidad de taludes en el sitio "El Coloso", Municipio de Hermosillo Sonora, identificando direcciones de deslizamiento, volumen de cuña de roca y proponiendo medidas de mitigación.

Villa Terán (1997), en su Tesis Intitulada Atlas Estatal de Riesgos Naturales para el Estado de Sonora, en el Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, identificó las zonas más susceptibles a peligros naturales y elaboró mapas de peligros por tipos de agentes perturbadores.

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (1991), fue de los primeros organismos en elaborar un Atlas Nacional de Riesgos.

Campos H. (1994), publicó algunos conceptos de la organización de un Plan de Protección Civil para Casos de Desastre Natural.

En San Luis Potosí, por medio del Programa Estatal para la Prevención de Fenómenos Hidrometeorológicos (1995), se analizaron los fenómenos principales y la incidencia de sequías, heladas, lluvias, inundaciones y huracanes, además identificaron y clasificaron áreas de bajo y alto riesgo localizadas en el centro y norte del Estado.



La Secretaría de Gobernación (1998), elaboró la Guía Cartográfica para el Levantamiento de Riesgos a Nivel Municipal, la cual pretende proporcionar los elementos básicos para la lectura, el uso y la elaboración de cartografía de riesgos.

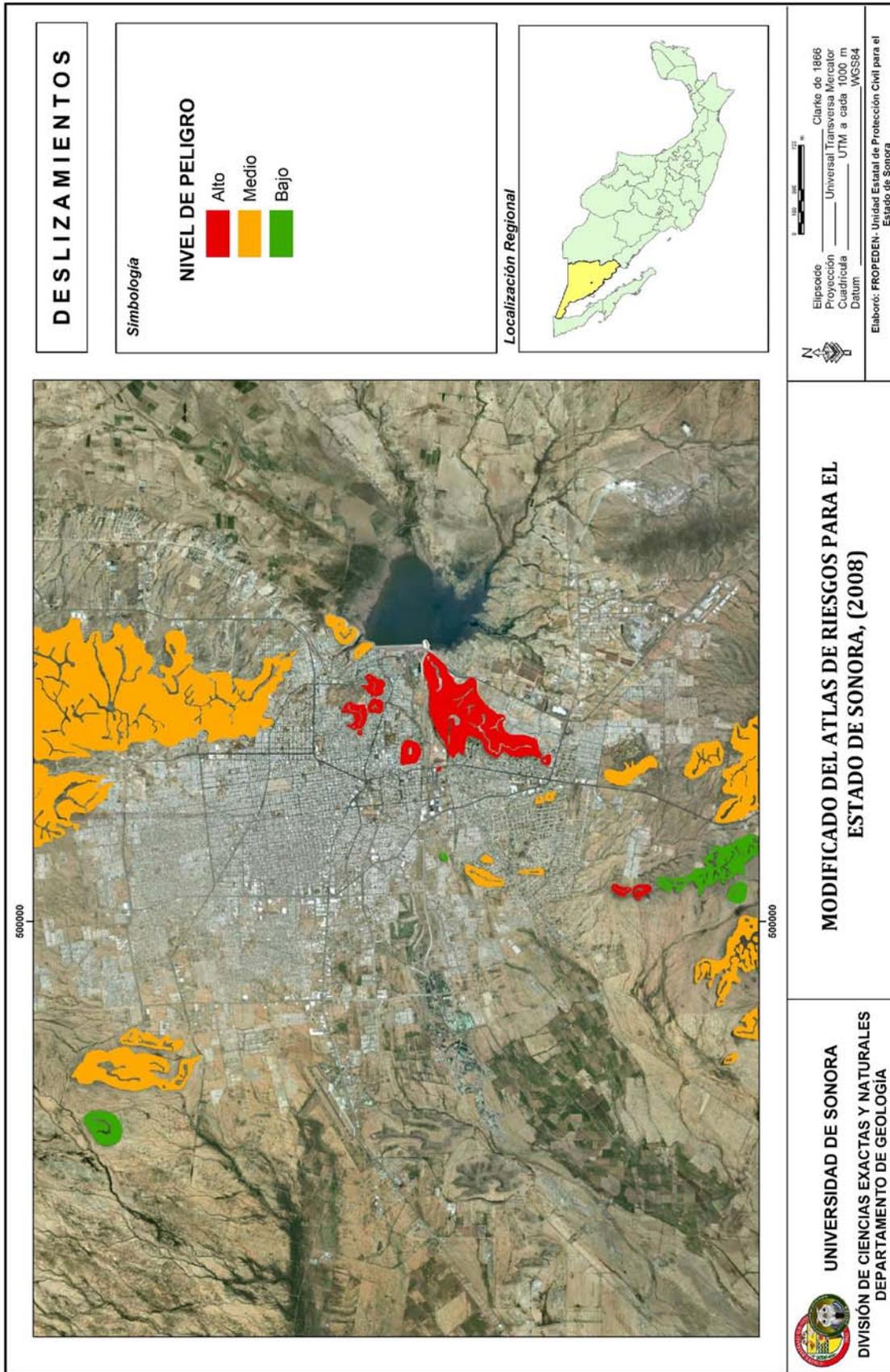
Peña (2000), a su parecer determina, las áreas más vulnerables a deslizamientos en la ciudad de Hermosillo (Tabla 5):

ZONAS DE RIESGO	COLONIAS AFECTADAS
Cerro de la Campana	La Matanza, San Juan
Sierra de La Cementera	Pedregal de la Villa, Tiro al Blanco
Cerro de las Minitas	Sectores de las Minitas
Cerro Tecoripita	Sectores del Palo Verde, tramos de la carretera no 26
Cerro El Apache	Sectores de El Apache
Sierra del Bachoco	Sectores del Cuartel, Pitic-Lomas Altas, Café Combate
Cerros El Coloso y El Mariachi	El Coloso, el Mariachi, Country Club, El Ranchito

Tabla 5. Zonas de riesgo por deslizamientos en Hermosillo (Peña, 2000)

Protección Civil (2004) elaboró el Atlas de Riesgo del Municipio de Hermosillo, donde se mencionan los lugares que han suscitado varios casos de deslizamiento de rocas. Los más comunes ocurridos en los alrededores del cerro de La Campana, donde bloques de hasta 3 m de diámetro se han deslizado para detenerse en los patios de casa habitación. Otros lugares propensos a sufrir deslizamiento de rocas son las colonias Pedregal de la Villa (Piedra bola) y Tiro al Blanco, ya que se observan en el lugar pendientes elevadas y existen una gran cantidad de bloques de intrusivos cuyo diámetro se tienen de 1 a 4 m y algunos se encuentran muy fracturados (Peña, 2000).

El Departamento de Geología del la Universidad de Sonora (2008) elaboró para el Fondo para la Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN) y la Unidad Estatal de Protección Civil del Estado de Sonora el Atlas Estatal de Riesgos Para el Estado de Sonora, en el cual, se identificaron las zonas con peligros de deslizamiento (Plano 1. DESLIZAMIENTOS) sin hacer distinción particular del proceso de remoción en masa que se presenta en él, cabe destacar que actualmente este queda reducido, ya que la mancha urbana ha avanzado hacia el norteponiente y sur-surponiente de la Ciudad.



Plano 1. DESLIZAMIENTOS



II. GENERALIDADES

II.1. Localización

El área de estudio se encuentra hacia el sur de la ciudad de Hermosillo, exactamente en la ladera centro-este de la Sierra Tecoripita, en la Colonia Pedregal de la Villa o Piedra Bola, a espaldas de la Colonia Urbi Villas del Rey (Plano 2. LOCALIZACIÓN).

La ciudad de Hermosillo se ubica geográficamente entre los 110°55' y 111°04' de longitud oeste y, los 28°59' y 29° 12', de latitud norte del meridiano de Greenwich, con una extensión territorial de 14,153 ha (Fuente INEGI).

II.2. Geomorfología

La geomorfología estudia todas las formas del relieve producto de la interacción de procesos internos y externos de la corteza terrestre, estableciendo los métodos de investigación y cartografía que reflejen las condiciones durante el proceso de su formación y características topográficas específicas de cada unidad de mapeo.

La geomorfología aplicada se ocupa de la solución de diversos problemas relacionados con el relieve y de interés práctico para el hombre, por ejemplo: localización de yacimientos minerales e hidrocarburos; planificación de uso del suelo, combate a la erosión de suelo, delimitación de peligros y riesgos, construcción de grandes obras de ingeniería.

Debido a que en el área de estudio no se tienen trabajos previos de mapeo geomorfológico, se decidió elaborar un mapa donde se muestre el aspecto general de la geología y las formas del relieve. Plano 3. GEOMORFOLOGÍA.

En el mapa geomorfológico se utilizaron varios parámetros para la clasificación de unidades, como son geoforma, altura relativa, pendiente, litología y uso del suelo. Material detrítico depositado en las partes bajas de los lomeríos y laderas montañosas.

La estabilidad de la pendiente se clasificó en cuatro categorías denominándose como estable para una pendiente entre los 0-10°, metaestable entre 10-25°, inestable entre 25-35° y abrupta mayor a 35°.

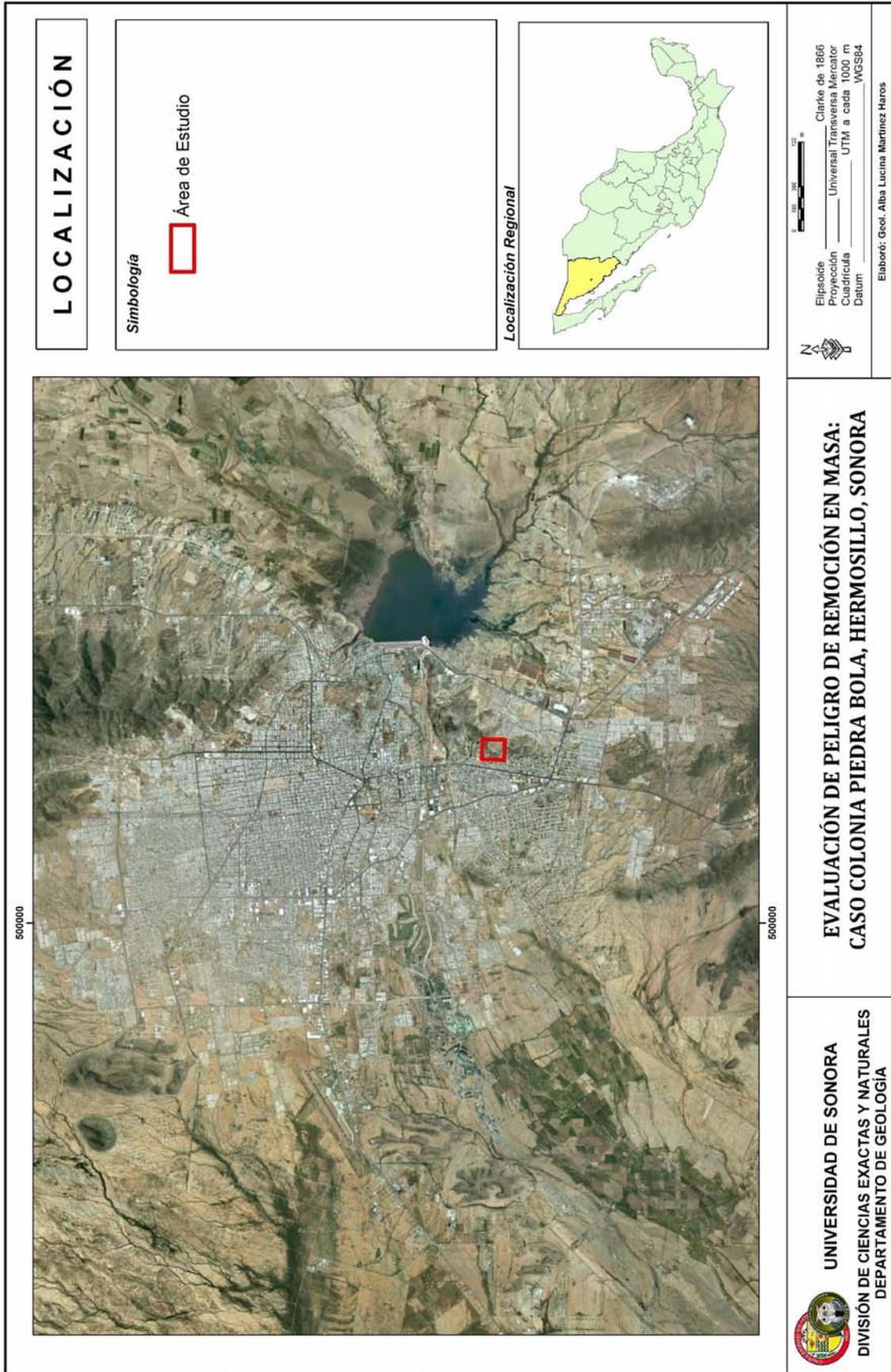
Otro parámetro tomado en cuenta para la delimitación geomorfológica es la litología, observando en la zona altos topográficos con variaciones graníticas, volcánicas y metavolcánicas; los materiales areno-gravosos corresponden a las planicies divergentes, los arroyos tributarios y el cauce fluvial principal, incluyendo la influencia urbana en el cambio de uso del suelo.

La ciudad de Hermosillo presenta 30 unidades geomorfológicas (Atlas Estatal de Riesgos Para el Estado de Sonora, 2008) las cuales se describen a continuación en la Tabla 6. y se observan en el Plano 3. GEOMORFOLOGÍA:

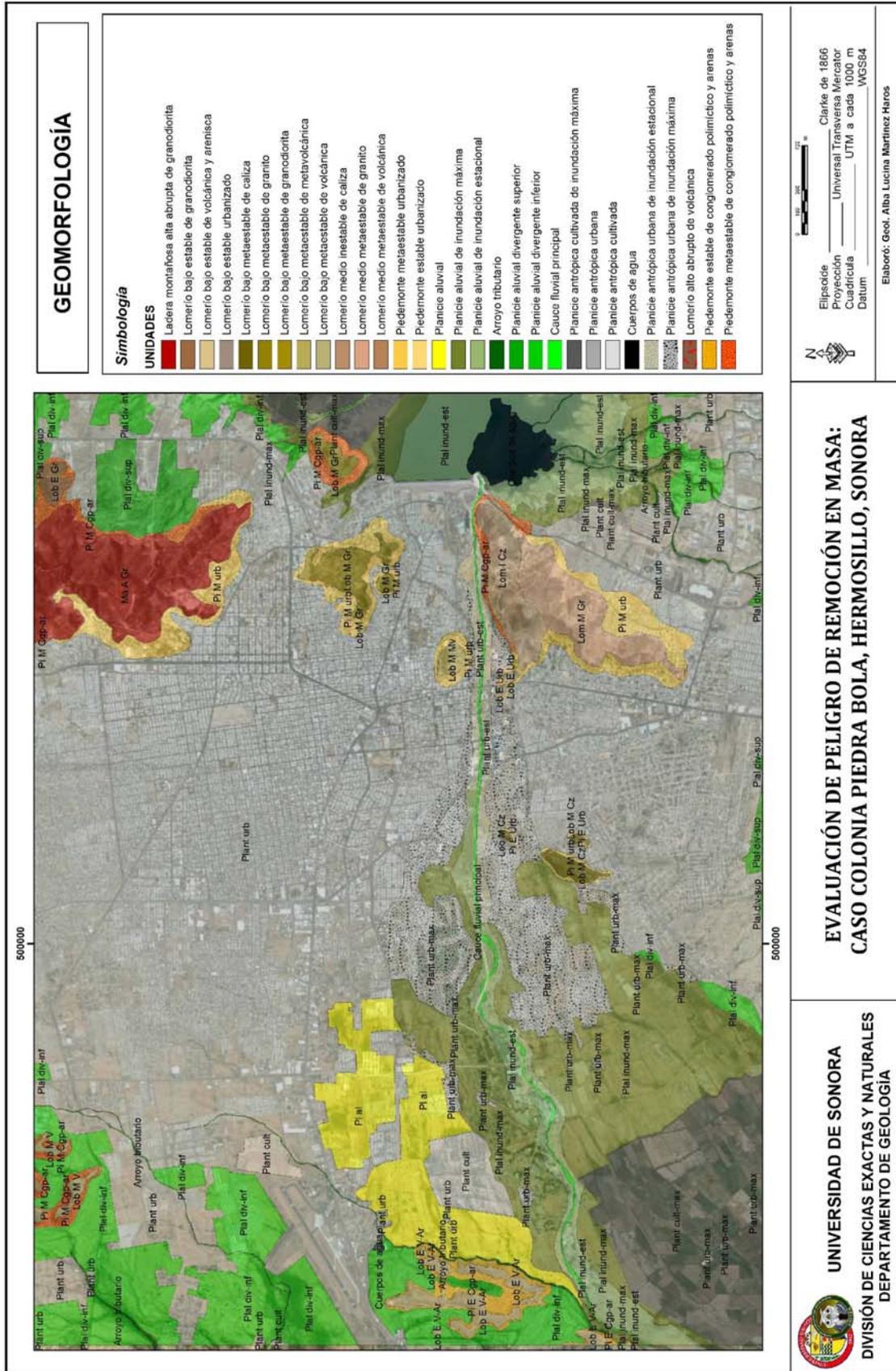


Simbología	Unidad geomorfológica
	Ladera montañosa alta abrupta de granodiorita
	Lomerío bajo estable de granodiorita
	Lomerío bajo estable de volcánica y arenisca
	Lomerío bajo estable urbanizado
	Lomerío bajo metaestable de caliza
	Lomerío bajo metaestable de granito
	Lomerío bajo metaestable de granodiorita
	Lomerío bajo metaestable de metavolcánica
	Lomerío bajo metaestable de volcánica
	Lomerío medio inestable de caliza
	Lomerío medio metaestable de granito
	Lomerío medio metaestable de volcánica
	Lomerío alto abrupto de volcánica
	Piedemonte metaestable urbanizado
	Piedemonte estable urbanizado
	Piedemonte estable de conglomerado polimíctico y arenas
	Piedemonte metaestable de conglomerado polimíctico y arenas
	Planicie aluvial
	Planicie aluvial de inundación máxima
	Planicie aluvial de inundación estacional
	Arroyo tributario
	Planicie aluvial divergente superior
	Planicie aluvial divergente inferior
	Cauce fluvial principal
	Planicie antrópica cultivada de inundación máxima
	Planicie antrópica urbana
	Planicie antrópica cultivada
	Planicie antrópica urbana de inundación estacional
	Planicie antrópica urbana de inundación máxima
	Cuerpos de agua

Tabla 6. Unidades geomorfológicas



Plano 2. LOCALIZACIÓN



Plano 3. GEOMORFOLOGÍA



II.3. Edafología

La ciudad de Hermosillo presenta suelos poco desarrollados, estos suelos son Feozem, Litosol, Regosol, Vertisol, Xerosol y Yermosol (INEGI, 2011). A continuación se describen los suelos y en el Plano 4. EDAFOLOGÍA podemos observar la distribución de estos:

Feozem (Hh+Re/2/G): suelo con superficie oscura, de consistencia suave, rica en materia orgánica y nutrientes.

Litosol (I+Re+Rc/1): suelos muy delgados, su espesor es menor de 10 cm, descansa sobre un estrato duro y continuo, tal como roca, tepetate o caliche.

Regosol (Re+Rc/1/n): suelos poco desarrollados, constituidos por material suelto semejante a la roca.

Vertisol (Vc+Xh/3/G): suelos muy arcillosos, con grietas anchas y profundas cuando están secos; si se encuentran húmedos son pegajosos; su drenaje es deficiente.

Xerosol (Xk+Rc/2/G): suelos áridos que contienen materia orgánica; la capa superficial es clara, debajo de ésta puede haber acumulación de minerales arcillosos y/o sales, como carbonatos y sulfatos.

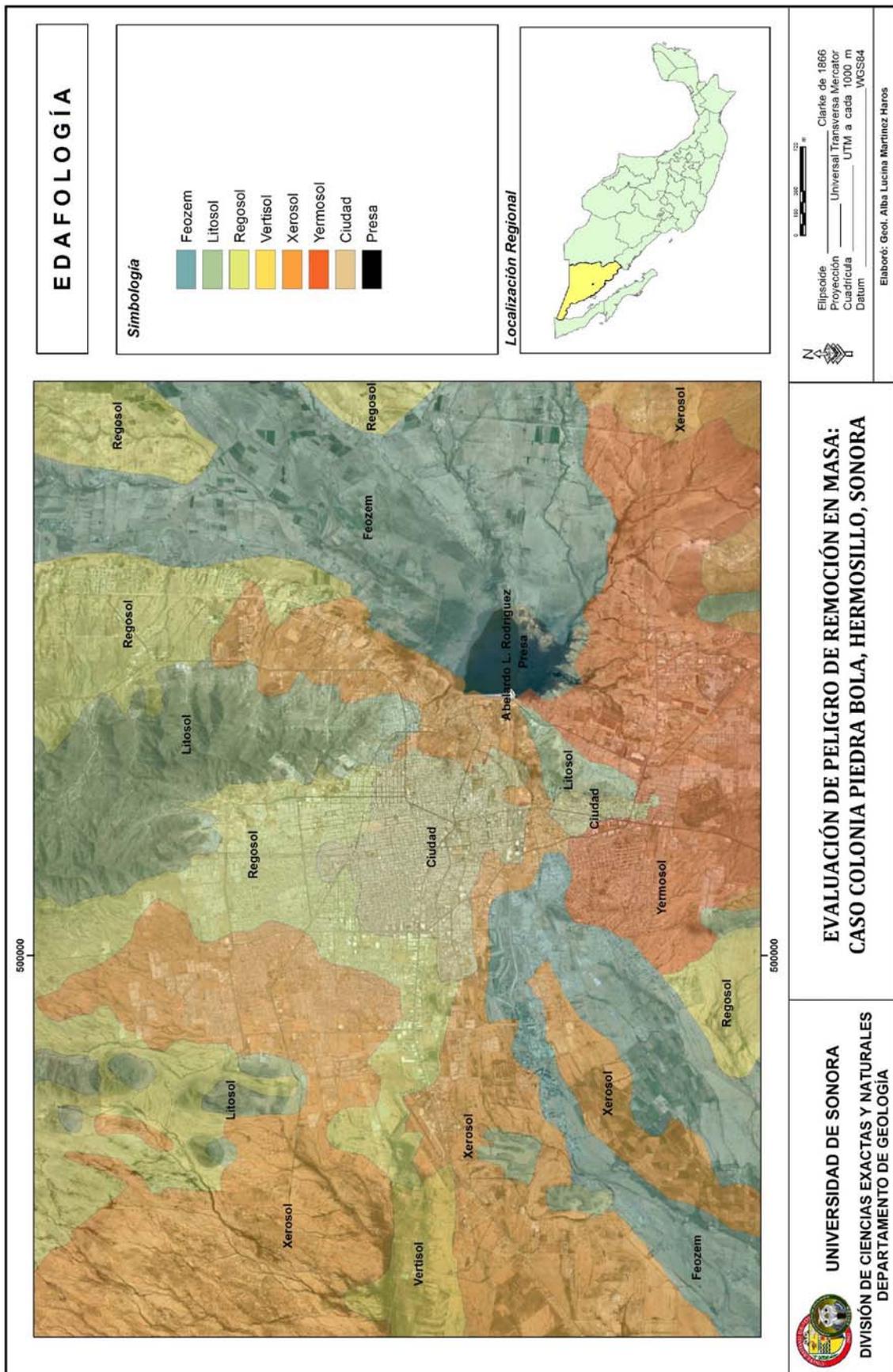
Yermosol (Yh+Re/1): se caracteriza por tener una capa superficial de tonalidades claras y un subsuelo rico en arcillas semejante a la capa superficial. En ocasiones presenta acumulación de cal o yeso en el subsuelo.

II.4. Relieve

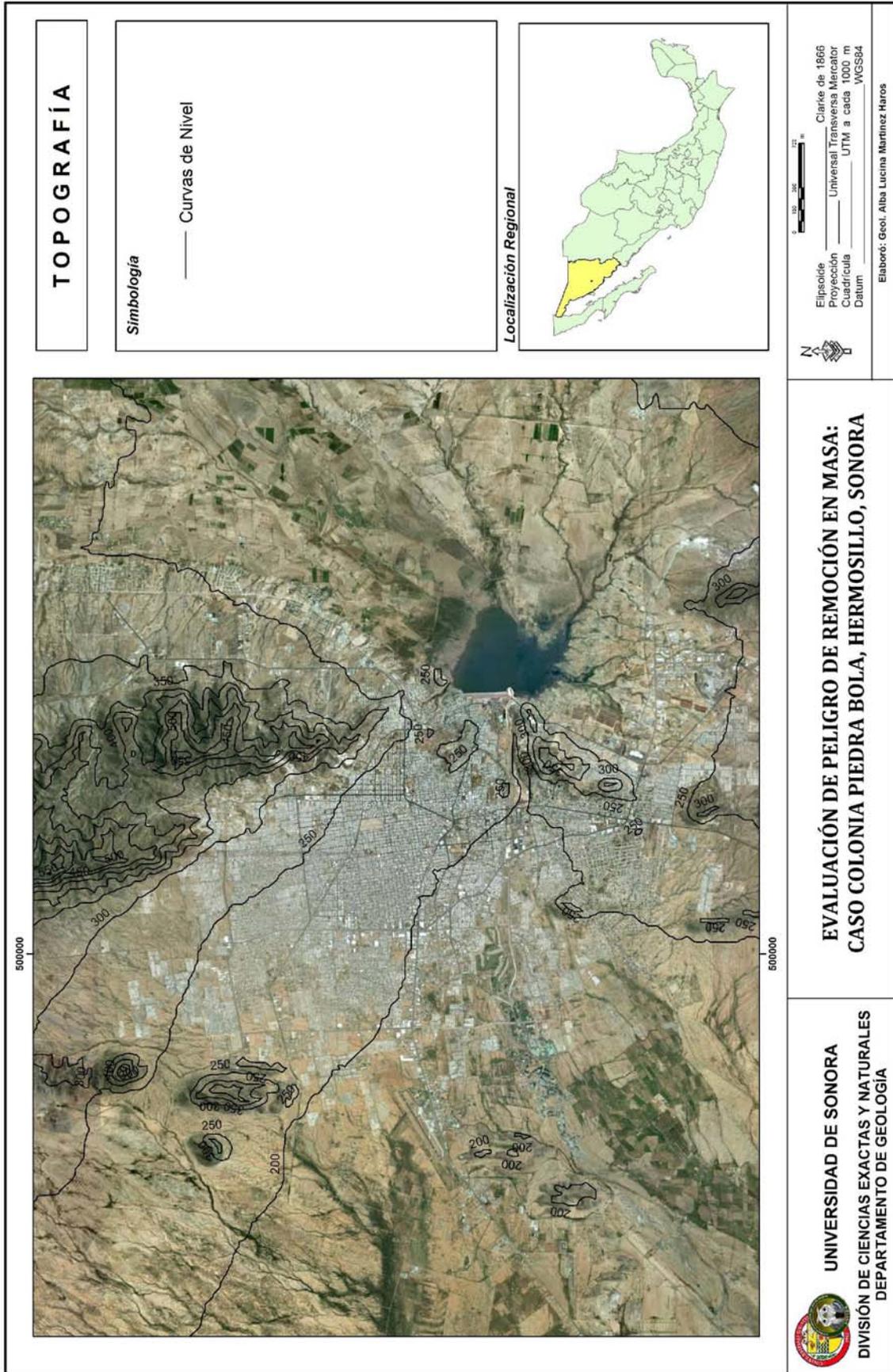
Los relieves más importantes en Hermosillo son al norte Sierra Espinazo Prieto (Bachoco), al oriente C. de la Cementera y Sierra Tecoripa (Piedra Bola, Las Lomas y Akiwiki), al sur C del Ecológico, Sierra Agualurca y C. de La Virgen, al poniente C. El Apache, C. Las Minitas, C. El Palo Verde y en el centro el C. de La Campana, C. del Coloso, El Mariachi, Matanza. Las elevaciones de la ciudad varían desde los 170 metros sobre el nivel del mar hacia la costa y 850 metros del nivel del mar hacia la Sierra Espinazo Prieto (Plano 5. TOPOGRAFÍA).

II.5. Climatología

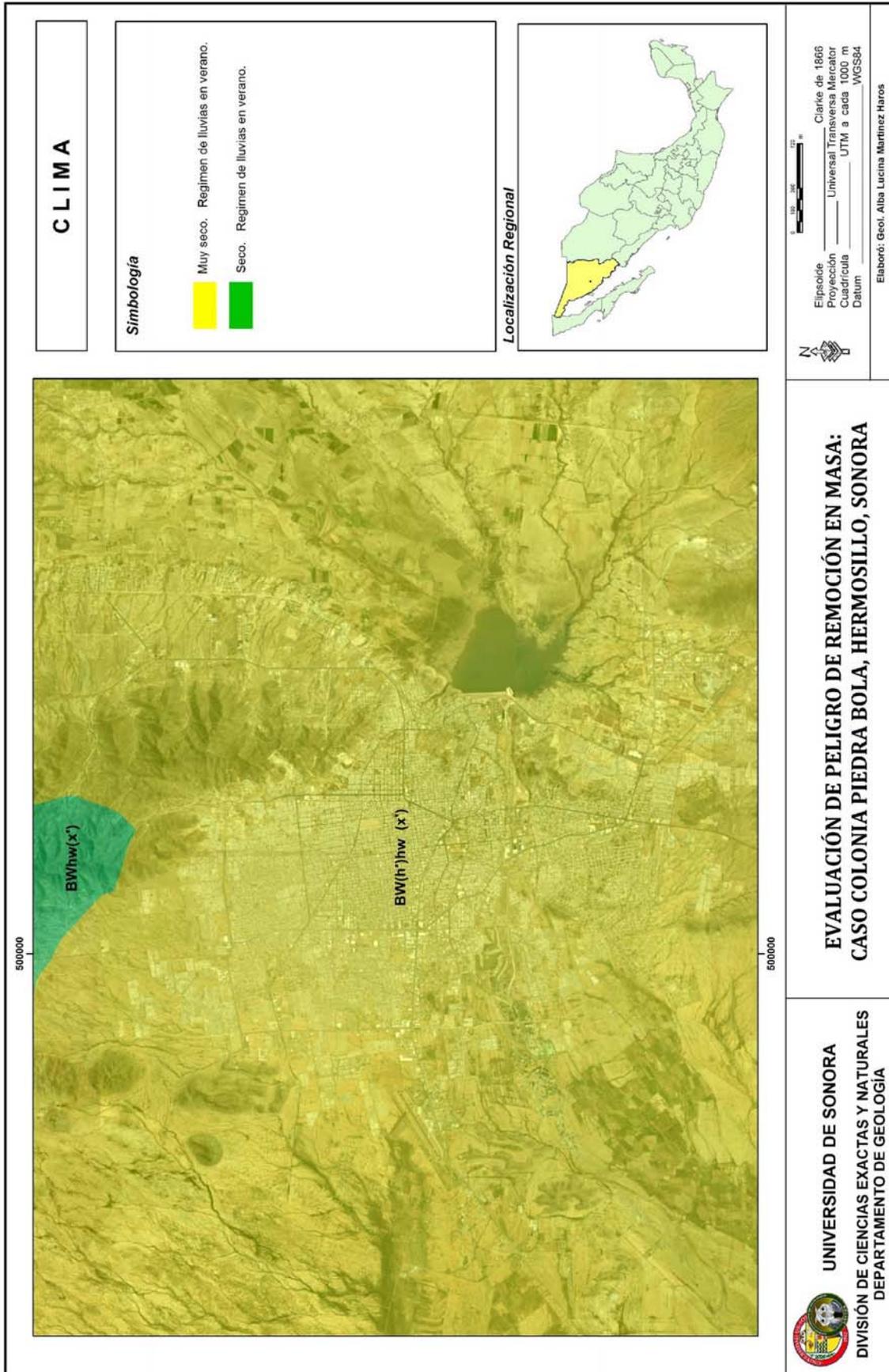
La ciudad de Hermosillo se caracteriza por presentar un clima de tipo cálido muy seco a desértico BW(h') w(x') (Plano 6. CLIMAS), con temperaturas extremas en verano que alcanzan los 48°C, y con inviernos por debajo de los 0°C. Siendo los meses de mayo a septiembre los más cálidos y los meses de diciembre, enero y febrero los más fríos. En los meses de julio, agosto y septiembre se registran los rangos de precipitación más elevados, información que coincide con la temporada de huracanes.



Plano 4. EDAFOLOGÍA



Plano 5. TOPOGRAFÍA



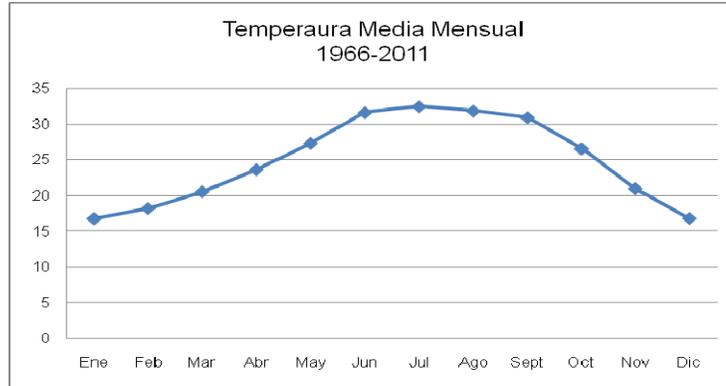
Plano 6. CLIMA



II.5.1. Temperatura

La temperatura de Hermosillo se evaluó con base en los registros de la estación meteorológica 26139 Hermosillo; ubicada dentro del municipio del mismo nombre, en las coordenadas UTM 2886595.62 y 503333.15. Cuenta con una base de datos que va de 1965 a 2011 (Tabla 7); lo que representa 46 años de registros climatológicos.

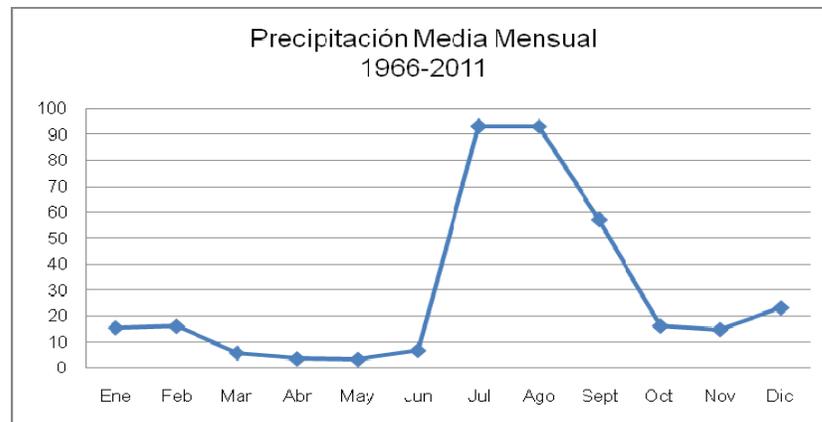
La Gráfica 1 exhibe el rango de temperatura media mensual en la estación Hermosillo, con variaciones que van de los 16° hasta los 32°C.



Gráfica 1. Temperatura media mensual, estación Hermosillo Norte (26139).

II.5.2. Precipitación

La precipitación significativa se presenta en los meses de julio a septiembre, los cuales están dentro de la temporada de huracanes, con rangos de 40 a 100 milímetros. También se presentan precipitaciones en los meses de noviembre a febrero, bajo un tipo de lluvias denominadas regionalmente como “las equipatas de invierno”. A continuación se muestran los registros de Precipitación Media Mensual para la estación Hermosillo (Gráfica 2 y Tabla 8), en un tiempo de observación de 46 años (estación Hermosillo Norte 26139-CNA).



Gráfica 2. Precipitación media mensual, estación Hermosillo Norte (26139).



Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	ANUAL
1966	14.12	14.77	20.58	24.41	28.44	31.43	32.26	30.46	30.65	25.73	21.53	16.93	24.27
1967	15.79	18.04	21.11	21.44	26.28	29.39	32.77	31.64	30.87	26.75	21.59	14.28	24.16
1968	16.39	19.54	20.17	22.13	26.53	31.04	32.07	30.62	31.07	26.9	20.25	16.03	24.39
1969	18.1	16.07	18.76	24.22	27.48	29.58	32.7	33.15	31.16	25.26	21.59	16.81	24.57
1970	16.41	19.45	19.81	23.7	28.05	31.43	33.14	33.22	30.56	24.98	21.33	16.66	24.89
1971	15.4	17.05	21.19	21.84	25.41	30.13	32.9	30.74	30.44	23.45	19.19	14.52	23.52
1972	16.5	18.41	22.83	24.66	26.12	31.09	33.11	31.09	31.05	26.02	18.76	16.39	24.67
1973	14.44	17.43	16.56	20.8	26.71	30.86	32.29	32.01	31.53	26.46	20.1	16.92	23.84
1974	15.15	16.71	20.38	23.24	26.1	31.63	30.88	31.77	29.95	25.72	19.39	13.72	23.72
1975	14.99	16.22	18.42	19.61	24.15	29.6	29.8	31.19	30.45	25.17	21.18	16.18	23.08
1976	17.6	18.54	18.76	21.59	25.99	31.37	30.55	31.48	27.32	24.61	20.83	16.21	23.74
1977	15.25	19.04	17.18	22.67	24.57	31.47	31.85	31.17	30.23	26.92	21.43	19.43	24.27
1978	16.16	16.59	20.9	21.72	25.64	32.03	32.49	31.37	29.63	27.27	18.32	14.17	23.86
1979	13.29	16.05	18.49	22.78	25.48	31.41	32.59	30.3	31.6	26.77	18.98	17.4	23.76
1980	17.06	19.23	18.3	22.28	24.13	32.23	33.01	30.68	31.18	26.32	21.04	19.12	24.55
1981	18.15	19.74	18.69	24.8	26.58	32.15	32.4	33.5	31.12	26.03	22.81	19.1	25.42
1982	16.26	19.21	20.43	25.01	26.06	30.63	32.61	33.02	31.62	26	20.08	16.06	24.75
1983	17.09	17.65	19.48	21.08	27.35	30.59	33.26	31.11	30.97	26.55	20.37	18.15	24.47
1984	16.97	18.64	21.69	22.95	30.14	31.38	30.98	30.86	31.53	24.39	20.29	16.73	24.71
1985	15.56	17.33	19.97	25.56	28.3	32.39	33.02	31.96	29.29	26.31	20.29	18.03	24.83
1986	20.92	19.71	22.82	26.23	27.74	32.45	31.44	31.97	30.08	25.81	21.07	16.15	25.53
1987	15.85	17.79	19.02	24.58	26.27	31.63	33.23	31.94	30.89	29.1	19.59	15.12	24.58
1988	15.95	19.68	20.51	23.54	26.94	31.73	31.78	32.19	30.56	27.3	20.68	16.02	24.74
1989	14.28	18.64	21.9	26.42	27.64	31.18	32.66	31.16	31.32	26	20.93	16.85	24.92
1990	15.94	16.05	20.24	23.63	26.98	32.74	30.79	29.55	29.66	26.99	20.58	16.36	24.13
1991	15.81	18.91	17.9	22.55	25.7	29.82	31.72	31.72	30.08	27.86	20.32	15.9	24.02
1992	15.89	17.8	18.97	24.57	27.64	31.54	32.54	30.25	30.71	26.84	19.1	15.23	24.26
1993	17.35	17.3	21.56	24.82	27.92	31.5	32.07	32.1	29.5	26.42	20.62	17.45	24.88
1994	17.17	17.41	21.33	24.18	27.15	33.11	33.79	32.31	30.96	25.71	18.78	15.81	24.81
1995	16.05	20.09	21.44	22.98	26.6	31.52	33.43	32.58	31.84	27.94	23.01	18.52	25.5
1996	18.47	20.44	21.45	25.09	29.3	32.78	32.23	31.69	29.94	26.28	21.12	18.19	25.58
1997	17.16	17.25	22.81	22.16	29.2	30.68	32.96	32.37	31.91	27.29	21.89	15.17	25.07
1998	17.79	16.63	20.02	22.08	27.62	31.77	33.79	32.81	31.6	28.15	22.53	17.3	25.17
1999	18.85	20.31	21.68	22.83	28.02	31.51	32.34	32.29	32.32	29.69	24.02	17.49	25.95
2000	19.33	20.1	20.31	26.04	29.77	32.2	32.15	31.06	31.53	24.81	18.03	19.03	25.36
2001	15.86	17.71	20.48	23.57	29.42	31.88	31.71	32.75	32.39	27.19	22.56	16.77	25.19
2002	17.44	19.7	21.16	25.31	28.01	32.48	32.53	31.98	31.74	24.9	22.34	16.47	25.34
2003	21.14	17.96	20.43	23.33	28.23	31.29	32.22	31.39	30.53	28.44	21.35	18.02	25.36
2004	16.7	16.8	24.32	23.93	29.06	31.85	32.65	33.01	29.87	26.05	19.32	17.22	25.07
2005	18.06	17.55	20.61	24.68	27.96	31.33	33.86	32.48	32.88	27.27	23.52	18.91	25.76
2006	18.31	20.48	20.27	24.86	29	32.94	32.44	31.5	29.69	26.85	23.52	17.1	25.58
2007	14.56	19.16	22.68	23.61	27.74	32.48	32.54	31.47	30.91	28.06	23.33	15.63	25.18
2008	16.14	19.05	22.02	25.28	26.42	33.05	31.36	30.73	31.06	28.56	23.5	17.81	25.41
2009	19.52	20.11	22.29	24.24	30.09	31.15	34.27	33.47	31.68	25.97	23.03	17.07	26.07
2010	17.46	17.69	20.93	23.23	27.24	32.16	33.05	33.1	32.88	26.9	20.63	19.27	25.38
2011	17.21	17.1	22.82	25.03	27.01	33.01	33.81	34.29	32.74	27.82	20.88	15.44	25.6
Max	21.14	20.48	24.32	26.42	30.14	33.85	34.27	34.29	32.88	29.69	24.02	19.43	
Min	13.29	14.77	16.56	19.61	24.13	29.39	29.8	29.55	27.32	23.45	18.03	13.72	
Prom	16.77	18.2	20.54	23.63	27.32	31.61	32.46	31.84	30.92	26.56	20.99	16.81	

Tabla 7. Temperatura media mensual, estación Hermosillo Norte (26139).



Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	ANUAL
1966	8.5	18.1	0	0	0	9.7	150.5	98.8	36.4	6.7	0	5.5	27.9
1967	0	0	0	0.8	0	1.5	30.7	69	30.7	38	23	59.2	21.1
1968	15.7	15.5	8.3	26	0	0	134.6	36.5	28.7	16.9	1.5	1.2	23.7
1969	28.7	21.1	0	0	2	0	129.3	92.4	19.7	7.1	13.5	32.4	28.9
1970	2.8	0.9	4.5	5.5	1.2	23.4	99.4	57.8	79.8	0	0	0	22.9
1971	0	1.8	0	0	0	1.6	78.6	208.5	73.6	14.5	6.1	11.9	33.1
1972	0	0	0	0	33.1	20.5	31.2	62.8	0	33.7	0	5.1	15.5
1973	1.7	62.4	15.4	0	4.9	0	37.7	73.9	12	0	0	0	17.3
1974	36	0	0.2	0	0	0.5	142.7	66.8	4.1	13.1	39.4	0.5	25.3
1975	24.6	0	15.3	0	0	0.2	94.4	64.7	61.4	0	0	9.4	22.5
1976	0.5	29.8	0	2	0	0	83.4	48.2	77.3	0.2	34.4	2.4	23.2
1977	22.7	0	9.5	0	2	0	102.7	112.4	26.5	14.1	0	1.5	24.3
1978	19.8	89.6	18.9	0	0	0	40.4	15.5	31.5	36.1	15.9	57.5	27.1
1979	35.9	0	7.4	20	37.2	0	58.5	96.1	39.1	0	0	0.3	24.5
1980	13.5	15.8	0	0	0	0	106.4	76.3	22.7	16.7	0	2.5	21.2
1981	53.5	5.8	14.5	5.2	8.4	1.8	120.5	7.2	53.6	13.9	8.8	0	24.4
1982	12	0	0	0	0	0	33.1	24.2	18.2	0	19.4	114.6	18.5
1983	36.2	17.2	27.4	7.9	0	0	148.8	114.2	147.4	25.2	42.4	31.3	49.8
1984	71.3	0	0	2.9	0	38.5	71.8	170.1	25.5	17.8	8.2	106.7	42.7
1985	27.5	9.3	0.2	1.9	0	0	108.6	80.3	105.7	27.6	18.6	3.2	31.9
1986	2.7	19.1	2.8	2.7	10.8	62.5	103.9	97.3	97.1	11.1	0.5	38.6	37.4
1987	0	34.2	0	3.5	5	10.5	52.2	55.4	12.4	12	0	34.3	18.3
1988	9.7	0.5	6.2	2.7	0	0	159.8	73.3	159.6	4	0	48.3	38.7
1989	28.2	2.5	6	0	0	0	63.8	91.7	92.2	1.5	0.5	10.3	24.7
1990	25.8	0	0	0	1.3	37.6	127.5	220.6	95.2	3.7	19.9	46.8	48.2
1991	12.2	76.7	3.9	0	0	0	62.6	50.6	35.2	0	30.8	61.2	27.8
1992	43.5	58.7	60.4	1.2	0	0	97.4	239.2	22.6	0	0	47.2	47.5
1993	58.8	24.2	0.7	51.7	4.2	22.8	26.8	185.6	81.2	13.4	10	25.7	42.1
1994	0	3.3	1	0	0	5.3	49.8	68.1	49.1	16.9	171.5	132.3	41.4
1995	16.6	75.6	1.5	0	0	0	126.6	69	13.4	2	28.5	0	27.8
1996	0	5	0	0	0	0.8	155.9	103	40.9	0.2	0	0	25.5
1997	0.5	3.5	0	15	11.5	0	45.1	210.7	30.7	0	11.6	62.5	32.6
1998	0	41.5	5.2	0	0	2.5	83.5	51.2	91.4	0.9	2.3	0	23.2
1999	0	0	0	0	0	6.2	80	150.2	41.9	40.5	0	3	26.8
2000	0	0	27.6	0	0	3.8	141	50.4	58.4	235	15.5	0	44.3
2001	13.2	3.3	1.8	5.2	0	24.2	101.6	46.2	101	0	0	2	24.9
2002	4.3	9.3	0.8	0	0	0	95.5	132.7	85.5	0	45.5	49.2	35.2
2003	0	19	3.5	1.7	0	4.5	112.3	133.6	111.1	11.7	12	5	34.5
2004	20.7	7	24.5	8.3	0	0	71.5	24.2	71.6	15.3	27	34.7	25.4
2005	44.7	50.7	0	0.5	30.3	0	100.1	39.3	21.4	0.3	0	0.8	24
2006	0	1.6	1.7	0	0	27.2	193.9	107.5	164	65	0	9	47.5
2007	3.9	0	1.6	0	0	0	144.6	77	100	0	29.3	3	30
2008	3.8	0	0	0	0	0	147.7	164	79.3	4	11.6	3	34.5
2009	0.8	3.5	0	0	2.5	5	32.9	76.5	41.5	18.3	4.6	0	15.5
2010	29.3	27.5	2.7	0	0	0	80.9	93.5	21.5	9	0	0	22
2011	0	0.7	0	0	0	0	80.5	71.9	40.1	0	30.2	3.6	18.9
SUMA	729.6	755.2	273.5	164.7	154.4	315.2	4382.1	4375.7	2687	746.4	682.5	1065.7	
PROM	15.5	16.1	5.8	3.5	3.3	6.7	93.2	93.1	57.2	16.2	14.8	23.2	
MAX	71.3	89.6	60.4	51.7	37.2	62.5	193.9	239.2	164	235	171.5	132.3	

Tabla 8. Precipitación media mensual, estación Hermosillo Norte (26139).



II.6. Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB)

Las áreas geoestadísticas básicas (AGEB) son la subdivisión de los municipios o delegaciones que conforman el país, utilizadas por primera vez en el X Censo General de Población y Vivienda 1980. Su utilidad radica en permitir la formación de unidades primarias de muestreo y la organización de la información estadística de la población.

Tiene tres atributos fundamentales:

- a) Es perfectamente reconocible en el terreno por estar delimitada por rasgos topográficos identificables y perdurables;
- b) Por lo general es homogénea en cuanto a sus características geográficas, económicas y sociales;
- c) Su extensión es tal que puede ser recorrida por una sola persona.

Las AGEB se clasifican en áreas más o menos urbanizadas, dependiendo de su densidad de viviendas. La ciudad de Hermosillo esta sectorizada por 500 según INEGI, 2010 (Plano 7. ÁREAS GEOESTADÍSTICAS BÁSICAS DE HERMOSILLO).

En el capítulo IV.3. Plano de peligros de caída de roca veremos la característica de las AGEB para el Coso Colonia Piedra Bola. Los cuales nos ayudan en el análisis de la población vulnerable a un proceso de remoción en masa .



III. MARCO GEOLÓGICO

III.1. Geología Regional

En la región afloran rocas cuya edad varía desde el Paleozoico hasta el Holoceno (Plano 8. GEOLOGÍA), constituidas principalmente por rocas sedimentarias, ígneas y en una menor proporción rocas metamórficas.

Paleozoico

Estas rocas afloran principalmente en los Cerros El Molinito, Santa Gertrudis, La Morena, La Campana, Sierra Los Leyva, entre otros: Peiffer, (1978) les asigna una edad Carbonífero – Pérmico, mismas que representan una facie de plataforma. Constituidos principalmente por rocas carbonatadas, observadas en pequeños afloramientos, estas rocas en algunos lugares fueron afectadas por cuerpos intrusivos ígneos, que provocaron metamorfismo de contacto.

Mesozoico

Las rocas de esta edad afloran en la Sierra La Flojera, Cerro Prieto y Cerro las Hilachas, ubicadas a lo largo de la carretera que conduce a Mazatán. Al SE de Hermosillo afloran calizas, limolitas, areniscas y una alternancia de calizas, cuarcitas, y secuencias volcano-sedimentarias, afectadas por cuerpos intrusivos ácidos cuyo emplazamiento se da en el Cretácico tardío-Terciario temprano (Rodríguez C. 1981).

Terciario

Se caracteriza principalmente por brechas sedimentarias mal consolidadas; al sur-oriental del Cerro El Picacho, al NE de Hermosillo se encuentran cubiertas por un conglomerado con fragmentos de origen volcánico e intrusivo (Rodríguez, 1981). Estas rocas pueden correlacionarse con la Formación Báucarit (King, 1939).

Las rocas volcánicas están representadas por basaltos, tobas, dacitas y andesitas. Los basaltos se encuentran cubriendo discordantemente a los cerros Las Animas y El Picacho al NE de Hermosillo. Las tobas tienden a formar cerros aislados. Las dacitas afloran al oriente del poblado Molino de Camou, cuyo aspecto es dómico. Las andesitas son de color gris oscuro, muy compactas y de grano fino, afloran al norte de las dacitas. (Rodríguez C. 1981).

Rocas Ígneas Intrusivas

Hay numerosos cuerpos batolíticos del Cretácico tardío – Terciario temprano que tienden a alterar la disposición estructural de secuencias paleozoicas y mesozoicas mismas que son

afectadas por fallamiento normal que las ponen en contacto con unidades terciarias (Grijalva y Castillo, 1988).

III.2. Geología Local

Paleozoico

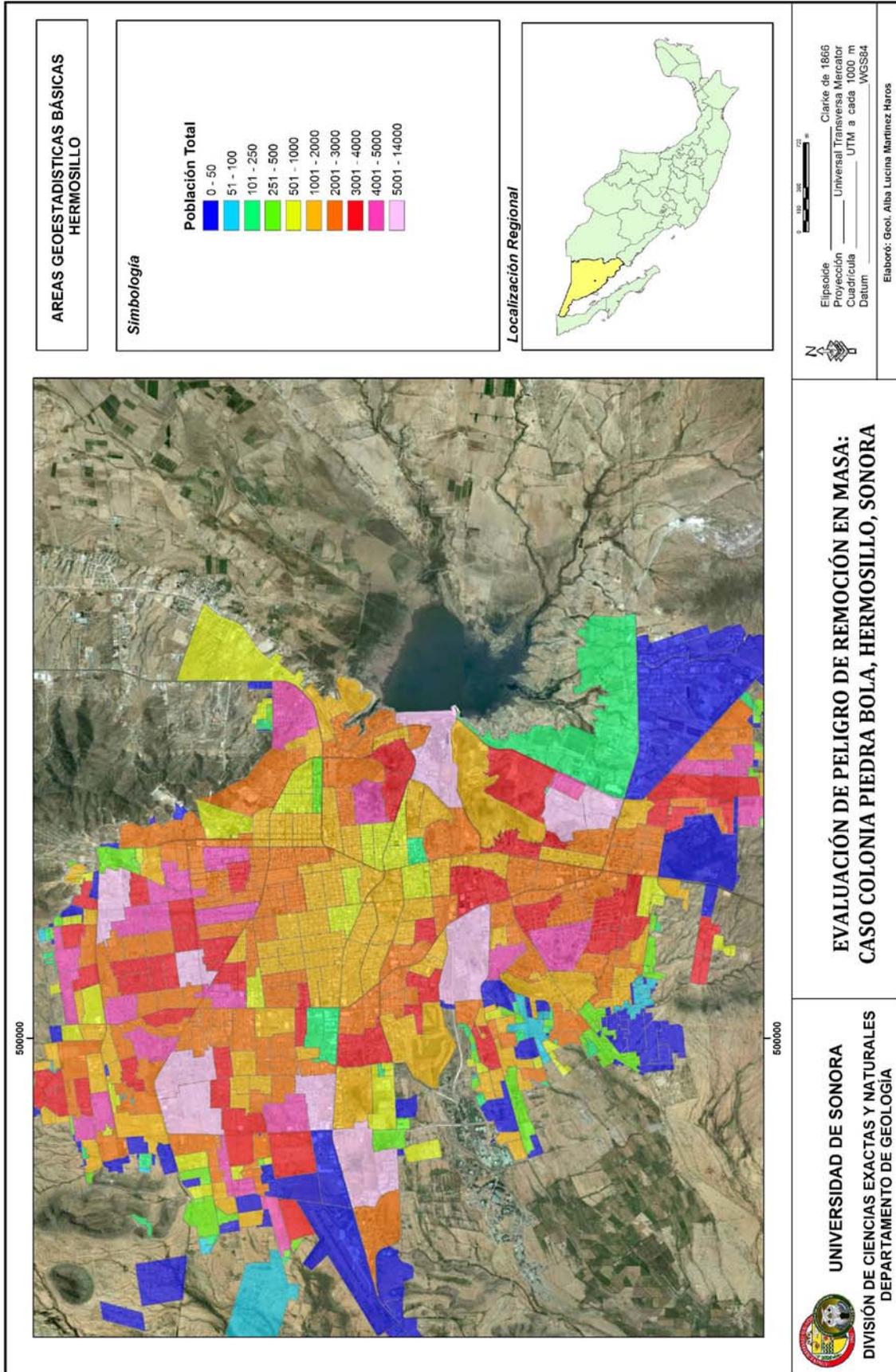
Las rocas paleozoicas se encuentran expuestas dentro del área de estudio se tienen en los cerros El Molinito, Santa Gertrudis, La Morena, de la Campana (Foto 2), de La Cementera, Tecoripita, Sierra Los Leyva, Agualurca y otros. Estas rocas, en términos generales, corresponden a secuencias predominantemente carbonatadas del Carbonífero-Pérmico y representan facies de plataforma (Peiffer, 1978).



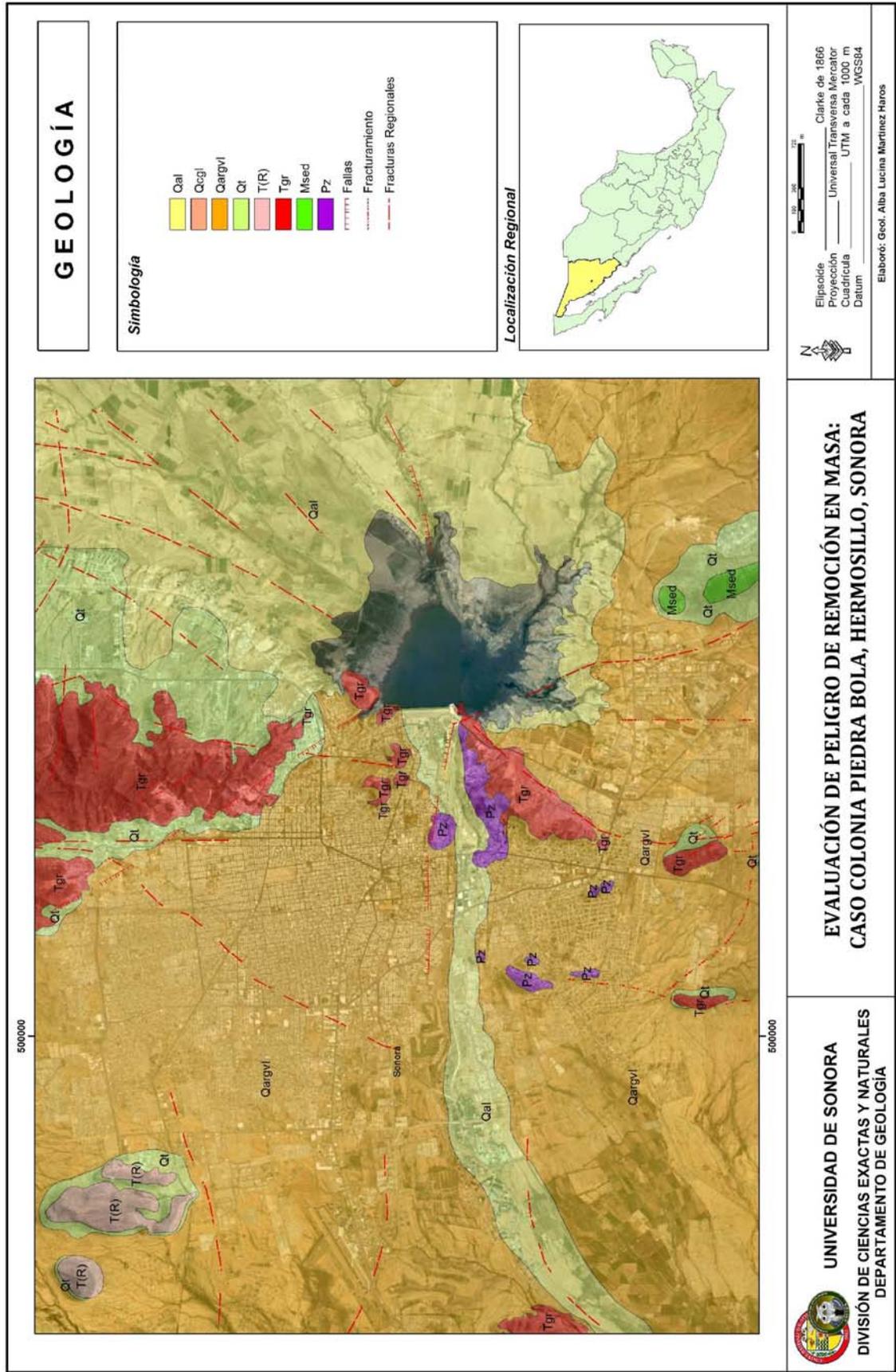
Foto 2. Cerro de La Campana

Las rocas paleozoicas que afloran dentro de la zona urbana en los cerros conocidos como de la Campana, Tecoripita y Lomas El Rayo (Figura 7, Sección A-A'), presentan una estratificación variable de mediana a gruesa, y en muchos casos son de aspecto masivo debido al metamorfismo de contacto que las afecta, llegando a considerarse como mármoles.

En lomas El Rayo, aproximadamente a 500 m del entronque de la carretera Mazatán-Mesa del Seri, las rocas son: de estratificación delgada a media con cavidades rellenas de minerales metamórficos (tremoliita-actinolita), que al intemperizarse dan el aspecto de un panal; en esta misma localidad se tienen aflorando brechas calcáreas alteradas y metamorfoseadas (Figura 6, Sección A-A').



Plano 7. ÁREAS GEOESTADÍSTICAS BÁSICAS DE HERMOSILLO



Plano 8. GEOLOGÍA

Uno de los minerales característicos de todas estas rocas es la wollastonita, la cual es muy abundante y en superficie de intempersimo se presenta en agregados radial-bacilares.

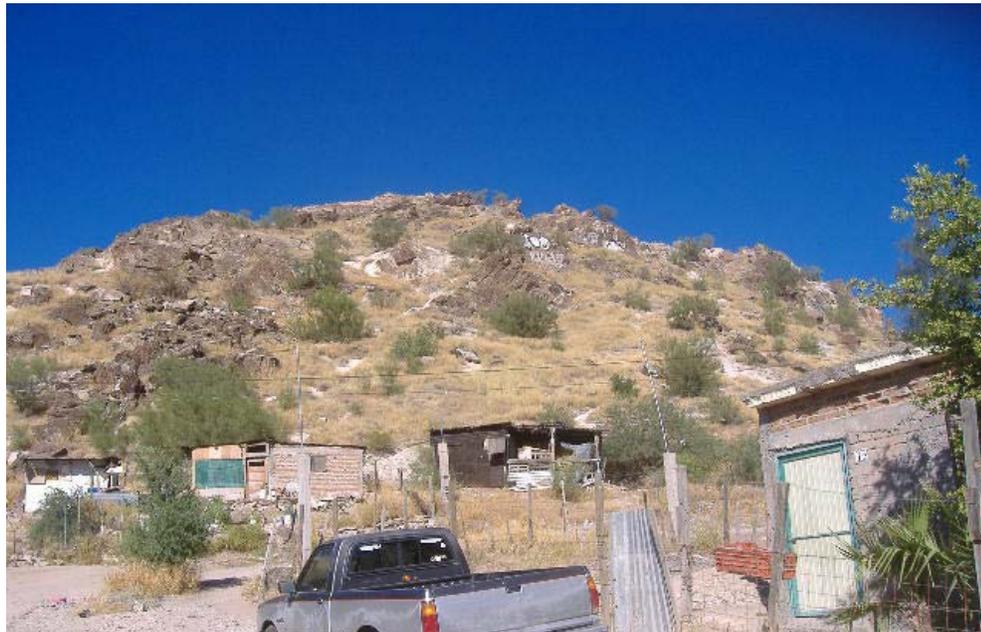


Foto 3. Cerro El Apache

El cerro Agualurca se ubica al SE del área de estudio y está compuesto principalmente de caliza color gris oscuro en estratos de 1 metro de espesor y una aureola de metamorfismo de contacto caracterizado por el alto contenido de epidota y wollastonita; sobreyaciendo al intrusivo granodiorítico.

Al suroeste de Calhidra de Sonora y al oriente de Sierra La Flojera, afloran calizas de color gris oscuro de estratificación masiva, con metamorfismo de contacto avanzado; en las cuales, más al sur de Calera Willard, se encontraron fusulínidos (Peiffer, 1979; Menicucci et al., 1982), por lo que se asigna toda esta secuencia al Pérmico temprano.

También en los cerros La Cementera (Foto 4), La Campana y El Apache (Foto 3), aledañas al sitio conocido como Vado del Río, en la zona urbana de Hermosillo, se tienen aflorando secuencias de pizarras carbonosas, mármoles carbonosos, cuarcitas y hornfels calcosilicatados. Coronado (2003), nombra a esta unidad La Cementera y les asigna una edad Paleozoico tardío (Figura 6, Sección A-A´). Morfológicamente son relieves de topografía abrupta con alturas relativas superiores a los 200 m (400 m.s.n.m.).

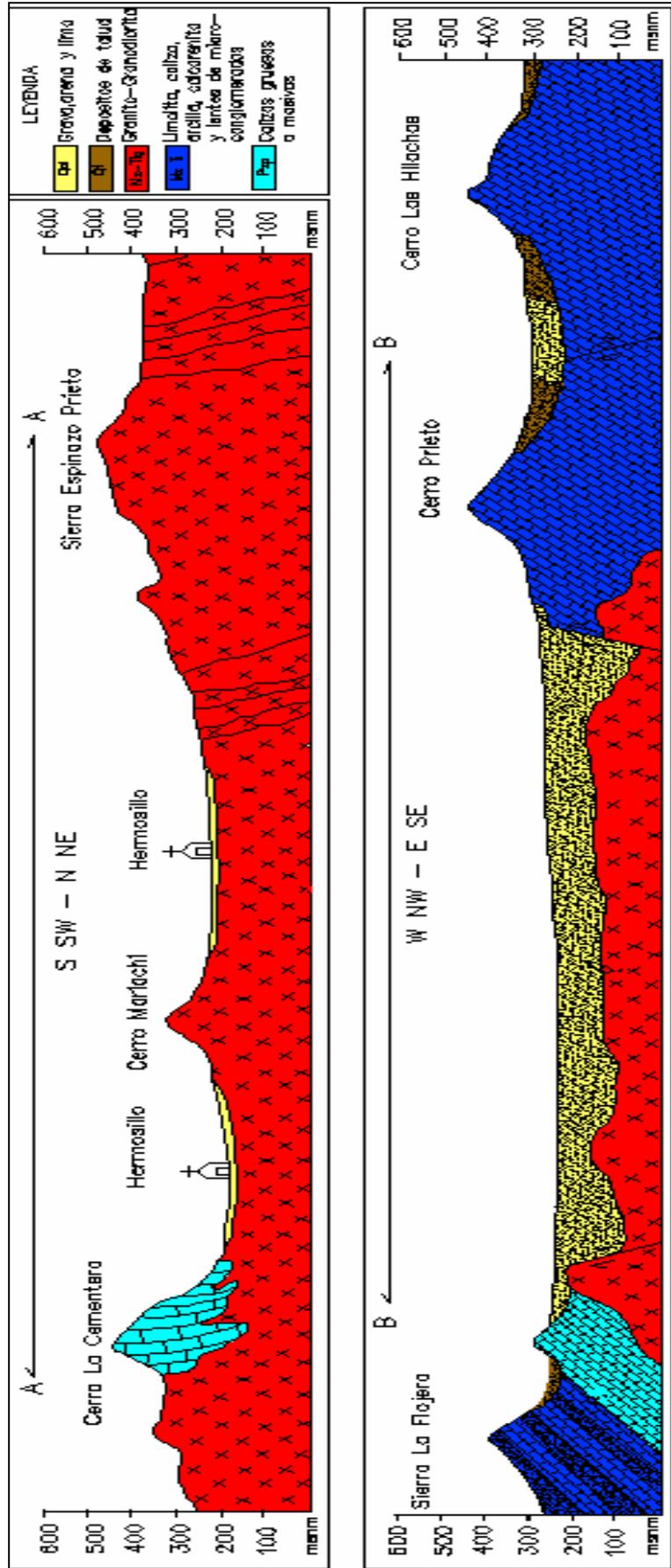


Figura 6. Sección Esquemática de la Geología de Hermosillo Modificado de Rodríguez-Castañeda, 1981



Foto 4. Cerro de La Cementera

Las actitudes estructurales varían entre el rumbo E-W con echado de 72° N hasta N 25° E y echado NW. El cerro de La Cementera (Fotos 4 y 5) forma un pliegue muy cerrado con su eje orientado 86° NE. Existe también fallamiento en varias direcciones, el principal es paralelo al eje del pliegue y forma un graben entre los cerros La Cementera y La Campana.



Foto 5. Cerro de La Cementera

Esta secuencia está afectada por la intrusión de la unidad litológica granito-granodiorita y por diques de pegmatita-aplita y andesita-diorita ("Intrusivo Bachoco", Foto 6).



Foto 6. Diques de pegmatita-aplita y andesita-diorita.



Mesozoico

Rocas sedimentarias

Las rocas en Sierra La Flojera, Cerro Prieto y C. Las Hilachas, se ubican a lo largo de la carretera que conduce a Mazatán (al SE de Hermosillo) consiste de calizas, limonitas, micro conglomerados, areniscas con estratificación cruzada y una alternancia de calizas y cuarcitas.

En Sierra La Flojera son calizas arcillosas de estratificación laminar con horizontes brechoides, localmente con estratificación graduada e interestratificada con limonitas, donde el rasgo característico de la secuencia son unos lentes y horizontes de microconglomerado. El estudio petrográfico reveló que éstos están constituidos por fragmentos de pedernal y cuarcita contenidos en una matriz micrítica, (Rodríguez, 1981). El tamaño de estos lentes varían de 0.20 m de espesor hasta 4.0 m, llegando a alcanzar varias decenas de metros de longitud.

En Cerro Prieto aflora una secuencia de caliza brechoide impura y cuarcitas. Las calizas son laminadas de color rojizo, en estratos delgados y con estratificación cruzada; presenta fracturas y zonas brechadas por pequeñas fallas. También se observa el microconglomerado que aflora en Sierra La Flojera, pero el tamaño de sus clastos es menor. Las cuarcitas varían de color gris a café rojizo, café y blanco; son de estratificación media a delgada y están muy fracturadas, lo que les da un aspecto similar al de las calizas. La secuencia que aflora en Cerro Las Hilachas es semejante a la descrita en C. Prieto y al S. La Flojera.

En esta secuencia carbonatada y clástica se encontraron pelecípodos en Sierra La Flojera, identificados como *Halobia sp.*, característica del Triásico medio al superior, y *Picatula sp.* La relación entre el Mesozoico y Paleozoico es difícil de establecer, debido a que el contacto entre esas rocas de diferente facies y edad se encuentra cubierto. Este contacto puede ser discordante (Figura 6, Sección B-B').

Cenozoicas

Rocas Intrusivas

Son rocas graníticas-granodioríticas que se encuentran aflorando principalmente en la Sierra del Espinazo Prieto en la parte norte de Hermosillo, con una orientación NW-SE (Foto 7). Estas rocas también ocurren en la zona urbana de Hermosillo, principalmente en los cerros El Mariachi, El Coloso, El Ranchito y hacia el sur del cerro de La Cementera y Piedra Bola (Sierra Tecoripita); además en el norte, este y noroeste de la Sierra Agua Lurca.

Se encuentran intrusionando a rocas paleozoicas y localmente en otras, están cubiertas por volcánicas y sedimentarias; su coloración es rosa, que varía en algunos lados de amarillo ocre a blanco (Foto 8). Se observan numerosas fracturas, los rumbos predominantes de estas estructuras son de N 5° W a N 55°W, con echados de 37° a 55° NE.



Foto 7. “Intrusivo Bachoco”, colonia El Coloso

El tamaño del grano varía de medio a grueso, en los bordes se presenta más fino, aumentando en tamaño hacia el centro del cuerpo. Su textura es de equigranular a inequigranular. Al microscopio se observan cuarzo, ortoclasa, horblenda, biotita, plagioclasa sódica y esfena, clasificándose como granodiorita con variaciones a tonalita y diorita (Rodríguez, 1981). Hacia la parte meridional de la Sierra Espinazo Prieto, el intrusivo contiene xenolitos de composición tonalítica.

Hacia el lado oriente de Hermosillo, existen diques pegmatíticos que se encuentran emplazados en cerros aislados. Al microscopio se observan cuarzos, feldespatos potásicos (ortoclasas) que forman cristales bien desarrollados hasta de 5 cm de diámetro, microclina, muscovita y minerales oscuros no identificables por estar alterados (Rodríguez, 1981). En los altos topográficos que están al borde de la Carretera Federal No. 15, en la parte meridional de la ciudad y salida a Guaymas, afloran granitos con cuarzo y ortoclasa en cristales bien desarrollados y abundantes. Este intrusivo está cortado por numerosos diques de composición principalmente básica.

Los diques se encuentran cortando al intrusivo que forma la Sierra Espinazo Prieto, formando un sistema de diques paralelos, cuya orientación preferencial es NW-SE y en menor proporción N-S, con una longitud de aproximadamente 11 km. Los diques se clasifican como lamprófidos, con una mineralogía constituida por plagioclasas intermedias (andesita-oligoclasa), horblenda, biotita y augita; como minerales secundarios calcita, clorita, cuarzo, hematita y magnetita (Rodríguez, 1981).



Foto 8. Contacto por intrusivo entre las rocas paleozoicas, “Intrusivo Bachoco” y diques.

Se piensa que el origen de los diques del área está asociado a la primera fase de la intrusión, seguida de una generación secundaria de magmas. Estos magmas se ubicaron por debajo del intrusivo principal y luego subieron a lo largo de fracturas de tensión, cuya distribución fue controlada por esfuerzos residuales relacionados con intrusiones tempranas (Carmichael et al., 1974). Se sugiere que el origen de los granitos está ligado al evento denominado Orogenia Laramide y el de los diques a una fase distensiva, que antecedió a la formación de las estructuras de “Basin and Range”.

Secuencia de Rocas Vulcanosedimentarias del Terciario

A la unidad litológica de riolita, toba riolítica y vitrófido (TmR-TR), Coronado (2003) la nombra informalmente como “Unidad Las Cuevitas”. Morfológicamente esta unidad se presenta como cerros de formas alargadas en mesetas, combinadas con formas redondeadas de topografía abrupta, pendientes suaves a muy fuertes y con alturas de hasta 250 m sobre el nivel del terreno (450 msnm). Los afloramientos mayores se localizan en los cerros Las Cuevitas y Colorado, en la porción norte (Foto 9 y Foto 10).

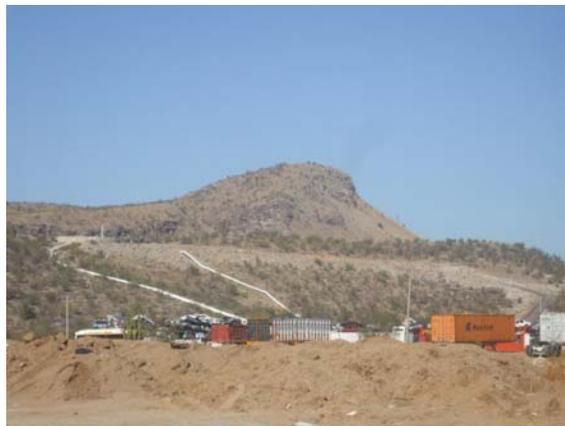


Foto 9. Cerro Las Cuevitas, rocas terciarias



Foto 10. Cerro Colorado, rocas terciarias

Estas rocas están pseudoestratificadas, con rumbos que varían entre N 45° E con echados 17° SE y N-S con echados 27° E. El fallamiento que las afecta es normal, con rumbo N 5° W y echado de 70° SW. Existe fracturamiento asociado al sistema de fallas y es notable su disposición vertical en esta unidad. En la base está un conglomerado de clastos de granito (“Intrusivo Bachoco”), Por lo que es lógico suponer que está depositado en discordancia sobre el intrusivo.

Las relaciones estratigráficas indican que esta unidad litológica corresponde al Terciario, posiblemente Mioceno. Además, su litología es muy similar a la Formación Lista Blanca de esa edad.

La litología indica un ambiente de formación tipo acumulación, durante los eventos volcánicos asociados a la tectónica de distensión ocasionada por la apertura del Golfo de California y parece estar relacionada al desarrollo de una amplia caldera que se extiende hacia el oeste y a profundidad.

Cuaternario

Corresponde a depósitos aluviales que cubren gran parte de la superficie de estudio; producidas por el acarreo y relleno de material no consolidado de arroyos y abanicos aluviales; consisten de arcillas, arenas y gravas, desde gránulos hasta cantos que rellenan las partes bajas.



Sedimentos

Arenas, gravas y limos: estos depósitos consisten principalmente de gravas mal clasificadas, arenas y limos, los cuales son productos de la erosión de las sierras que se encuentran en los alrededores y de materiales acarreados por los ríos. La composición de estos sedimentos es variable, conteniendo partículas y fragmentos de rocas principalmente intrusivas y sedimentarias.

Talud: están formados de clastos procedentes de las rocas intrusivas del área, en los flancos de la Sierra Espinazo Prieto (“El Bachoco”). El tamaño de los componentes es variable, desde bloques de varios metros hasta del tamaño de la arcilla.

Aluvión: está constituido esencialmente por arcillas y arenas. Las primeras por lo general corresponden a las llanuras de inundación de los Ríos Sonora y San Miguel, que forman las tierras que actualmente se emplean para cultivo. Las arenas están restringidas principalmente a los cauces, siendo su tamaño de fino a grueso y de composición variable. Se originan por el acarreo y relleno de material no consolidado en los cauces de arroyos y abanicos aluviales que rellenan las partes bajas.

III.3. Geología Estructural y Tectónica

Peña (2000), describe los principales rasgos geológico-estructurales que se manifiestan en la ciudad de Hermosillo, directamente relacionados a procesos ocurridos regionalmente, y que son:

- a) Fallamiento de bajo ángulo a finales del Pérmico. Este fallamiento es el más antiguo y presentan una dirección preferente de extensión (NE-SW).
- b) Intrusivos laramídicos terciarios que afectaron a toda la región.
- c) Una etapa distensiva comúnmente llamada Basin and Range, lo que posiblemente causó el emplazamiento de numerosos diques que afectan a la zona de estudio.

Este último evento es responsable de la geomorfología actual.

Peña (2000) presentó la Figura 7, en la cual cartografió los principales lineamientos en Hermosillo, encontrando tres direcciones preferenciales: N10°W, N30°-40°E y N70°-75°E (Plano 8. GEOLOGÍA).

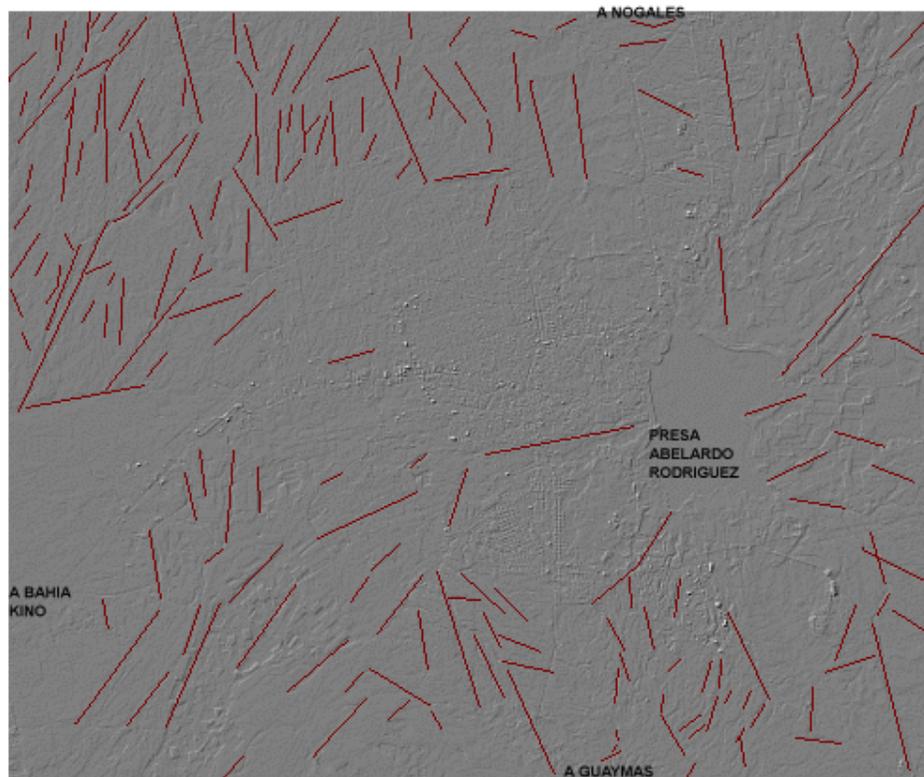


Figura 7. Filtro lineal laplace aplicado a la banda 1, con los principales lineamientos de la zona de estudio (Peña, 2000)

IV. PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA: CASO COLONIA PIEDRA BOLA

Como ya se mencionó anteriormente el área de estudio se localiza en la ladera centro-este de la Sierra Tecoricpita, en la Colonia Piedra Bola (Pedregal de la Villa), que se encuentra asentada hacia el sur de la ciudad de Hermosillo a espaldas de la Colonia Urbi Villas del Rey (Plano 9. LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO).

El área cuenta con un relieve irregular semi-escarpado hacia el oeste y una morfología más suave hacia el este, con cotas de elevaciones comprendidas entre los 225 a 308 metros (Plano 10. CURVAS DE NIVEL).

IV.1. Modelo de Elevación

Un modelo de elevación (ME) es una representación en forma y escala de un objeto real, en este estudio se utilizaron las curvas de nivel para recrear dicho modelo. Las Figuras 8 y 9 nos muestran el ME, donde se puede observar en qué lugares se encuentran las pendientes más abruptas; la inclinación del terreno es uno de los factores más importantes a considerar en los procesos de remoción en masa, pues de ella depende la energía y velocidad suministrada a la roca, suelos y/o detritos pendiente abajo; es decir, un aumento en la pendiente se traduce en un aumento en la energía cinética, mientras que un descenso de pendiente conlleva una menor energía cinética. En efecto, una elevada pendiente a lo largo de la ladera permite que el movimiento del bloque continúe, siempre que la energía suministrada sea mayor que la absorbida. Por lo contrario, si la pendiente disminuye, también disminuye la energía suministrada, por lo que el bloque podrá disminuir su velocidad llegando incluso a detenerse. El paso de caída libre a rebote y de éste a rodadura-deslizamiento está íntimamente relacionado con la variación en el ángulo de la pendiente de la ladera.

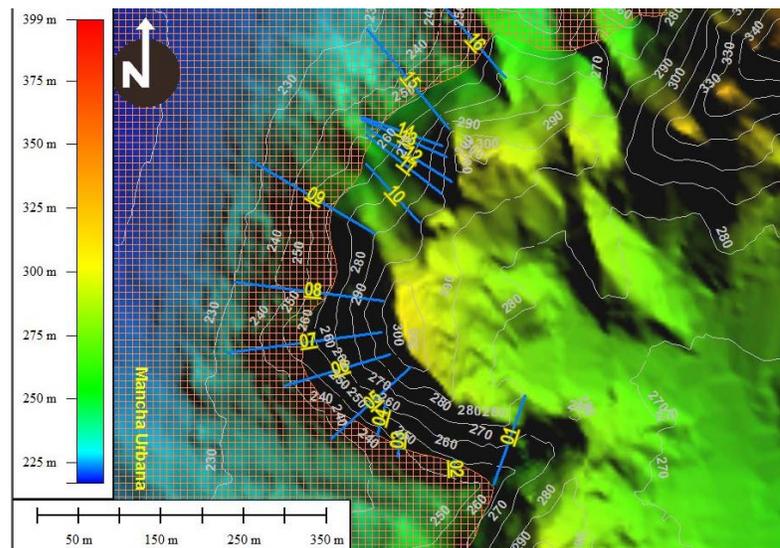


Figura 8. Modelo de Elevación, la línea amarilla indica donde inicia la zona urbana

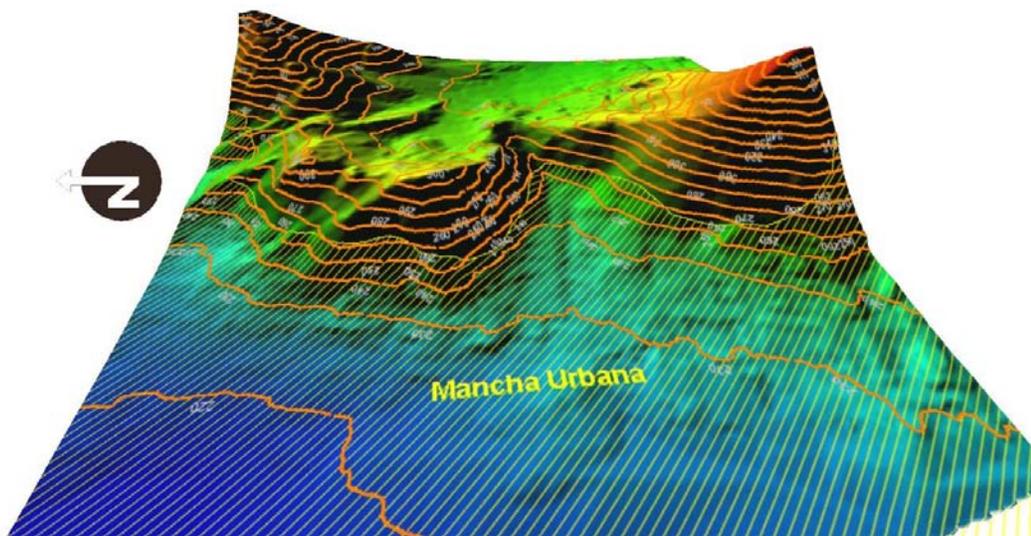


Figura 9. Modelo de Elevación viendo hacia el este

IV.2. Análisis de Fracturamiento Área Piedra Bola

Con el objeto de analizar las características de las rocas que pudieran favorecer la existencia de procesos de remoción en masa en el sitio de estudio, se realizó un análisis del fracturamiento en base al estudio estadístico de las diferentes familias de fracturas (RockWork 15) que existen en el área.

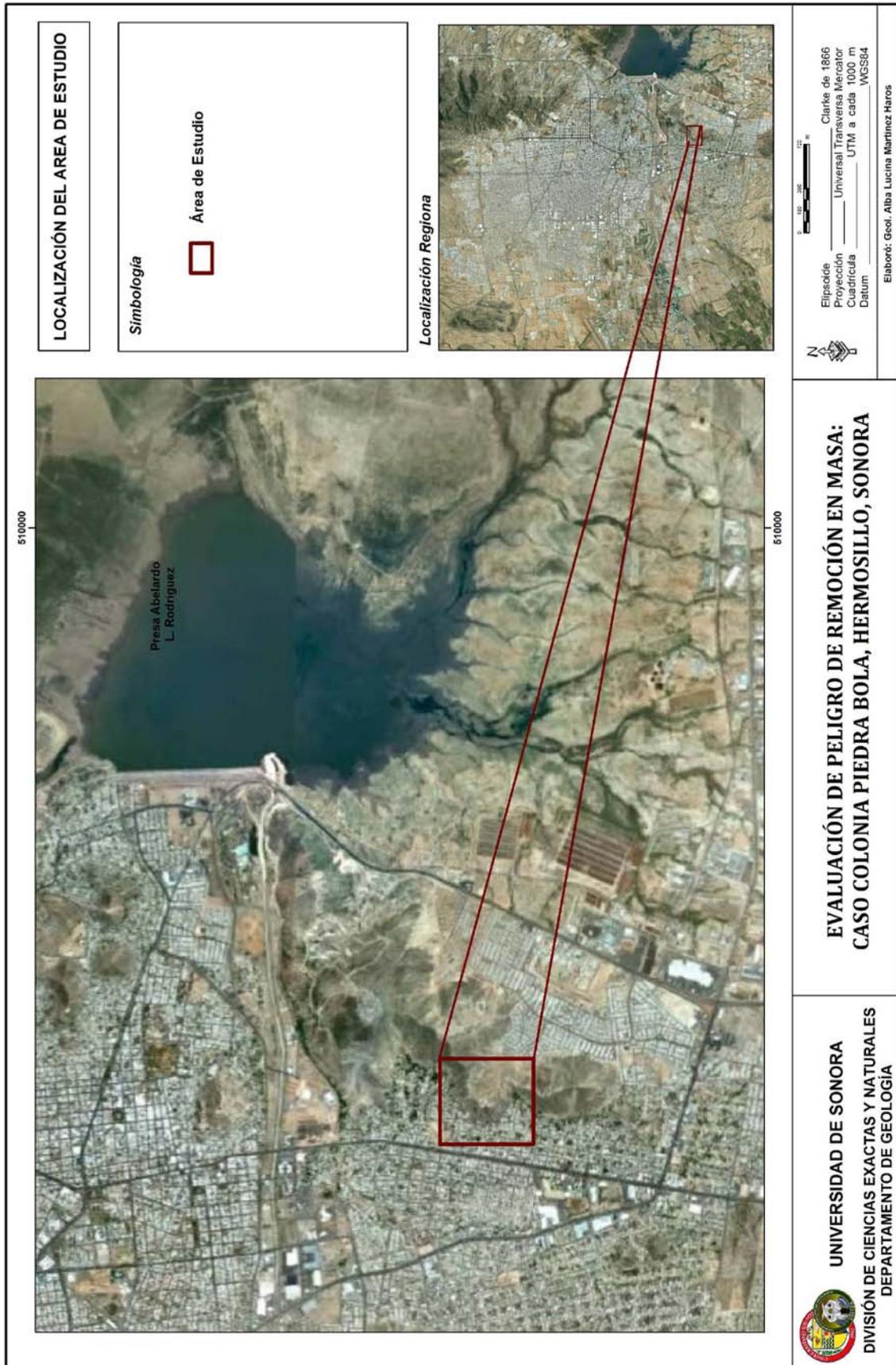
Para ello se realizó un levantamiento de fracturamiento en 6 sitios en el área de estudio, donde se observan mejor las estructuras; a continuación se muestra la Tabla 9. Familia de fracturas del sitio:

N	Este	Norte	Frac1		Frac2		Frac3		Frac4		Frac5		Frac6	
			Rumbo	Echado										
1	504690	3213792	60 NW	68NE	82 NE	16SE								
2	504910	3213516	70 NW	42 SW	28 SW	52 NW	60 SW	Vert	30 SE	35 SW				
3	504827	3213537	45 SE	31 SW	83 SE	Vert	60SE	24 NE	25SE	Vert				
4	504760	3213583	85 SW	35 SE	87 NW	Vert	67 SW	28 NW	25SE	Vert				
5	504745	3213646	10SE	54 SW	5SE	52SW	50 SW	Vert	85NW	76 SE	34SE	17 NE	68 SE	Vert
6	504834	3213857	25 NE	33NW	28 NE	16 NW	42 NW	11 SW	20NE	57 SE	42 NE	54 SE	25 NE	45SE
7	504890	3213976	20 NE	57 SE	27NW	44 NE	11 NW	Vert						
8	504722	3213682	25 SW	60SE	15NW	75SE								
9	504715	3213616	44 SE	26NE	25SW	60 SE								
10	505581	3213492	65 NE	35SW										

Tabla 9. Familia de fracturas del sitio

Estas fracturas fueron graficadas en Diagramas de Wulff y Schmidt (Figura 10) con el objetivo de analizar gráficamente sus distribuciones principales y estadísticamente sus concentraciones para estimar las familias de fracturas de mayor peligrosidad.

Estos análisis se presentan a continuación.



Plano 9. LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO



Plano 10. CURVAS DE NIVEL

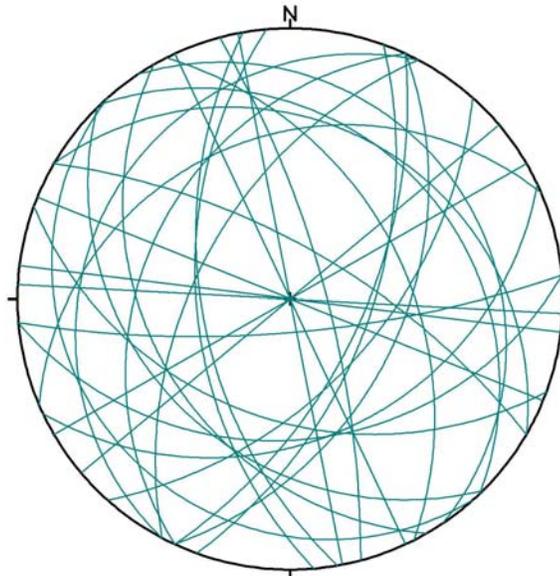


Figura 10. Red de Wulff con el total de fracturas en el área de estudio.

En la imagen de la Red de Wulff con el fracturamiento total del área de estudio resalta la existencia de una gran diversidad de direcciones de fracturas con inclinaciones desde verticales a 20 o 30 grados, sin una distribución preferencial.

En la Figura 11 se representan los polos de la totalidad de las fracturas y la dirección promedio de éstas, que es de NE70 con una inclinación de 60 grados con dirección NW.

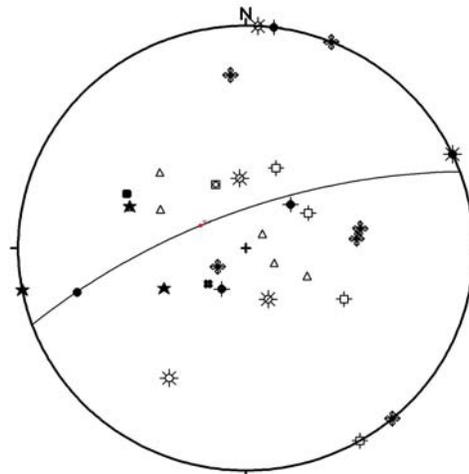


Figura 11. Polos del fracturamiento con un plano de dirección promedio de NE70 con inclinación 60° NW.

Los datos levantados se representan en la Figura 12, por medio de la red de Schmidt se permite definir estadísticamente familias relevantes de fracturas, de las que sobresalen:

Familia	Dirección	Echado
A	NE35	30 SE
B	NE5	Vertical
C	NW30	Vertical
D	NE70	Vertical
E	NW75	45 SW

Tabla 10. Direcciones y echados de la familia de fracturas

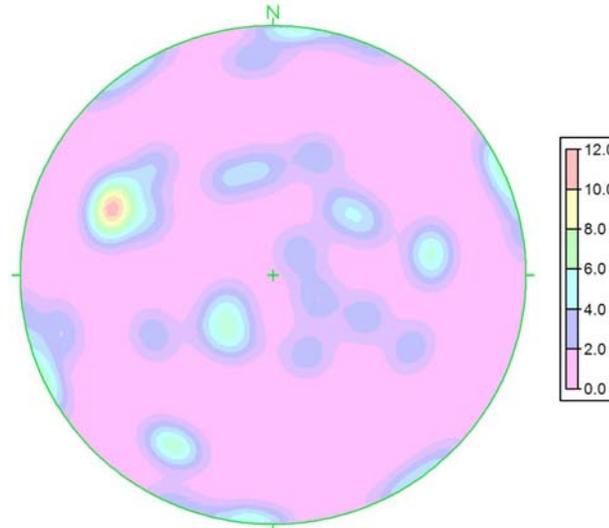


Figura 12. Red de Schmidt donde se presentan las concentraciones de los polos de las direcciones principales de fracturamiento en el área de estudio.

Por último, a fin de analizar la peligrosidad de las familias de fracturas se ubicaron las direcciones presentes en cada sitio, en una imagen de ella que se presenta en la Figura 13.

Los sitios 2, 3, 4, 5 y 6 son los que presentan mayor grado de peligro porque las direcciones del echado del fracturamiento coinciden con las direcciones de las pendientes.

Los sitios 1, 7, 8 y 9 presentan direcciones de fracturamiento orientadas en el sentido contrario a la dirección del echado, pero con la característica de tener dirección de rumbo a la pendiente y echados no muy pronunciados, lo que pudiera provocar el desprendimiento de cuñas de roca en dirección a la pendiente. Este fenómeno se consideran de peligrosidad media.

El Plano 11. ESTRUCTURAS se generó gracias a la imagen de satélite donde se digitalizaron las principales estructuras que coinciden con la Figura 13, donde se muestra la distribución de la familia de fracturas.



Plano 11. ESTRUCTURAS



Figura 13. Distribución de familias de fracturas en el área de estudio

IV.3. Planos de Peligro de Caída de Roca

Para elaborar los planos de peligro se identificó el tipo de procesos de remoción en masa en el sitio; para el Caso Colonia Piedra Bola, este tipo corresponde al desplome o caída de roca, estos procesos son causados por materiales débiles e intemperizados sujetos a fracturamiento. En dicho sitio se observa que el fracturamiento no sigue una constante, en cuanto a dirección preferencial de estructuras, pero en algunas de las secciones el fracturamiento es hacia la pendiente de la ladera aumentando el riesgo de un desplome.

Además, los eventos de precipitación contribuyen indirectamente a los PRM y en la mayoría de los casos se reportó que cada evento sucedía después de una lluvia, esto muestra que el agua reduce la fricción entre las superficies de las rocas y el suelo, provocando el desplome de rocas adyacentes. También se debe de considerar que Hermosillo se encuentra en una zona moderada-altamente sísmica, aunque no se ha reportado ninguna caída por consecuencia de



un sismo en el área, y por último, la excavación, el incremento de peso y la vibración de la ladera o al pie de ésta, determinan las condiciones ideales para la ocurrencia del fenómeno.

La construcción del Plano 12. CAÍDA DE ROCA A se realizó utilizando polígonos irregulares siguiendo las condiciones del Formato Para la Estimación del Peligro de Proceso de Remoción en Masa (Anexo A), utilizada por CENAPRED. Este formato indica cuales son los parámetros que se deben considerar para cuantificar un evento de proceso de remoción en masa; estos parámetros son los factores topográficos, históricos, geomorfológicos, ambientales, geotectónicos y poblacionales del área de estudio de acuerdo a los parámetros registrados en el formato, en este plano los resultados que arrojo el formato con respecto al nivel del peligro fueron de Alto a Moderado (Tabla 11).

El Plano 13. CAÍDA DE ROCA B a diferencia de Plano 12. CAÍDA DE ROCA A se elaboró mediante una cuadrícula de 10x10 metros, con un valor numérico asignado por celda, definido arbitrariamente a cada cuadrícula (1 al 5, de muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, respectivamente) dependiendo de las características de la pendiente de la ladera, la ocurrencia de la roca (si presentaba evidencia de algún movimiento) entre otros datos. El Peligro se jerarquizó Muy Bajo, Bajo, Moderado, Alto y Muy Alto.

El Plano 15. AGEB's, áreas geoestadísticas básicas se elaboró con la finalidad de conocer la distribución de la población en el área, los polígonos que le corresponden al área de estudio son 260300001273- A con una población total de 1587 personas y el 260300001219-5 con una población total de 4197.

IV. 4. Secciones

Se levantaron 16 secciones en total (Plano 14. SECCIONES), donde se muestran las características descritas en el Formato Para la Estimación del Peligro de Proceso de Remoción en Masa, 13 de éstas reasentan las condiciones ideales para la caída de roca y en 3 se tiene evidencia de ello. A continuación se presentan la Tabla 12. Coordenadas de Secciones y Tabla 13. Generales de Secciones:



Sitio	Este	Norte	RL	Total	Nivel de Peligro	Observación
Sección_01	504897	3213588	275	8.6	Alto	Nos encontramos en un sitio de peligro alto a la caída de roca. En el lugar se observan un total de 4 casas las cuales serían afectadas en caso de que la roca cayera. Distancia aproximada de 70 metros.
Sección_02	504838	321482	256	9.1	Alto	Se tiene registro de una roca que cayó 2003 dentro del cerco de la propiedad.
Sección_03	504769	3213502	256	8.7	Alto	Se tiene registro de una roca que rodó durante la temporada de agua (Julio-Agosto) de 1987.
Sección_04	504754	3213565	244	9.1	Alto	Se observaron 3 rocas en el patio de la casa, las cuales cayeron en momentos de lluvia.
Sección_05	504760	3213583	278	8.6	Alto	Nos encontramos en un sitio de peligro alto a la caída de roca. En el lugar se observan un total de 6 casas las cuales serían afectadas en caso de que la roca cayera. Estas casas están a una distancia aproximada de 65 metros de estas rocas.
Sección_06	504722	3213614	278	8.3	Alto	Sitio de peligro moderado a la caída de roca. En el lugar se observan un total de 8 casas las cuales serían afectadas en caso de que la roca cayera. Distancia aproximada de 60 metros.
Sección_07	504747	3213655	293	7.5	Moderado	Sitio de peligro moderado a la caída de roca. En el lugar se observan un total de 10 casas las cuales serían afectadas en caso de que la roca cayera. Distancia aproximada de 70 metros.
Sección_08	504725	3213694	282	7.5	Moderado	Sitio de peligro moderado a la caída de roca. En el lugar se observan un total de 18 casas las cuales serían afectadas en caso de que la roca cayera. Distancia aproximada de 110 metros.
Sección_09	504706	3213799	263	9.1	Alto	Sitio de peligro alto a la caída de roca. En el lugar se observan un total de 8 casas las cuales serían afectadas en caso de que la roca cayera. Distancia aproximada de 60 metros.
Seccion_10	504788	3213795	286	7.7	Moderado	
Seccion_11a	504819	3213825	286	8.0	Moderado	
Seccion_11b	504807	3213834	283	7.2	Moderado	
Seccion_12	504831	3213834	294	8.3	Alto	
Seccion_13a	504829	3213868	302	9.0	Alto	Sitio de peligro Alto a la caída de roca. En el lugar se observan un total de 12 casas las cuales serían afectadas en caso de que la roca cayera. Estas casas están a una distancia aproximada de 80 metros de estas rocas
Seccion_13b	504829	3213868	302	9.0	Alto	Sitio de peligro Alto a la caída de roca. En el lugar se observan un total de 12 casas las cuales serían afectadas en caso de que la roca cayera. Distancia aproximada de 80 metros.
Seccion_14	504822	3213874	279	8.6	Alto	
Seccion_15	504845	3213872	298	9.0	Alto	
Seccion_16	504890	3213976	266	7.5	Moderado	Sitio de peligro moderado a la caída de roca. En el lugar se observan un total de 10 casas las cuales serían afectadas en caso de que la roca cayera. La distancia entre casas y rocas es de 50 metros.

Tabla 11. Resultados del peligro de procesos de remoción en masa en las secciones

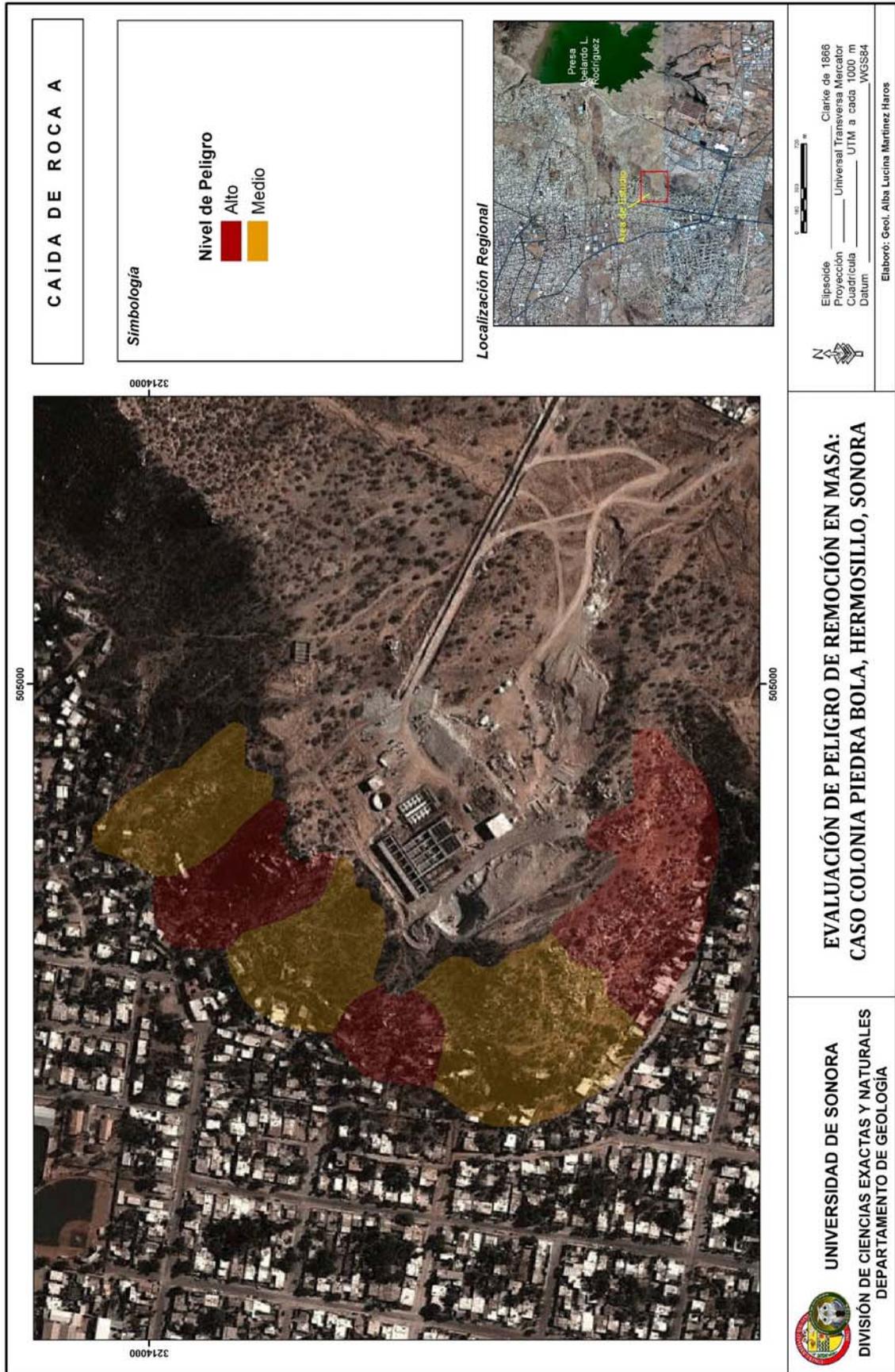


Sección	X Inicial	Y Inicial	Z Inicial	X Final	Y Final	Z Final
Sección 01	504929.0	3213560.0	278.0	504872.0	3213457.0	253.0
Sección 02	504838.4	3213504.9	261.6	504837.8	3213464.5	247.3
Sección 03	504773.6	3213544.5	262.4	504769.8	3213496.4	244.6
Sección 04	504755.4	3213569.4	271.4	504741.8	3213518.2	243.2
Sección 05	504785.7	3213612.2	300.4	504686.7	3213521.7	237.4
Sección 06	504774.8	3213631.2	303.7	504599.8	3213579.9	234.0
Sección 07	504770.7	3213655.9	306.7	504509.8	3213622.3	225.9
Sección 08	504759.6	3213691.7	302.4	504553.5	3213717.9	227.5
Sección 09	504746.0	3213771.0	281.0	504587.0	3213863.0	227.0
Sección 10	504800.7	3213783.0	292.1	504724.2	3213870.3	254.3
Sección 11	504831.1	3213815.8	292.0	504730.5	3213894.0	249.0
Sección 12	504838.2	3213835.7	297.3	504730.9	3213902.2	247.2
Sección 13	504843.6	3213861.0	301.4	504726.1	3213913.5	244.0
Sección 14	504838.5	3213869.3	299.0	504716.2	3213912.7	243.9
Sección 15	504834.0	3213901.0	286.5	504716.0	3214042.5	228.2
Sección 16	504901.9	3213962.5	271.1	504787.9	3214096.3	234.3

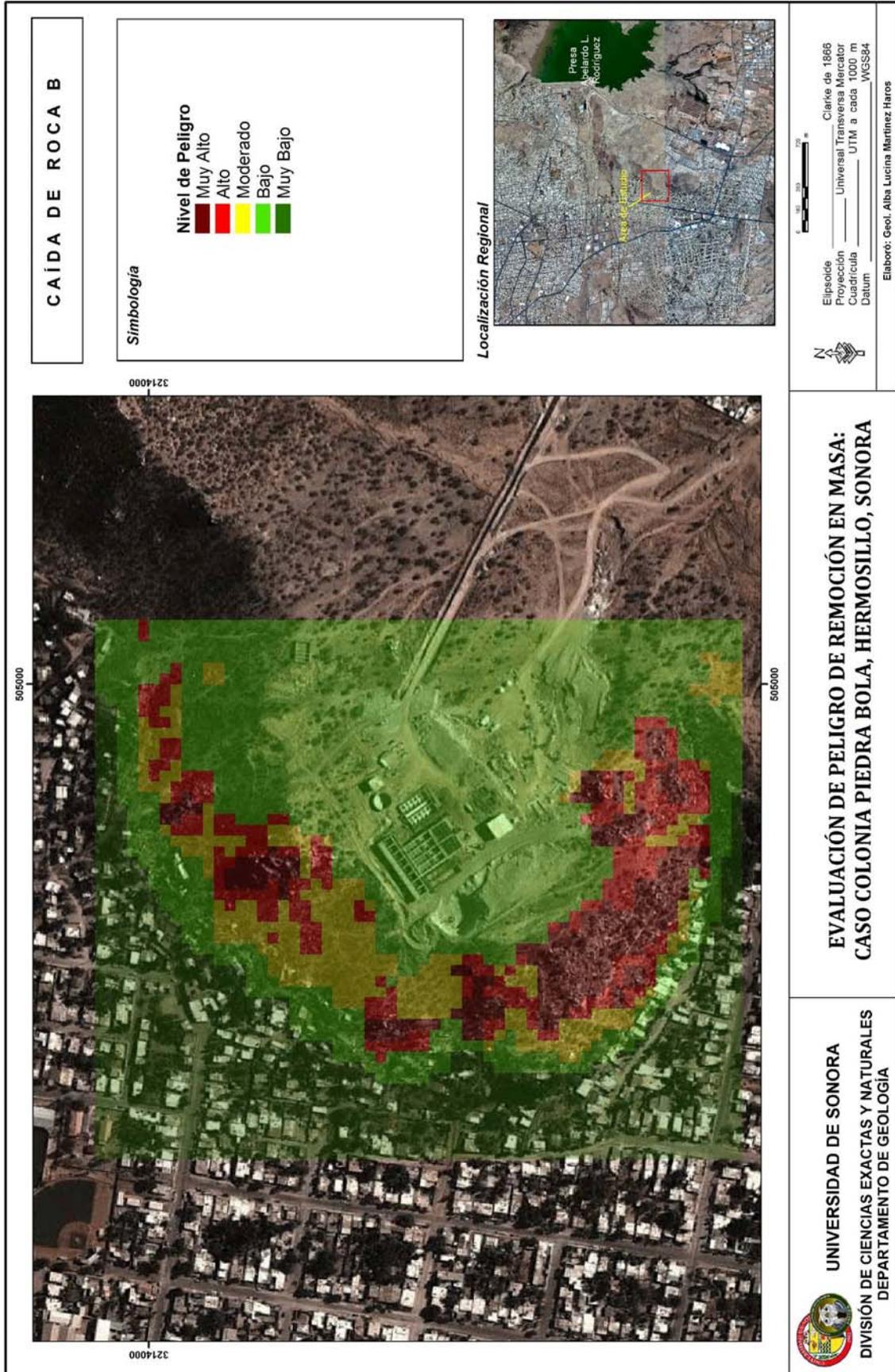
Tabla 12. Coordenadas de secciones

Sección	Distancia línea recta (m)	Distancia superficial (m)	Diferencia vertical (Inicio-Final)	Azimut	Inclinación (°)	Max. pendiente en el recorrido (°)	A lo largo del recorrido (m)
Sección 01	117.2	120.9	25.2	208°47'8.7"	-12.12	24.93	76.1
Sección 02	21.2	22.7	14.3	177°00'40.8"	-20.63	28.27	20.7
Sección 03	31.8	34.1	17.9	187°35'6.9"	-20.6	20.6	4.1
Sección 04	41.4	48.9	28.2	194°26'1.8"	-30.69	47.8	10.3
Sección 05	128.5	144.5	63.0	227°39'44.5"	-25.6	41.26	32.2
Sección 06	136.8	238.5	69.7	253°08'23.8"	-23.8	35.17	47.8
Sección 07	188.5	201.8	80.8	262°2'23.0"	-19.73	37.49	7.5
Sección 08	188.5	203.9	74.8	277°06'5.0"	-20.54	37.88	55.9
Sección 09	183.1	191.6	52.5	301°37'52"	-16	28.9	64.2
Sección 10	116.1	122.7	37.8	318°48'16.3"	-18.05	30.01	2.5
Sección 11	249.0	127.8	43.0	308°02'38.7"	-18.58	25.66	29.6
Sección 12	126.2	136.3	50.1	301°50'12.0"	-21.64	32.28	17.1
Sección 13	128.7	142.2	57.4	294°03'59"	24.03	38.52	17.1
Sección 14	129.8	143.4	51.1	289°34'40.8"	-22.98	47.41	11.2
Sección 15	157.9	172.1	58.4	320°49'51.0"	-19.6	50.46	8.3
Sección 16	166.3	171.8	36.8	319°50'42.8"	-12.4	28.21	30.8

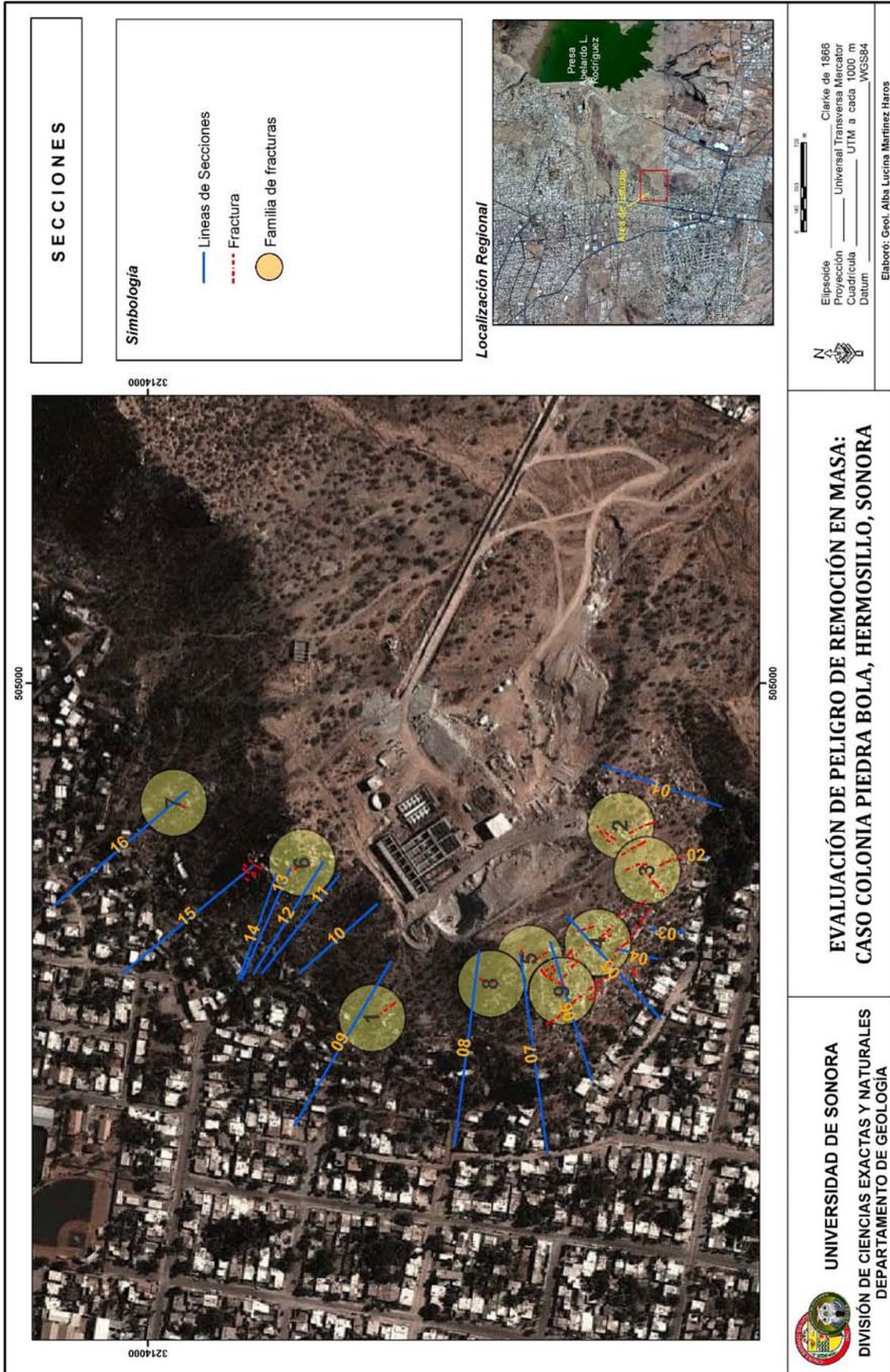
Tabla 13. Generales de secciones



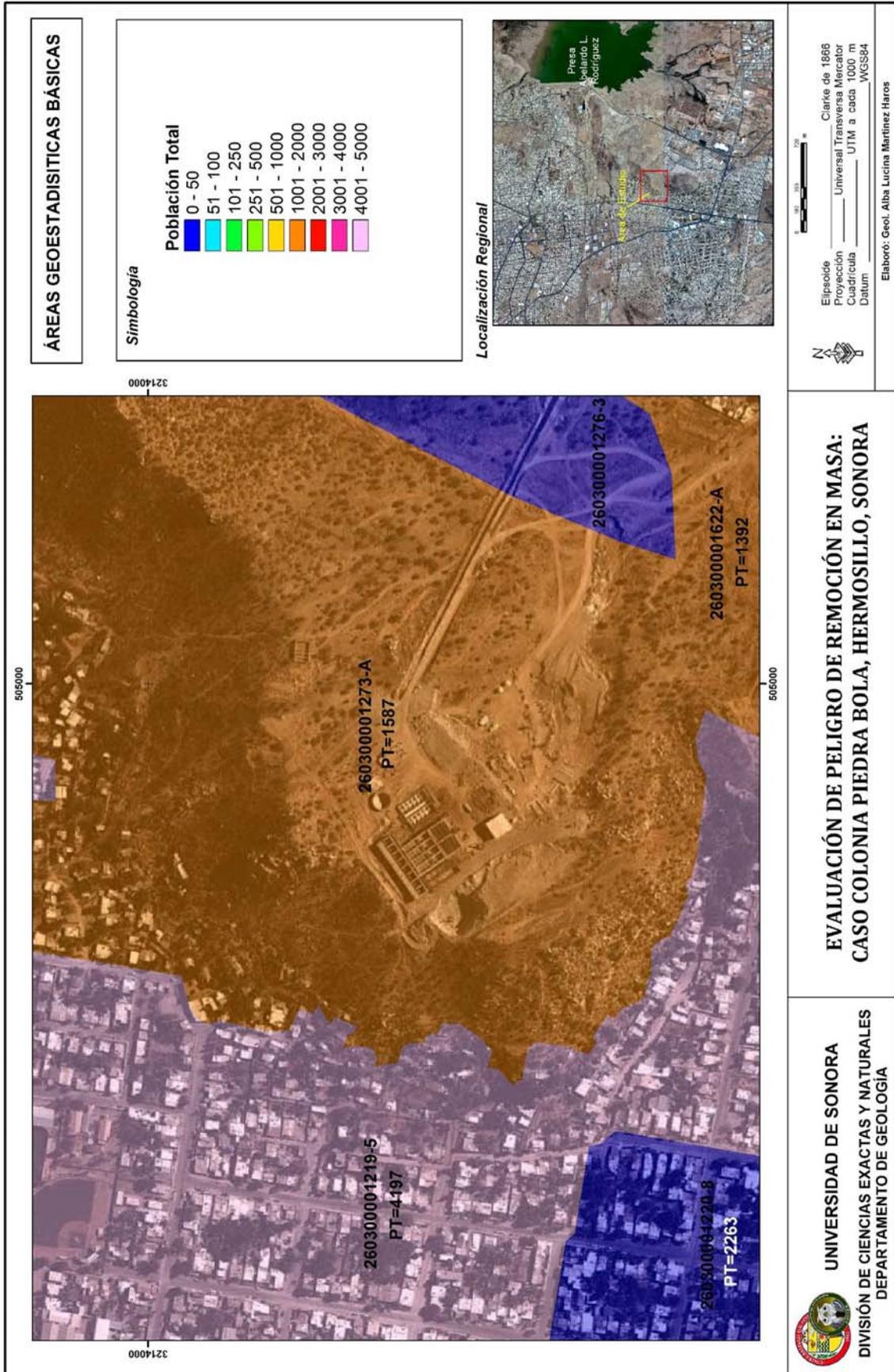
Plano 12. CAÍDA DE ROCA A



Plano 13. CAÍDA DE ROCA B



Plano 14. SECCIONES



Plano 15. ÁREAS GEOESTADÍSTICAS BÁSICAS



V. ANALISIS DE RIESGOS

El análisis de riesgos se elaboró cruzando la información del Plano 15. ÁREAS GEOESTADÍSTICAS BÁSICAS del área de estudio con los temas del Plano 12. CAÍDA DE ROCA A y Plano 13. CAÍDA DE ROCA B, del cruce de la información se obtuvieron los siguientes resultados.

En el primer caso de Caída de Roca A y AGEB's se obtuvo una afectación de por lo menos 11 personas en peligro alto y 20 personas con peligro medio (Tabla 14 y Plano 16).

En el caso de Caída de Roca B y AGEB's el resultado fue de 28 personas en peligro muy alto-alto y 120 personas en peligro moderado (Tabla 15 y Plano 17).

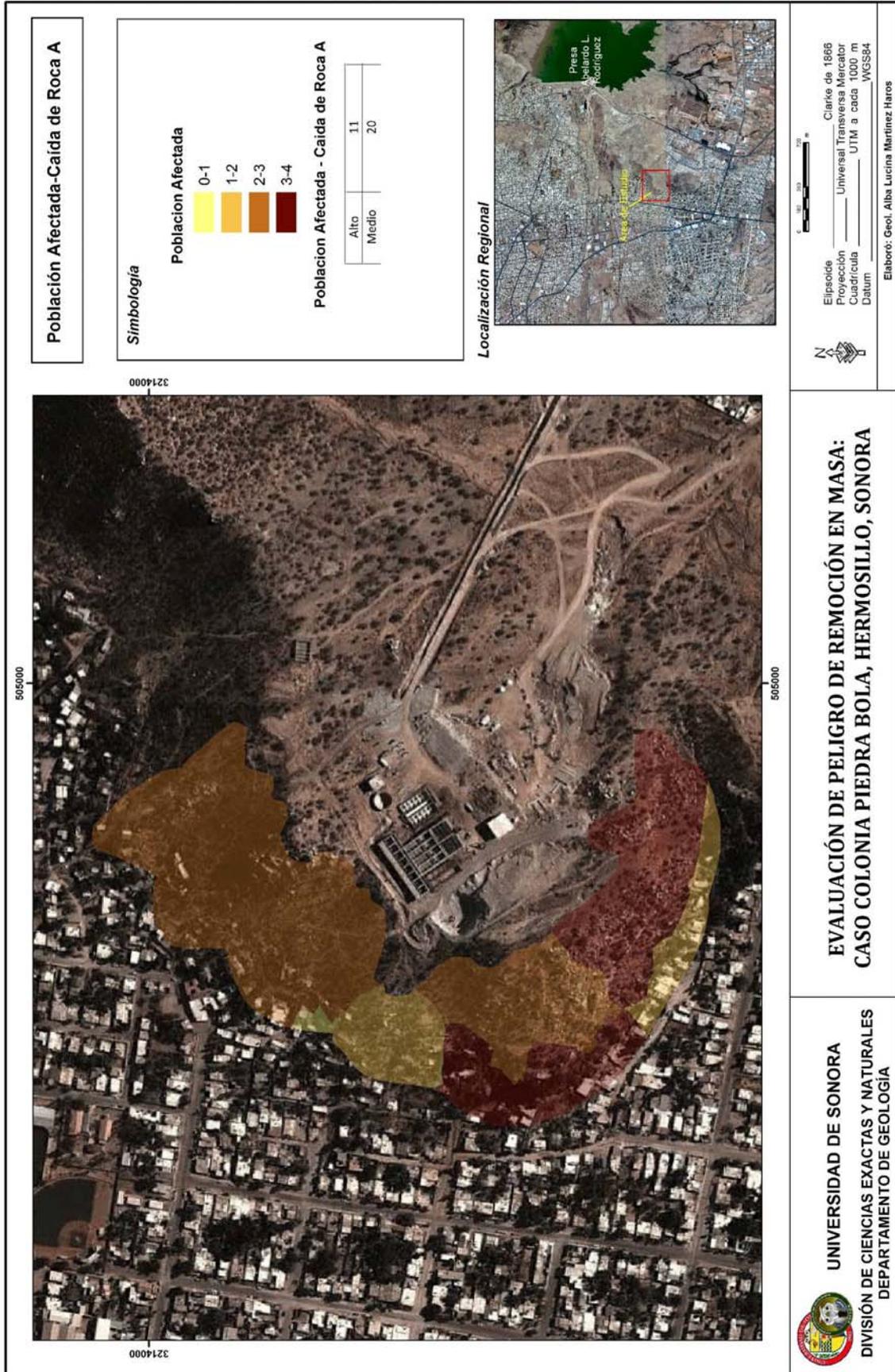
Peligro	Población Afectada
Alto	11
Medio	20
Total	31

Tabla 14. Población afectada en el plano caída de roca A

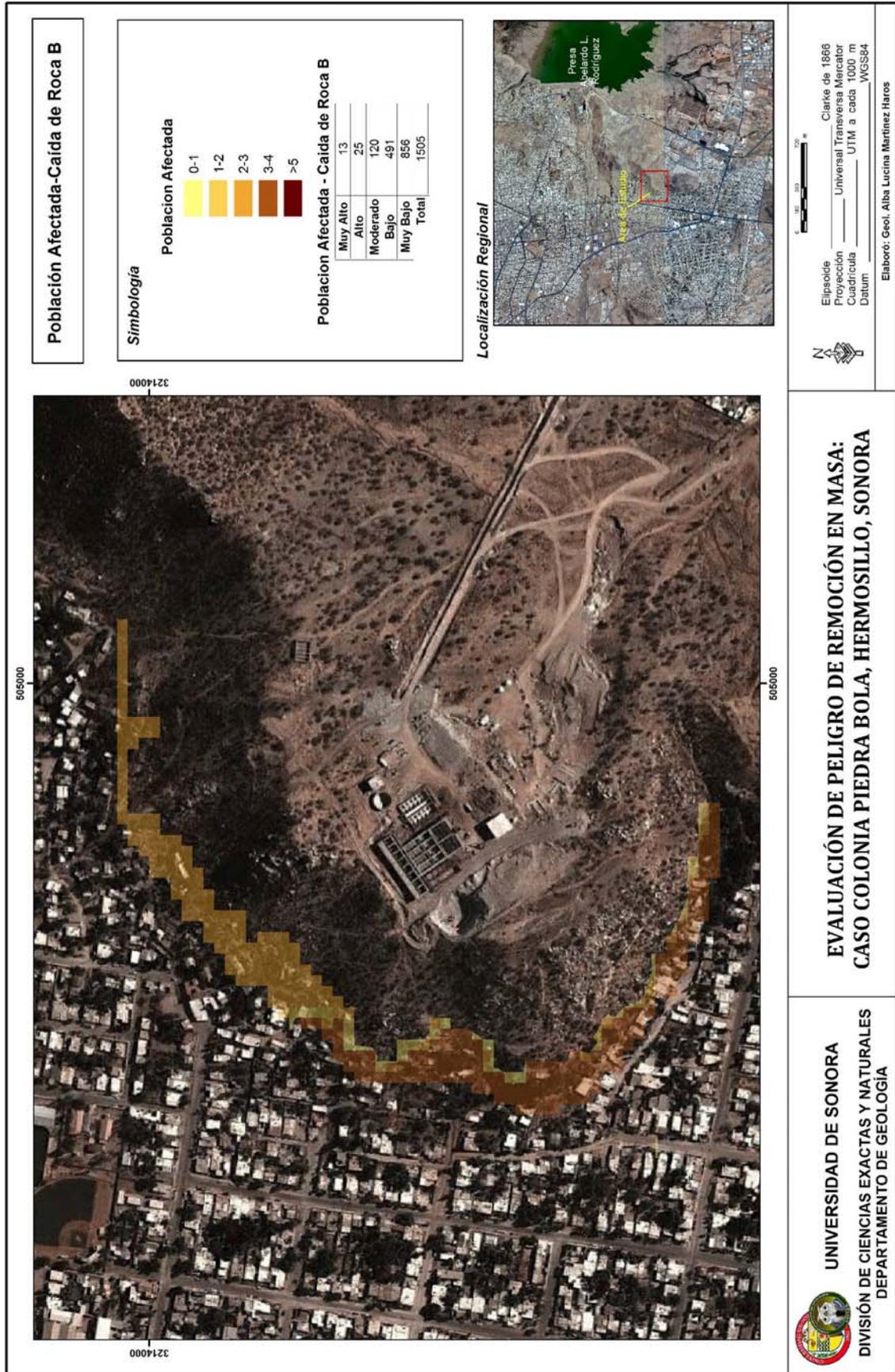
Peligro	Población Afectada
Muy Alto	13
Alto	25
Medio	120
Bajo	491
Muy Bajo	856
Total	1505

Tabla 15. Población afectada en el plano caída de roca B

Es importante destacar que el tipo de resultado varía debido a que la media del área en los planos de caídas de rocas es distinto como se puede observar en cada plano (12 y 13). Además, como se observa en la Tabla 14 tenemos una población afectada relativamente baja porque solamente se tomaron dos niveles de peligro (de alto a medio). En el caso de la Tabla 15, se usaron 5 niveles del peligro.



Plano 16. POBLACIÓN AFECTADA A



Plano 17. POBLACIÓN AFECTADA B



VI. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Las caídas de roca en la ladera del Cerro de la Piedra Bola se han presentado con más frecuencia en la parte sur, esto se deba a las condiciones de la pendiente de la ladera y al fracturamiento en el área.

En el área de estudio se encontraron 3 casos documentados de caída de roca en diferentes periodos sin consecuencias graves, estos eventos se presentan con mayor frecuencia en época de lluvias (según el comentario de los colonos en la entrevista realizada para este trabajo), en esta evaluación se considera que las aguas derivadas de la lluvia que bajan por la ladera o que caen sobre la roca y suelo disminuyen la fricción entre la superficies de las rocas y/ó que diluyen los materiales que se encuentran en las fracturas (arenas, arcillas, caliche, etcétera), provocando el movimiento de las rocas ladera abajo.

Por primera vez en la ciudad de Hermosillo se elaboro una microevaluación de un sitio con peligro de caída de roca, que presenta diversos factores a considerar en el análisis, como los factores climáticos (lluvia), geológicos, geomorfológicos, topográficos y antrópicos que pueden causar un cambio potencial en las fuerzas actuantes en las rocas y en el suelo del sitio de estudio, el resultado es la afectación a la población e infraestructura ladera abajo. Los parámetros tomados en cuenta en este estudio fueron:

- a) Intemperismo y erosión
- b) Fracturamiento
- c) Lluvia
- d) Tiempo
- e) Construcción en la ladera

a) Intemperismo y erosión

Los procesos de intemperismo y erosión expuestos en el área de estudio causan la fragmentación de la roca, aislando bloques de tamaños que varían entre las decenas de metros hasta los centímetros, este material provoca que las laderas se rellenen de materiales sueltos que en su momento pueden ser precursores de un proceso de remoción en masa.

b) Fracturamiento

El fracturamiento es un indicativo de las fuerzas distensivas y compresivas a las que se ha expuesto un área en específico. En este caso, el fracturamiento en su mayoría de tipo normal ha sido resultado de movimientos regionales y no locales (no se encontró evidencia de evento



local). Agravado por la modificación y el aumento de peso de la ladera en la construcción de casa habitación y en caminos.

c) Lluvia

El agua de lluvia funciona como un aditivo para las superficies de contacto entre las rocas y el suelo que disminuye la fricción entre ellas. Estas lluvias causan escurrimiento ladera abajo, que al combinarse con la inclinación de los taludes y el material suelto sobre éstos, provocan la caída. En las pendientes con inclinación mayor a los 20°, el flujo de agua de lluvia proveniente de los eventos de temporada, alcanzan velocidades superiores a los 1.5 m/s. A velocidades mayores, se puede presentar el fenómeno de socavación, que desestabilizan las estructuras de roca, ya que, al remover el material acumulado en las laderas generan en consecuencia la caída de roca ladera abajo.

d) Tiempo (período de retorno)

Nos referimos a la probabilidad de que un evento de caída vuelva a presentarse en el área; aunque inferimos que la probabilidad de caída de roca aumenta cuando llueve, no se tiene un análisis formal de los periodos de retorno entre la lluvia y la futura roca en caer.

En algunas ocasiones es el material más pequeño de la parte alta de la ladera el que cae hacia abajo, aumentando el peso en la parte media de la ladera, y en la próxima lluvia este peso acumulado en la parte media provoca la caída de una roca mas grande, generando un fenómeno dominó. En otros casos, las rocas grandes que están en contacto directo con la superficie caen a velocidades de más de 1 m/s de la parte alta a la parte media (o más abajo) de la ladera, debido a la inestabilidad que fue causada por el arrastre del material fino de la base de la roca que cae en eventos anteriores.

e) Construcción en la ladera

La construcción no regulada en las laderas es generalmente un problema grave para los gobiernos, las personas se fincan en un sitio sin conocer cuáles son las características topográficas, geológicas e hidrológicas de zona, y mucho menos utilizan materiales adecuados para la construcción. Cuando sucede la caída de roca que afecta a una casa habitación o infraestructura la persona en algunos casos deciden, dependiendo de la gravedad del fenómeno, si es viable construir de nuevo en el área afectada, remover la roca o dejarla en el sitio que cayó volviéndola parte del entorno. Solo en casos catastróficos las ocasiones en las personas afectadas se mudan del lugar.



Como resultados obtuvimos dos planos de peligros que nos indican las zonas más susceptibles a la caída de rocas en la colonia Piedra Bola.

Recomendamos ampliamente un monitoreo constante en el área de estudio, en especial en época de lluvia, esto es para conocer la evolución de las rocas que están susceptible a caer, estos nos ayudaría a establecer si dichas rocas están presentan algún tipo de movimiento sobre la pendiente de la ladera, además nos proveería de información de la trayectoria del movimiento, útil para poder elaborar análisis de periodos de retorno en la zona. Este monitoreo podría realizarse en una primera fase como visitas mensuales principalmente en los sitios denominamos como Sección 02, 03, 04, 05, 06, 08 11 y 13.



VII. MEDIDAS DE MITIGACIÓN O PREVENCIÓN DE CAÍDA DE ROCA

Los procedimientos sugeridos para la prevención y/o mitigación de caída de roca en las zonas estudiadas dependerán primordialmente de las condiciones y características de cada estructura en cuestión. Dada la amplia gama de condiciones físicas y estructurales de las áreas en cuestión, se recomienda la implementación de una combinación de distintas soluciones. Cada solución deberá formularse a partir de un diseño geotécnico analizando todos los parámetros pertinentes y datos obtenidos en campo.

Las medidas de mitigación son:

- Reubicación de los colonos
- Cementación o anclaje de las rocas que se detectaron con posibilidad de caída, a continuación se citarán diferentes métodos de prevención y mitigación de caída de roca para las zonas seleccionadas de acuerdo al análisis de riesgos planteado anteriormente:
 - Mallas de contención
 - Modificación del talud de la trayectoria de la estructura de roca (áreas de captación)
 - Instalación de atraques de estabilidad

VII.1. Mallas de contención

Consiste en un sistema de módulos funcionales instalados en secuencias escalonadas sobre la pendiente de la ladera. Las mallas pueden tener un uso preventivo o interceptor. Las mallas están ancladas sobre soportes o fundaciones que proporcionen adherencia al suelo.

El tipo de malla y fundaciones a utilizarse dependerán de las condiciones físicas en las que se encuentran las estructuras de roca propensas a caídas sobre la ladera.

- Tamaño promedio de la roca en la estructura analizada
- Distancia entre la roca y la mancha urbana en riesgo
- Pendiente de la trayectoria
- Energía cinética de la roca en el contacto con la malla

El uso de las mallas en general es restringido, debido al costo elevado del material e instalación, tanto como el límite de capacidad de contención. Se debe considerar el uso de mallas de contención en casos donde la distancia entre la estructura de roca y el posible riesgo o área afectada sea menor a 50 metros, y no se puede aplicar otro tipo de mitigación o prevención. En general, según datos de la industria de la construcción, una malla de contención singular puede resistir impactos de hasta 8,000 kjoules.

El diseño de las mallas está en función de la trayectoria, velocidad y energía de impacto, así como la pendiente del talud. De acuerdo a estos datos se diseña la altura y tipo de malla, y el estiramiento máximo de la misma.

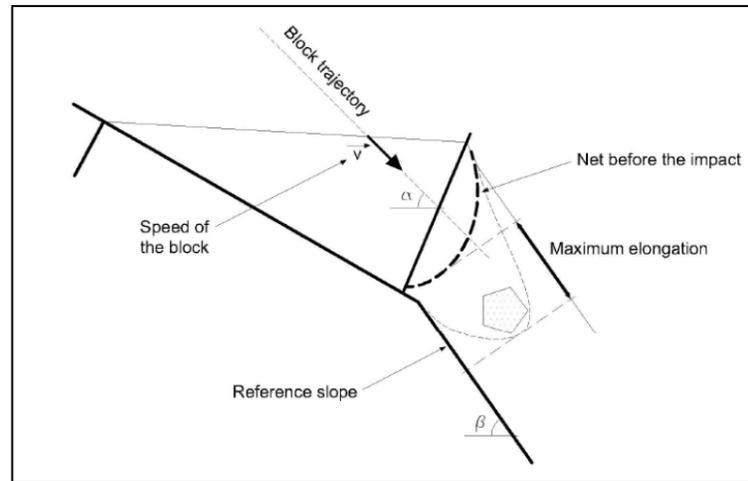


Figura 14. Diseño de malla de contención

Es aconsejable instalar las mallas de manera escalonada en caso de rocas de gran tamaño o trayectorias que provocan valores altos de energía cinética, para reducir paulatinamente la cantidad de energía o momento.

En el caso de rocas de gran tamaño o de rocas a distancias menores a 50 metros de la zona urbana afectada, es recomendable utilizar mallas de contención preventivas. En este caso, el diseño dependerá del peso de la roca para dimensionar la forma y el material de la malla que resista la estructura de roca(s). Es recomendable instalar anclajes adicionales a la malla en dirección contraria a la pendiente del talud para asegurar y fijar la roca. Cada estructura de contención estática debe ser diseñada a través de un diagrama de cuerpo libre en la cual las fuerzas estabilizadoras sean iguales a las fuerzas actuantes, tomando en cuenta un factor de seguridad mayor o igual a 1.5 según (SEMARNAT, 15 de Enero 2010, Diario Oficial de la Federación, Norma oficial Mexicana NOM-155-SEMARNAT-2007).

Limitaciones

Este tipo de estructuras requiere mantenimiento continuo para la remoción de partículas que hayan sido atrapadas en la malla. Su diseño debe contemplar la acumulación de otro tipo de material fino que pueda quedar adherido a la malla. Se debe restringir para partículas no

mayores a 5 pies de diámetro. Es aconsejable el uso de mallas como medida de protección de erosión.

VII.2. Modificación del talud (áreas de captación)

El área de captación se define como el área entre el área urbana afectada y una estructura de roca propensa a la remoción en masa. En resumen, esta medida de mitigación consiste en cambiar las condiciones y taludes de la ladera, creando cunetas que capten las trayectorias de caída de roca. Este tipo de mitigación es recomendable por su relativo bajo costo y cuando se tiene el espacio para realizar las modificaciones, de acuerdo a las condiciones físicas de las estructuras de roca. Los tipos de áreas de captación dependerán del tipo de movimiento pronosticado.

Arthur M. Ritchie, geólogo miembro del Washington State Department of Highways, publicó un estudio de caída de roca titulado “evaluación y control de caída de roca” (Ritchie). Según este estudio, se llegaron a varias conclusiones básicas, respecto al tipo de movimiento de la caída de roca como una función del ángulo de inclinación del talud de la trayectoria.

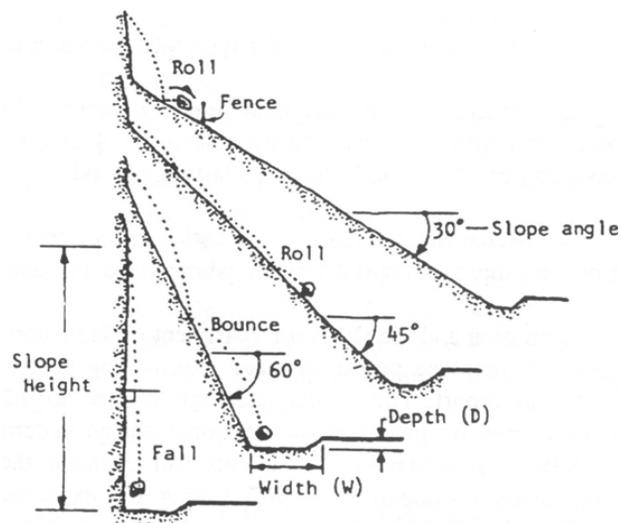


Figura 15. Diseño para modificación del talud de la trayectoria de la estructura de roca en función del ángulo de inclinación del talud de la trayectoria.

Cuando se tienen pendientes moderadas (entre 30° y 45°) la caída de roca sucede en rotación; en pendientes medias (entre 45° y 60°) las rocas inician a rebotar y en pendientes mayores a 60°, la roca experimenta caída libre.

A su vez, el estudio establece parámetros y monogramas para diseñar la distancia del área de captación de caída de roca respecto a la inclinación del talud de la trayectoria (FHWA 1989).

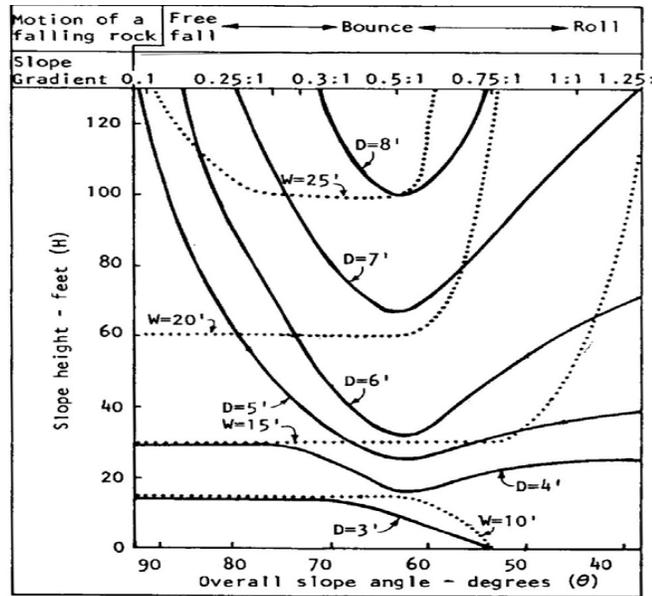


Figura 16. Monogramas para diseñar la distancia del área de captación de caída de roca, respecto a la inclinación del talud de la trayectoria, (FHWA 1989).

Es aconsejable realizar corridas con programas que puedan predecir las trayectorias de caídas de roca y simularlas con los cambios de talud y la instalación del área de captación para verificar el diseño.

También es recomendable estabilizar la trayectoria de caída por medio de banquetas de seguridad a diferentes elevaciones del talud para reducir paulatinamente la energía cinética de la roca. El área de captación deberá tener una inclinación en contra pendiente para asegurar una trayectoria contraria hacia el talud principal y reducir la energía cinética de la roca. Los diseños de los taludes modificados deben incluir un análisis de estabilidad de taludes, utilizando preferentemente modelos computacionales con un factor de seguridad de acuerdo a la Norma Mexicana (SEMARNAT, 15 de Enero 2010, Diario Oficial de la Federación, Norma oficial Mexicana NOM-155-SEMARNAT-2007)

VII.3. Instalación de atraques de estabilidad

En zonas donde se tienen estructuras de varias rocas a lo largo de potenciales fallas o tramos relativamente continuos, se puede optar por la instalación de atraques de estabilidad.

Esta medida preventiva consiste en la combinación de movimientos de tierra para modificar la geometría del talud y la instalación de relleno de un material alrededor de la estructura para proporcionar estabilidad.



En general, el material para el atraque debe ser seleccionado de acuerdo a sus propiedades estructurales; se recomienda utilizar grava triturada con un tamaño máximo de árido de 1 ½" para evitar presión de poros o saturación de material fino. En caso de lluvia, el agua pasaría a través de los intersticios entre las partículas de grava, evitando la desestabilización. Se debe evitar la presencia de material fino y debe compactarse hasta alcanzar un mínimo de espacios vacíos. Este material es recomendado por el ángulo interno de fricción superior a los 30°, de acuerdo al análisis del círculo de Mohr.

El diseño de los atraques depende de un análisis de estabilidad de taludes, este análisis consiste en determinar el grado de estabilidad, tomando en cuenta la sumatoria de fuerzas y momentos estabilizantes respecto a la sumatoria de fuerzas y momentos actuantes. El cociente entre ambas sumatorias da como resultado el factor de seguridad a dimensional. Si éste presenta un valor superior a la unidad (1.0) se considera que la estructura es estable; si es menor a la unidad, se considera inestable. Para el diseño se toma un factor de seguridad, tomando como límite el valor de 1.5 según la Norma (SEMARNAT, 15 de Enero 2010, Diario Oficial de la Federación, Norma oficial Mexicana NOM-155-SEMARNAT-2007).

Existen varios métodos para el análisis de estabilidad de taludes, entre ellos podemos citar el método de Bishop y el Método de Spencer. Ambos se pueden realizar como falla tipo bloque o falla tipo circular, dependiendo de las condiciones generales del sitio.

El programa Geo Slide v6.005 puede modelar diferentes tipos de taludes con materiales variados para simular superficies de falla y evaluar el factor de seguridad. La presencia de estructuras de roca puede introducirse al programa como cargas puntuales actuantes sobre el atraque y el talud de la ladera.

No es recomendable el uso de atraques de estabilidad para los casos donde se presenten estructuras con riesgo de caída de roca ubicadas aguas arriba sobre la ladera, ya que éstas podrían desestabilizar la estructura al colisionar, empeorando la condición de riesgo.



VIII. BIBLIOGRAFIA

Alcántara, A.I. 2000, Landslides: ¿Deslizamientos o movimientos de terreno? Definiciones, clasificaciones y terminología, Investigaciones Geográficas, abril, número 041, Universidad Nacional Autónoma de México, DF; México, 7-25 pp.

Ávila, A.R., 1990, Lower Jurassic volcanic and sedimentary rock Abstracts López, west central Sonora, México; Geological Society America Abstracts with Programs, v. 22, no. 3.

Bishop, A.W., 1955. The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Earth Slopes. Geotechnique, Vol. 5, 1955, pp. 7-17.

Blyth, FGH & De Freitas MH, 2000, Geología para Ingenieros, México; Editorial CECSA.

Carmichael, Ian et al. 1974, Igneous petrology: Nuw Cork, McGraw-Hill, 739 p

CENARED, 2006, Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos.

CENAPRED, 2001, Inestabilidad de Laderas, Serie de fascículos

Cochemé, J.J., 1981, Mise en évidence d'un granite subvolcanique associé aux laves tertiaires du Sonora, Mexico ; Comptes Tends. Acad. Sci. Paris, t. 293. ser. II, p. 989-992.

Consejo de Recursos Minerales, 1992, Monografía Geológica -Minera del Estado de Sonora. Editada por el Consejo de Recursos Minerales. 1era Edición; México, 220 pp.

Consejo Estatal Electoral del Estado de Sonora, <http://www.ceesonora.org.mx/>

Consejo Nacional de Población y Vivienda, 1994. La población de los municipios de México 1950 -1990. Ed. UNO, Servicios Gráficos, México.

Consultores, S. A., 1981, Servicios de Prospección y levantamientos geológicos y geofísicos en la zona de Hermosillo, Son. SARH.

Damon, P.E., et al., 1983, El Batolito Laramide (90-40 ma) de Sonora.

Echeverría, A., 1996, Inestabilidad de laderas naturales y taludes. Editado por Secretaría de Gobierno; Fascículo No 11; México: Impreso en los Talleres de Gráficos de México, 31 pp.

Fell, R., 1994, "Landslide risk assessment and acceptable risk", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 31 , pp 261-272.

Flores, T. 1929. Reconocimiento geológico en las zonas mineralizadas de la región central del Estado de Sonora; Inst. Geol. México. Bol. 49, pág. 7-85.

Grijalva, N. Javier y Castillo, R. Jaime. 1988, Estudio Geotécnico Aplicado a la Estabilidad de Taludes en el Sitio El Coloso, municipio de Hermosillo, sonora. Universidad de Sonora, Departamento de Geología; Hermosillo Sonora ,México.

Gobierno del Estado de Sonora, 1996, Instituto Nacional de Estadística e Información y H. Ayuntamiento Constitucional de Hermosillo, Cuaderno Estadístico Municipal. Impreso en los



talleres gráficos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1ra edición. Edo. De Sonora, 176pp.

González, S. J. R., Morales, M. M. y Ruíz, R.T., 2004, Características geológicas de los afloramientos aledaños del "Vado del Río" de Hermosillo, Sonora, México. Universidad de Sonora, Inst. Geol. Mexicano, Bol. 49, 267.

González, S. J. R., 2005, Carta geohidrológica de la ciudad de Hermosillo, Sonora, México., Maestría en Ciencias Geología, Universidad de Sonora, p. 85.

Gutiérrez, M., Carlos A., Martínez B. Alicia, Mendoza L. Manuel J., varios, (2006), Guía Básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Fenómenos Geológicos, ISBN: 970-628-902-X

Gutiérrez A.,G.A., 2012, Carta Geomorfológica de la Ciudad de Hermosillo, Sonora.

Gutiérrez F. N. , 1994, La cara humana de los desastres. pp. 12,13 Revista Información Científica y Tecnológica, Vol. 16 No. 216; México. Edit. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Septiembre, 64 pp.

Hernández, C.G., 2003, Modelo Hidrogeofísico de la porción noroeste del acuífero costero ubicado entre Hermosillo y Siete Cerros, Sonora, Tesis, Universidad de Sonora, División de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología, Hermosillo, Sonora, México., p. 85.

INEGI, 2013, <http://www.inegi.org.mx/>

King, R.E., 1939, Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of México: Geol. Soc. America Bull, v. 50, p.1625-17722.

Lagarda, Verdugo, López, 1981. (Geología urbana, Río Sonora, Hermosillo) No Publicado.

Mata, C.S., 1971, Estudio geohidrológico de la zona costera de Hermosillo, Sonora; San Luis Potosí, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, tesis profesional, 109 p. (inédita).

Menicucci, S., Mesnir, H. Ph., Radelli, L., 1982, Permian, Triassic and Liassic sedimentation (Barranca Formation) of central Sonora, México; AEGUS y Soc. Geol.. Mediana, Delegación Noroeste, Hermosillo, Notas Geológicas, v. 1, p. 2-8.

Minjarez, J. I., Sosa, J. P., Ramírez, L.L., Villa, A., Martínez, A. L., Gutiérrez, G. A., Tapia, E. M., Moncada, J. G., Montijo G., A., 2008. Atlas de Riesgos para el Estado de Sonora, FOPREDEN - Unidad Estatal de Protección Civil del Estado de Sonora, págs. 3760.

Morales, González, Geología UNISON, No Publicado.

Molina, M. F., 1983. Historia de Hermosillo antiguo. Ed. Flavio Molina Molina. Hermosillo, Sonora, México, p. 20.

Peiffer, R. F., 1978, Consideraciones sobre el Paleozoico sonorense; in Roldán-Quintana, Jaime, y Salas, G.A., eds., Libreto-guía. Primer simposio sobre la geología y potencial minero



en el Estado de Sonora, Hermosillo. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, p. 5-34.

Peiffer, R. F., 1979, Les zones isotopiques du Paleozoique inferieur du nordouest mexicain temoins du relais entre les Appalachs et la Cordillera ouest-américanie: Comptes Rends. Acad. Sci. Parist. 288, ser. D, p. 1517-1519.

Peña, C.S., 2000, "Análisis de Peligros Naturales de la Ciudad de Hermosillo, Sonora, Utilizando los Sistemas de Información Geográfica y los Sensores Remotos".

Peña, L.J., Zamora, T.E., Núñez, O.A. Orantes C.V. "Carta Geológica -Minera y Geoquímica Hermosillo, Clave H12-8, escala 1:250000, Estado de Sonora, México", 1998.

Programa IPGARAMSS, 2008. Integración Participativa de la Gestión Ambiental y de Riesgo en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del AMSS.

Raisz, E., 1959, Landforms of Mexico; Cambridge, Kass., Mapa con texto escala 1:3,000,000.

Ramos, GR y Quintero, LA. 2009, Estimación de la Amenaza y Riesgo de Caída de Roca en la Colonia Las Lomas (Tarea de Licenciatura, Inédito)

Rangún, Claude, 1978, Consideraciones sobre la evolución geológica de la parte septentrional del Estado de Sonora; in Roldán-Quintana, Jaime, y Salas, G.A., eds., Libro-tomo. Primer simposio sobre la geología y potencial minero en el Estado de Sonora, Hermosillo. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, p. 35-56.

Rodríguez C., J.L., 1981, Notas sobre la geología del área de Hermosillo, Sonora., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, vol. 5, no. 1, p. 30-36.

Roscience, 2010. SLIDE (Version 5.044), 2D Stability Analysis for Soil and Rock Slopes.

Velásquez, A. L. y Ordaz, A. A., Provincias hidrogeológicas de México, Bol. S. G. M. Tomo LII. Números 1 y 2, 1993 y 1994, p. 15-33.

Salas, G. A. et al. 1979, Geología urbana de Hermosillo, Sonora (Edición Preliminar) Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Dir. de Min. Geol. y Energía, Gobierno del Estado de Sonora.

Salas, Santoyo, 1978, Falla Hermosillo, Bol. Independiente. Publicación de los autores.

Secretaría de Gobernación, 1988, Centro Nacional de Estudios Municipales, Gobierno del Estado de Sonora, Los Municipios de Sonora, Enciclopedia de los Municipios de México. Talleres Gráficos de la Nación, México, D.F.

SIGESA, 1981, Geofísica, Vado del Río, No Publicado.

Spencer, E. 1967. A Method of Analysis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Inter-Slice Forces. Geotechnique, Vol. 17, No. 1, pp 11-26.



Valenzuela, S. L. H. y Coronado, C. C. A., 1999, Estudio hidrogeológico comprendido entre las presas Abelardo Rodríguez L. y Rodolfo Félix V. (El Molinito). Tesis profesional, Universidad de Sonora, División de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología, Hermosillo, Sonora, México, p. 154.



ANEXOS

Anexo A.

FORMATO MODIFICADO PARA LA ESTIMACION DE LA AMENAZA DE DESLIZAMIENTO

Nombre Formato	Coordenadas	Elevación	Este	Norte
Fecha				

FOTOGRAFIAS



FACTORES TOPOGRAFICOS E HISTORICOS

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calif
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsese clinómetro Indicar valor	
	35° a 45°	1.8		
	25° a 35°	1.4		
	15° a 25°	1.0		
	Menos de 15°	0.5		
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsese nivelaciones, planos o cartas topográficas.	
	50 a 100 m	1.2		
	100 a 200m	1.6		
	Más de 200 m	2.0		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de los lugareños	
	Algunos someros	0.4		
	Sí, incluso con fechas	0.6		

FACTORES GEOMORFOLÓGICOS Y AMBIENTALES

Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujo)	
	Volúmenes moderados	0.5		
	Grandes volúmenes faltantes	1.0		
Vegetación y uso de tierra	Zona Urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima	
	Cultivos anuales	1.5		
	Vegetación intensa	0.0		
	Vegetación moderada	0.8		
	Área deforestada	2.0		
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.	
	Nivel freático inexistente	0.0		
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o plataforma	1.0		



FACTORES GEOTÉCNICOS

Fracturamiento

Fracturamiento 1	Fracturamiento 2
------------------	------------------

Caída Roca

Vol. de roca1 (m3) _____		Masa _____ 0 ton		
ρ Roca (gr/cm3) _____		Forma de roca _____		
Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	
Tipos de suelos o rocas	Suelos granulados medianamente compactados a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas	1.5 a 2.5	Vulnerable a la erosión; o suelos de consistencia blanda	
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas	1.2 a 2		
	Suelos arcillosos consistentes o arena limosos compactos	0.5 a 1	Multiplicar por 1.3 si esta agrietado	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobos competentes	0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización	
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.)	0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según grado de meteorización	
	Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5	Revisar cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.
5 a 10 m		1.0		
10 a 15 m		1.4		
15 a 20 m		1.8		
Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	Menos de 15°	0.2	Considérese planos de contacto entre formaciones, grietas, juntas y planos de debilidad
		25° a 35°	0.4	
		Más de 45°	0.6	
	Ángulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud.	Más de 10°	0.3	Ángulo diferencial positivo si el echado es mayor que la inclinación de talud.
		0° a 10°	0.5	
		0°	0.7	
		0° a -10°	0.8	
	Ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Más de 30°	0.2	Considerar la dirección de las discontinuidades más representativas
		10° a 20°	0.3	
		Menos de 5°	0.5	
GRADO	DRESCRIPCION	CALIFICACIONES		
1	Muy Bajo	Menos de 5		
2	Bajo	5 a 7		
3	Moderado	7 a 8.5		
4	Alto	8.5 a 10		
5	Muy Alto	Más de 10		

SUMATORIA

Observaciones: _____

Anexo B.

Sección 01

Como se puede observar en la fotografía el tamaño de las rocas es equivalente a una persona de 1.7 m de altura.



Foto 11. Sección 01

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsese clinómetro Indicar valor 30°	1.4
	35° a 45°	1.8		
	25° a 35°	1.4		
	15° a 25°	1.0		
	Menos de 15°	0.5		
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsense nivelaciones, planos o cartas topográficas.	1.2
	50 a 100 m	1.2		
	100 a 200m	1.6		
	Más de 200 m	2.0		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de los lugareños	0.3
	Algunos someros	0.4		
	Sí, incluso con fechas	0.6		

FACTORES GEOMORFOLÓGICOS Y AMBIENTALES

Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujo)	0.5
	Volúmenes moderados	0.5		
	Grandes volúmenes faltantes	1.0		
Vegetación y uso de tierra	Zona Urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima	2.0
	Cultivos anuales	1.5		
	Vegetación intensa	0.0		
	Vegetación moderada	0.8		
	Área deforestada	2.0		
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.	0.0
	Nivel freático inexistente	0.0		
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o plataforma	1.0		



FACTORES GEOTÉCNICOS

Fracturamiento

Fracturamiento 1	R 70 NW; E 42 SW	Fracturamiento 4	R 30 SE; E 35 SW
Fracturamiento 2	R 28 SW; E 52 NW	Fracturamiento 5	
Fracturamiento 3	R 60 SW; VERTICAL	Fracturamiento 6	

Caída de Roca

Vol. de roca1 (m ³)	28	Masa	75.6	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Rectangular	
Vol. de roca 2 (m ³)	30	Masa	81	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Rectangular	
Vol. de roca 3 (m ³)	60	Masa	162	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Cuadrada	

Factor	Intervalos o categorías		Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Tipos de suelos o rocas	suelos granulados medianamente compactados a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas		1.5 a 2.5	Vulnerable a la erosión; o suelos de consistencia blanda	0.8
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizado		1.2 a 2		
	Suelos arcillosos consisten o arena limosos compactos		0.5 a 1	Multiplicar por 1.3 si esta agrietado	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes		0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización	
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.)		0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según grado de meteorización	
	Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m		0.5	Revídense cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.
5 a 10 m		1.0			
10 a 15 m		1.4			
15 a 20 m		1.8			
Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	Menos de 15°	0.2	Considérese planos de contacto entre formaciones, grietas, juntas y planos de debilidad	0.4
		25° a 35°	0.4		
		Más de 45°	0.6		
	Ángulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud.	Más de 10°	0.3	Ángulo diferencial positivo si el echado es mayor que la inclinación de talud.	1.0
		0° a 10°	0.5		
		0°	0.7		
		0° a -10°	0.8		
		Más de -10°	1.0		
	Ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Más de 30°	0.2	Considerar la dirección de las discontinuidades más representativas	0.2
		10° a 20°	0.3		
Menos de 5°		0.5			

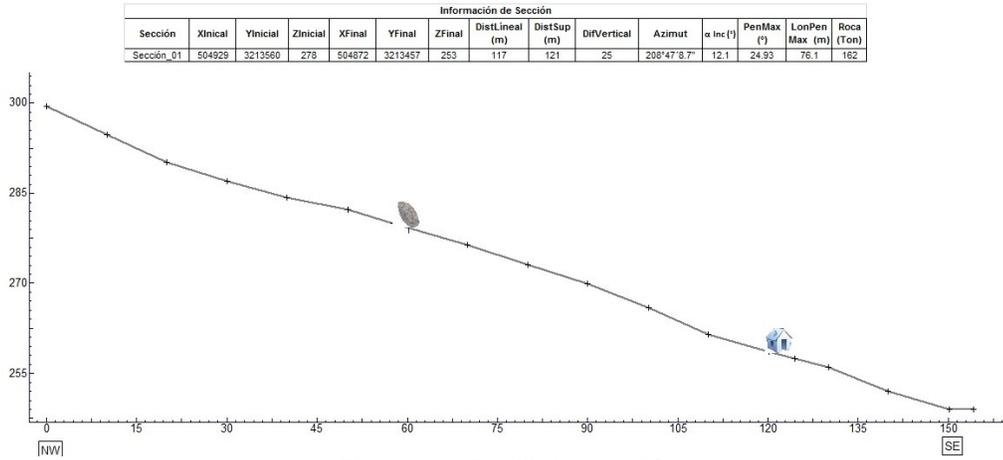


Figura 17. Perfil de sección

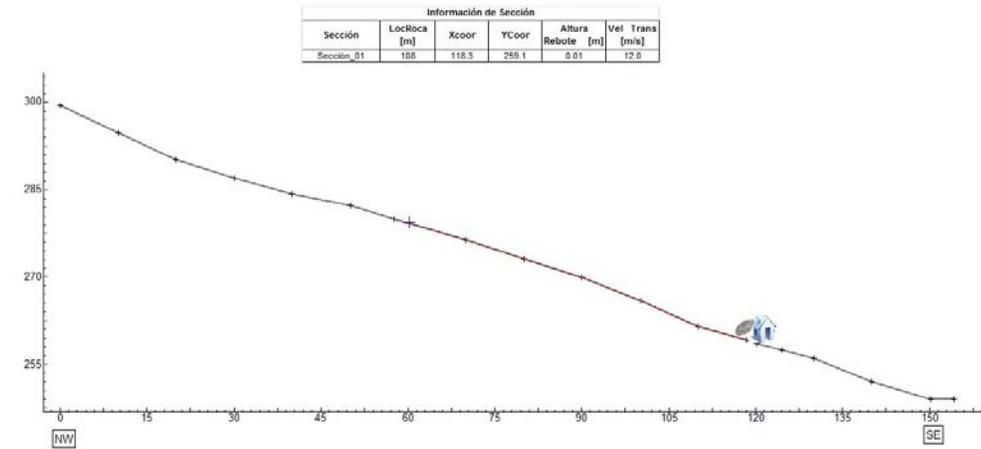


Figura 18. Condición normal de caída libre de roca

La Figura 17 nos indica cual es el punto de partida (+) de la roca, y en la Figura 18 se observa cual es la trayectoria roca resaltada con línea color rojo. Según el modelo la velocidad que alcanza la roca es de 12 m/s.

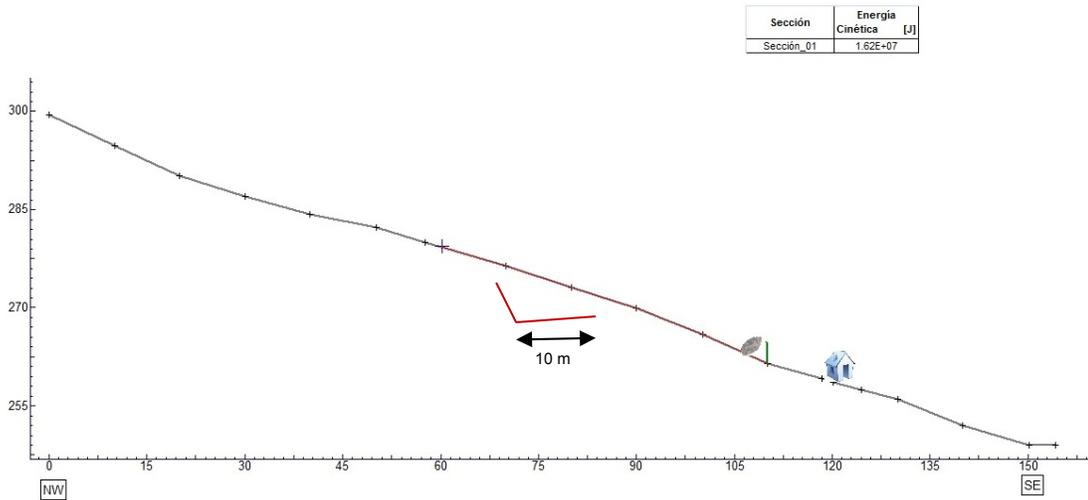


Figura 19. Medida de mitigación



En la Figura 19 se muestra el diseño de cambio de características del talud de la ladera tomando en cuenta a la distancia disponible de recorrido de la roca de 76.1 metros y la carencia de rebote según la corrida del programa, creando un área de captación con una distancia de aproximadamente 10 metros. Para mayor seguridad, se recomienda que el corte del terreno debe realizarse en una terraza de aproximadamente 30 metros de largo para atrapar distintas posibles trayectorias de las estructuras 2 y 3 como se indica en la Figura 13. El diseño deberá realizarse en base a métodos como los mencionados en la Capítulo VII.2 . Modificación del talud de la trayectoria de la estructura de roca (áreas de captación).

Sección 02



Foto 12. Sección 02

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsese clinómetro Indicar valor	1.4
	35° a 45°	1.8		
	25° a 35°	1.4		
	15° a 25°	1.0		
	Menos de 15°	0.5		
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsense nivelaciones, planos o cartas topográficas.	0.6
	50 a 100 m	1.2		
	100 a 200m	1.6		
	Más de 200 m	2.0		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de los lugareños	0.6
	Algunos someros	0.4		
	Sí, incluso con fechas	0.6		



FACTORES GEOMORFOLOGICOS Y AMBIENTALES

Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujo)	1.0
	Volúmenes moderados	0.5		
	Grandes volúmenes delatantes	1.0		
Vegetación y uso de tierra	Zona Urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima	2.0
	Cultivos anuales	1.5		
	Vegetación intensa	0.0		
	Vegetación moderada	0.8		
	Área deforestada	2.0		
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.	1.0
	Nivel freático inexistente	0.0		
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o plataforma	1.0		

FACTORES GEOTECNICOS

Caída Roca

Vol. de roca1 (m³)	1.904	Masa	5.1408	ton
ρ Roca (gr/cm³)	2.7	Forma de roca	Redonda	Roca que cayo
Vol. de roca 2 (m³)	9.504	Masa	25.7	ton
ρ Roca (gr/cm³)	2.7	Forma de roca	Cuadrada	Roca por caer

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Tipos de suelos o rocas	suelos granulados medianamente compactados a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas	1.5 a 2.5	Vulnerable a la erosión; o suelos de consistencia blanda	0.8
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas	1.2 a 2		
	Suelos arcillosos consisten o areno limosos compactos	0.5 a 1	Multiplicar por 1.3 si esta agrietado	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes	0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización	
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.)	0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según grado de meteorización	
Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5	Revisar cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.	0.5
	5 a 10 m	1.0		
	10 a 15 m	1.4		
	15 a 20 m	1.8		

Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	Menos de 15°	0.2	Considérese planos de contacto entre formaciones, grietas, juntas y planos de debilidad	0.4
		25° a 35°	0.4		
		Más de 45°	0.6		
Angulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud.		Más de 10°	0.3	Ángulo diferencial positivo si el echado es mayor que la inclinación de talud.	0.3
		0° a 10°	0.5		
		0°	0.7		
		0° a -10°	0.8		



	Ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Más de -10°	1.0	Considerar la dirección de las discontinuidades más representativas	0.5
		Más de 30°	0.2		
		10° a 20°	0.3		
		Menos de 5°	0.5		

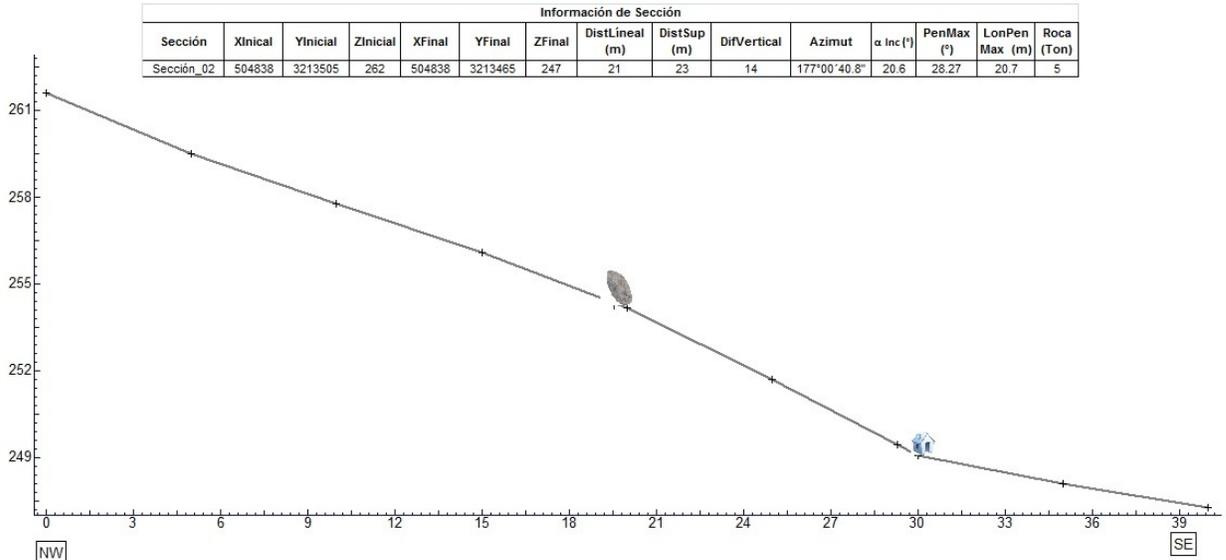


Figura 20. Perfil de sección

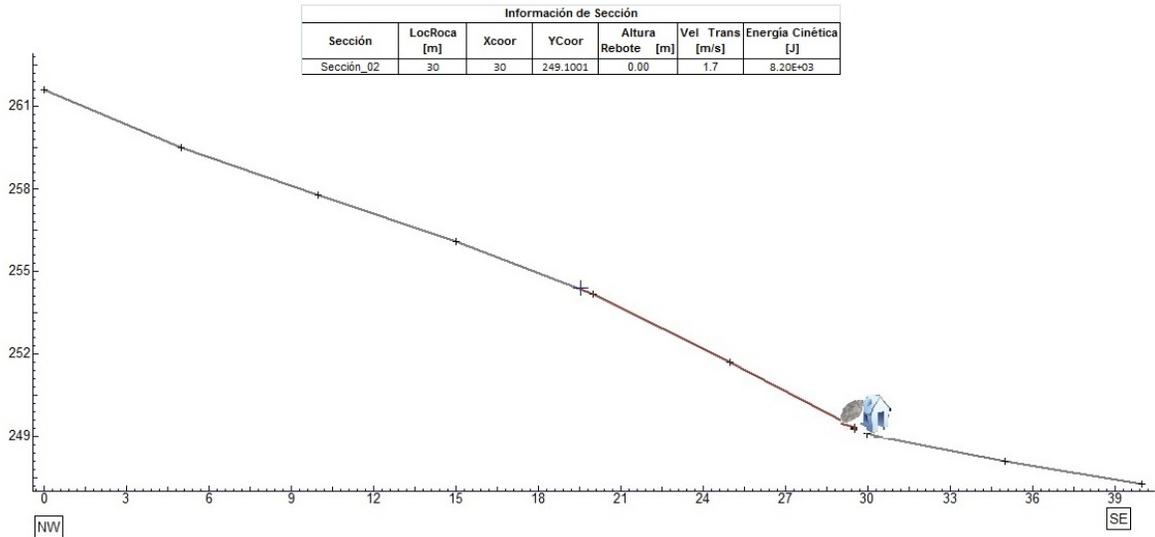


Figura 21. Condición normal de caída libre de roca

La posición inicial de la roca se observa en la Figura 20, y en la Figura 19 se muestra el recorrido de la roca (línea roja) de la roca hasta chocar con una pared, la velocidad obtenida por el modelo es de 1.7 m/s y una fuerza de impacto de 8.20E+03 J.



La ubicación de la casa la hace vulnerable a la caída de roca proveniente de la familia de fracturas del sitio 3 esto se puede observar en la Figura 13 y Plano 13. En el 2003 se registró la caída de una roca que pesaba alrededor de 5 t. la roca se desplazó 21 metros, cayendo sobre la pared de la casa. En esas fechas el personal municipal del gobierno de Francisco Burquéz colocaron una malla ciclónica para reducir la velocidad de las rocas adyacentes, dada las condiciones geomorfológicas y geológicas donde la vivienda está asentada el peligro es alto y latente, además, existen un par de rocas propensas a caer, sumado a estas rocas, la infraestructura de la casa se observa muy deteriorada y con techo de lámina, lo que nos aumenta la vulnerabilidad de las personas en el casa. Se recomienda remover las rocas o reubicar a las personas que habitan dicha casa.

Sección 03

En 1987 durante el periodo de lluvias (julio-agosto) se presentó la caída de la roca que se observa en la foto derecha con un peso de 3.85 t (Foto 13 lado derecho).



Foto 13. Sección 03

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsese clinómetro Indicar valor	1.0
	35° a 45°	1.8		
	25° a 35°	1.4		
	15° a 25°	1.0		
	Menos de 15°	0.5		
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsense nivelaciones, planos o cartas topográficas.	0.6
	50 a 100 m	1.2		
	100 a 200m	1.6		
	Más de 200 m	2.0		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de los lugareños	0.6
	Algunos someros	0.4		
	Sí, incluso con fechas	0.6		

FACTORES GEOMORFOLÓGICOS Y AMBIENTALES

Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujo)	1.0
	Volúmenes moderados	0.5		
	Grandes volúmenes delatantes	1.0		
Vegetación y uso de tierra	Zona Urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima	2.0
	Cultivos anuales	1.5		
	Vegetación intensa	0.0		
	Vegetación moderada	0.8		
	Área deforestada	2.0		
Régimen del	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones	1.0



agua en la ladera	Nivel freático inexistente	0.0	de agua en el talud.
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o plataforma	1.0	

Caída Roca

Vol. de roca1 (m ³)	1.428	Masa	3.8556	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Cuadrada	Roca que cayó

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Tipos de suelos o rocas	Suelos granulados medianamente compactados a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas	1.5 a 2.5	Vulnerable a la erosión; o suelos de consistencia blanda	0.8
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas	1.2 a 2		
	Suelos arcillosos consisten o arena limosos compactos	0.5 a 1	Multiplicar por 1.3 si esta agrietado	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes	0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización	
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.)	0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según grado de meteorización	
	Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5	Revisar cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.
5 a 10 m		1.0		
10 a 15 m		1.4		
15 a 20 m		1.8		

Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	Menos de 15°	0.2	Considérese planos de contacto entre formaciones, grietas, juntas y planos de debilidad	0.4
		25° a 35°	0.4		
		Más de 45°	0.6		
	Angulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud.	Más de 10°	0.3	Ángulo diferencial positivo si el echado es mayor que la inclinación de talud.	0.3
		0° a 10°	0.5		
		0°	0.7		
		0° a -10°	0.8		
		Más de -10°	1.0		
	Ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Más de 30°	0.2	Considerar la dirección de las discontinuidades más representativas	0.5
		10° a 20°	0.3		
Menos de 5°		0.5			

La posición inicial de las roca es apreciable en la Figura 22 y en la Figura 23 nos muestra como sería la trayectoria de la roca en caso de su caída, los valores obtenidos de la modelación nos indican que no se presenta un rebote en la roca pero alcanza una velocidad aproximada de 8.8 m/s y una fuerza de impacto de 2.03E+05 J.

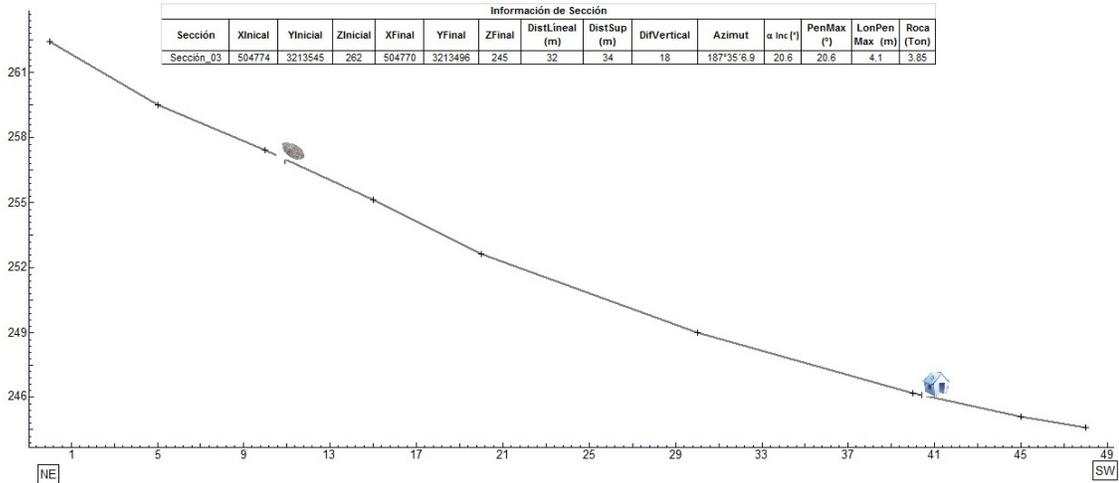


Figura 22. Perfil de sección

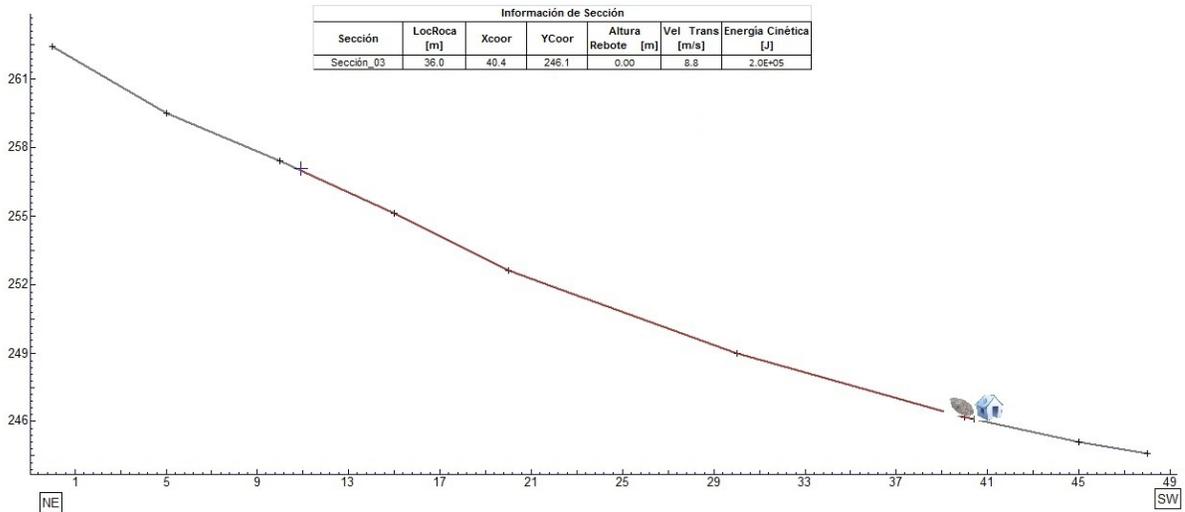


Figura 23. Condición normal de caída libre de roca

Como se puede observar en la Figura 13 y Plano 13 el sitio es afectado por la familia de fracturas de los sitios 3 y 4. La cantidad de energía de impacto de $2.03E+05$ J, puede ser absorbida a través de la instalación de mallas ancladas (Capítulo VII.1. Mallas de contención), que son una opción para partículas de la envergadura de la estructura, con pesos aproximados de cada roca de 3.85 t. Es recomendable la instalación de mallas adicionales de protección de erosión. Es necesario realizar una inspección para mantenimiento antes y después de la época de estiaje.

Sección 04

Los lugareños mencionaron que en cada temporada de lluvia se presenta alguna caída de roca, en la foto del lado derecho se observan grandes bloques de roca fracturadas, con una pendiente pronunciada, en el lado izquierdo de la foto se observa mucha basura y material suelto en el límite de la casa en donde caen las rocas de la parte superior de la ladera.



Foto 14. Sección 04

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsese clinómetro Indicar valor	1.4
	35° a 45°	1.8		
	25° a 35°	1.4		
	15° a 25°	1.0		
	Menos de 15°	0.5		
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsense nivelaciones, planos o cartas topográficas.	0.6
	50 a 100 m	1.2		
	100 a 200m	1.6		
	Más de 200 m	2.0		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de los lugareños	0.6
	Algunos someros	0.4		
	Sí, incluso con fechas	0.6		

FACTORES GEOMORFOLOGICOS Y AMBIENTALES

Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujo)	1.0
	Volúmenes moderados	0.5		
	Grandes volúmenes delatantes	1.0		
Vegetación y uso de tierra	Zona Urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima	2.0
	Cultivos anuales	1.5		
	Vegetación intensa	0.0		



Régimen del agua en la ladera	Vegetación moderada	0.8	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.	1.0
	Área deforestada	2.0		
	Nivel freático superficial	1.0		
	Nivel freático inexistente	0.0		
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o plataforma	1.0		

Caída Roca

Vol. de roca1 (m ³)	6.4	Masa	17.28	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Esférica	Roca que cayó
Vol. de roca 2 (m ³)	1.275	Masa	3.4	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Cuadrada	Roca que cayó
Vol. de roca3 (m ³)	0.504	Masa	1.3608	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Cuadrada	Roca que cayó

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Tipos de suelos o rocas	suelos granulados medianamente compactados a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas	1.5 a 2.5	Vulnerable a la erosión; o suelos de consistencia blanda	0.8
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizado	1.2 a 2		
	Suelos arcillosos consisten o areno limosos compactos	0.5 a 1	Multiplicar por 1.3 si esta agrietado	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes	0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización	
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.)	0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según grado de meteorización	
Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5	Revisar cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.	0.5
	5 a 10 m	1.0		
	10 a 15 m	1.4		
	15 a 20 m	1.8		

Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	Menos de 15°	0.2	Considérese planos de contacto entre formaciones, grietas, juntas y planos de debilidad	0.4
		25° a 35°	0.4		
		Más de 45°	0.6		
	Angulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud.	Más de 10°	0.3	Ángulo diferencial positivo si el echado es mayor que la inclinación de talud.	0.3
		0° a 10°	0.5		
		0°	0.7		
		0° a -10°	0.8		
		Más de -10°	1.0		
	Ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Más de 30°	0.2	Considerar la dirección de las discontinuidades más representativas	0.5
10° a 20°		0.3			
Menos de 5°		0.5			

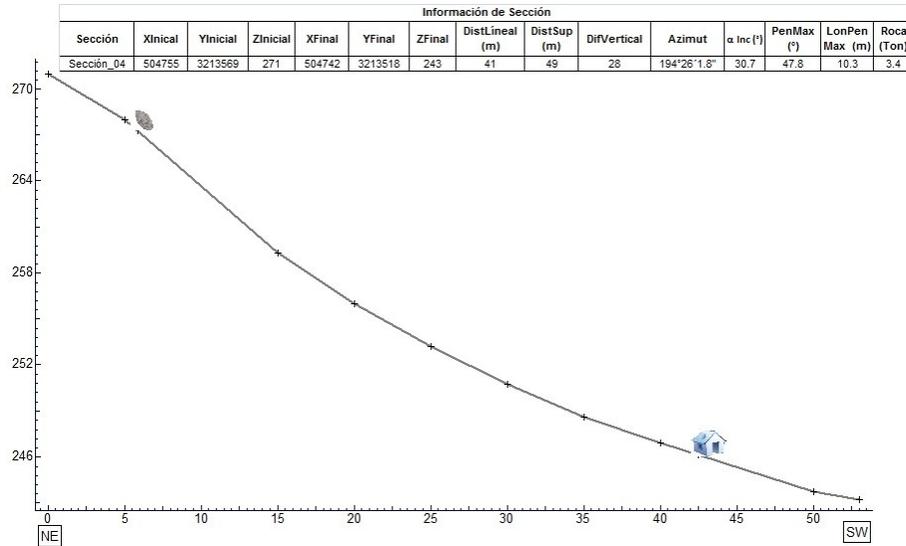


Figura 24. Perfil de sección

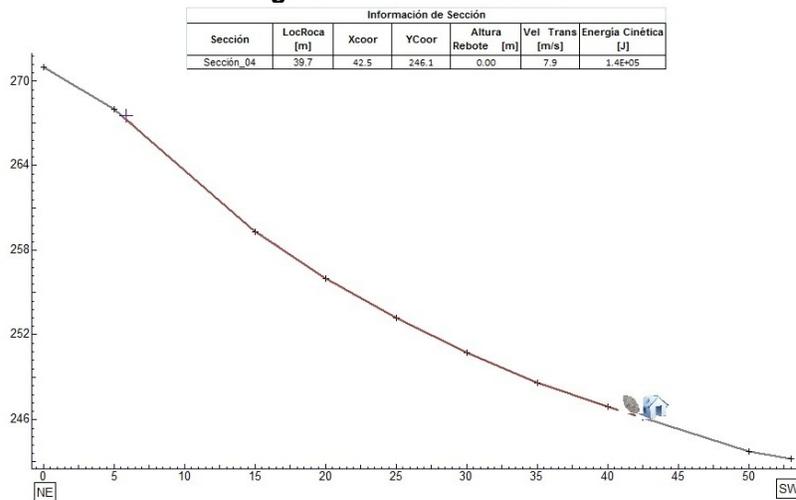


Figura 25. Condición normal de caída libre de roca

La posición de la roca es mostrada en la Figura 24 y en la Figura 25 podemos observar la modelación de la caída de roca, se obtuvo una velocidad de 7.9 m/s y una fuerza de impacto de 1.4E+05 J

El sitio se ve afectado por la familia de fracturas 4 como se puede observar en la Figura 13 y Plano 13, y dado que la distancia mínima de impacto 39.7 metros aproximadamente, no se puede optar por modificaciones del talud. La cantidad de energía de impacto de 1.4E+05 J, esta puede ser absorbida a través de la instalación de mallas ancladas. Debido a las condiciones de fractura de roca, se recomienda instalar mallas de sujeción, para evitar la caída de roca en vez de interceptarla. A 15 metros de la estructura de roca, se puede colocar una malla adicional de contingencia para interceptar rocas con una energía de impacto reducida por las mallas de sujeción.

Sección 05

La extensión de la roca es claramente observable en la fotografía, también podemos ver en ella que las rocas presentan un contacto limpio entre las fracturas, aumentando su probabilidad de caída, ya que, el agua de las lluvias actúa como un lubricante entre las superficie de contacto de las fracturas provocando desestabilización de la estructura.



Foto 15. Sección 05

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsese clinómetro Indicar valor 30°	1.4
	35° a 45°	1.8		
	25° a 35°	1.4		
	15° a 25°	1.0		
	Menos de 15°	0.5		
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsense nivelaciones, planos o cartas topográficas.	1.2
	50 a 100 m	1.2		
	100 a 200m	1.6		
	Más de 200 m	2.0		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de los lugareños	0.3
	Algunos someros	0.4		
	Sí, incluso con fechas	0.6		



FACTORES GEOMORFOLOGICOS Y AMBIENTALES

Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujo)	0.5
	Volúmenes moderados	0.5		
	Grandes volúmenes delatantes	1.0		
Vegetación y uso de tierra	Zona Urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima	2.0
	Cultivos anuales	1.5		
	Vegetación intensa	0.0		
	Vegetación moderada	0.8		
	Área deforestada	2.0		
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.	0.0
	Nivel freático inexistente	0.0		
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o plataforma	1.0		

FACTORES GEOTECNICOS

Fracturamiento

Fracturamiento 1	R45 SE; E 31 SW	Fracturamiento 4	R 25SE; VERTICAL
Fracturamiento 2	R 83 SE; VERTICAL	Fracturamiento 5	
Fracturamiento 3	R 60SE; E 24 NE	Fracturamiento 6	

Caída Roca

Vol. de roca 1 (m ³)	45	Masa	121.5	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Rectangular	
Vol. de roca 2 (m ³)	18	Masa	48.6	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Rectangular	
Vol. de roca 3 (m ³)	27	Masa	72.9	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Cuadrada	

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Tipos de suelos o rocas	suelos granulados medianamente compactados a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas	1.5 a 2.5	Vulnerable a la erosión; o suelos de consistencia blanda	0.8
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizado	1.2 a 2		
	Suelos arcillosos consisten o areno limosos compactos	0.5 a 1	Multiplicar por 1.3 si esta agrietado	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes	0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización	
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.)	0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según grado de meteorización	
	Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5	Revisar cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.
5 a 10 m		1.0		
10 a 15 m		1.4		
15 a 20 m		1.8		



Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	Menos de 15°	0.2	Considérese planos de contacto entre formaciones, grietas, juntas y planos de debilidad	0.4
		25° a 35°	0.4		
		Más de 45°	0.6		
	Angulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud.	Más de 10°	0.3	Ángulo diferencial positivo si el echado es mayor que la inclinación de talud.	1.0
		0° a 10°	0.5		
		0°	0.7		
		0° a -10°	0.8		
	Ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Más de 30°	0.2	Considerar la dirección de las discontinuidades más representativas	0.2
		10° a 20°	0.3		
		Menos de 5°	0.5		

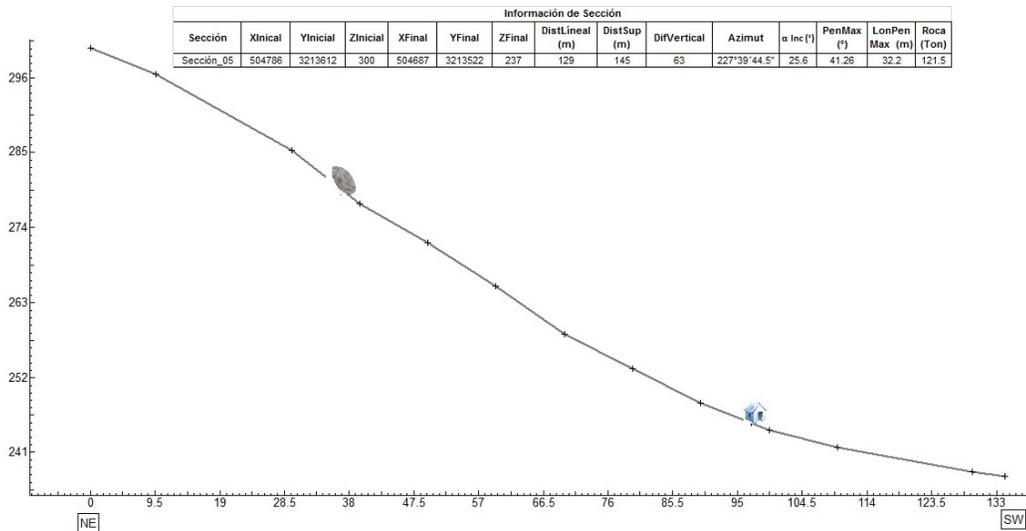


Figura 26. Perfil de sección

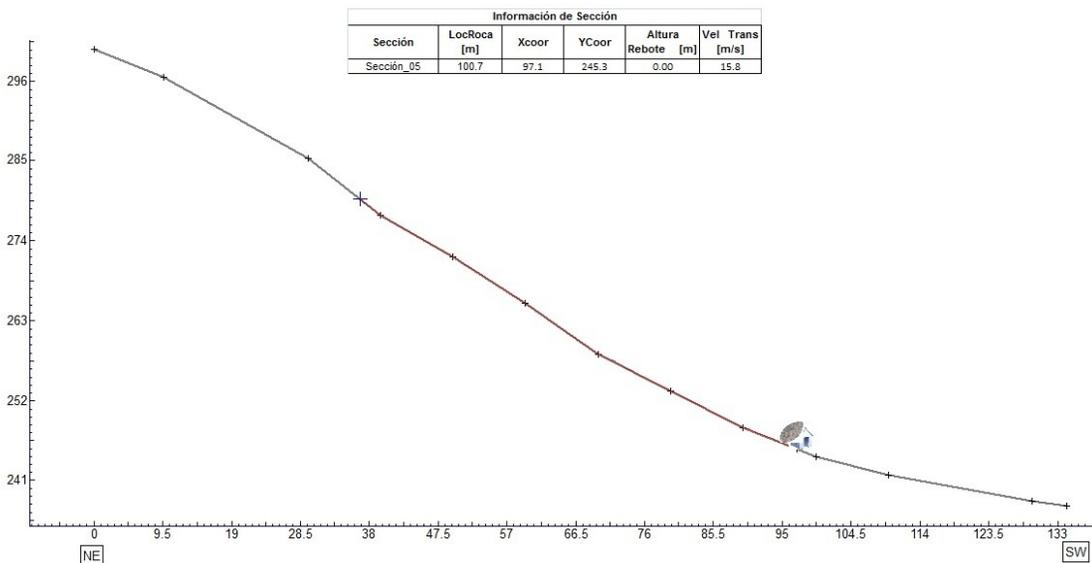


Figura 27. Condición normal de caída libre de roca

La Figura 26 el origen de la roca, y en la Figura 27 se observa la trayectoria de la roca que alcanza una velocidad de 15.8 m/s y una energía cinética de 2.1E+07 J.

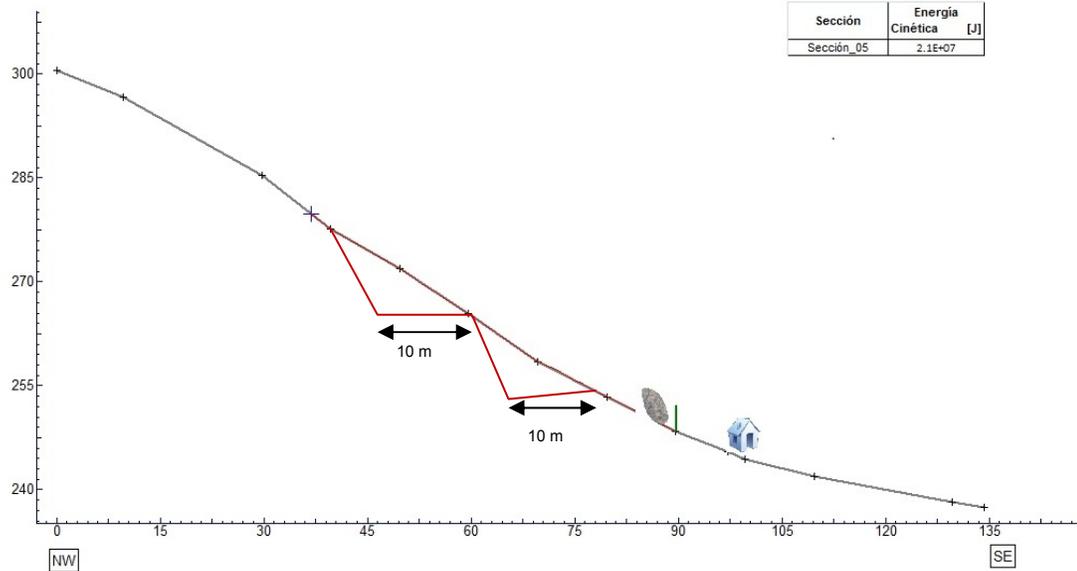


Figura 28. Medida de mitigación

No se recomienda el uso de mallas ancladas por superar el límite (capacidad energía cinética de 2.1E+07 J), sin embargo, debido a la distancia disponible de recorrido de la roca y la carencia de rebote, se puede optar por el cambio de características del talud de la ladera, creando un área de captación con una distancia de 10 metros en 2 banquetas como se muestra en la Figura 28. Para brindar mayor seguridad, se recomienda que el corte del terreno debe realizarse en banquetas de 30 metros de largo para atrapar distintas posibles trayectorias de las estructuras 5 y 9 como se indica en la Figura 13. El diseño deberá realizarse en base a métodos como los mencionados en la Capítulo VII.2. Modificación del talud de la trayectoria de la estructura de la roca.

Sección 06



Foto 16. Sección 06

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsese clinómetro Indicar valor 29 °	1.4
	35° a 45°	1.8		
	25° a 35°	1.4		
	15° a 25°	1.0		
	Menos de 15°	0.5		
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsense nivelaciones, planos o cartas topográficas.	1.2
	50 a 100 m	1.2		
	100 a 200m	1.6		
	Más de 200 m	2.0		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de los lugareños	0.3
	Algunos someros	0.4		
	Sí, incluso con fechas	0.6		

FACTORES GEOMORFOLOGICOS Y AMBIENTALES

Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujo)	0.5
	Volúmenes moderados	0.5		
	Grandes volúmenes delatantes	1.0		
Vegetación y uso de tierra	Zona Urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima	2.0
	Cultivos anuales	1.5		
	Vegetación intensa	0.0		
	Vegetación moderada	0.8		
	Área deforestada	2.0		
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.	0.0
	Nivel freático inexistente	0.0		
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o plataforma	1.0		



FACTORES GEOTECNICOS

Fracturamiento

Fracturamiento 1	R 85 SW; E 35 SE	Fracturamiento 4	R 25SE; VERTICAL
Fracturamiento 2	R 878NW; VERTICAL	Fracturamiento 5	
Fracturamiento 3	R 67 SW; E 28 NW	Fracturamiento 6	

Caída Roca

Vol. de roca 1 (m ³)	20	Masa	54	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	tabular	
Vol. de roca 2 (m ³)	12	Masa	32.4	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Rectangular	

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Tipos de suelos o rocas	Suelos granulados medianamente compactados a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas	1.5 a 2.5	Vulnerable a la erosión; o suelos de consistencia blanda	0.8
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas	1.2 a 2		
	Suelos arcillosos consisten o arena limosos compactos	0.5 a 1	Multiplicar por 1.3 si esta agrietado	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes	0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización	
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.)	0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según grado de meteorización	
	Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5	Revisar cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.
5 a 10 m		1.0		
10 a 15 m		1.4		
15 a 20 m		1.8		

Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	Menos de 15°	0.2	Considérese planos de contacto entre formaciones, grietas, juntas y planos de debilidad	0.4
		25° a 35°	0.4		
		Más de 45°	0.6		
	Angulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud.	Más de 10°	0.3	Ángulo diferencial positivo si el echado es mayor que la inclinación de talud.	1.0
		0° a 10°	0.5		
		0°	0.7		
		0° a -10°	0.8		
	Ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Más de -10°	1.0	Considerar la dirección de las discontinuidades más representativas	0.2
		Más de 30°	0.2		
		10° a 20°	0.3		
		Menos de 5°	0.5		

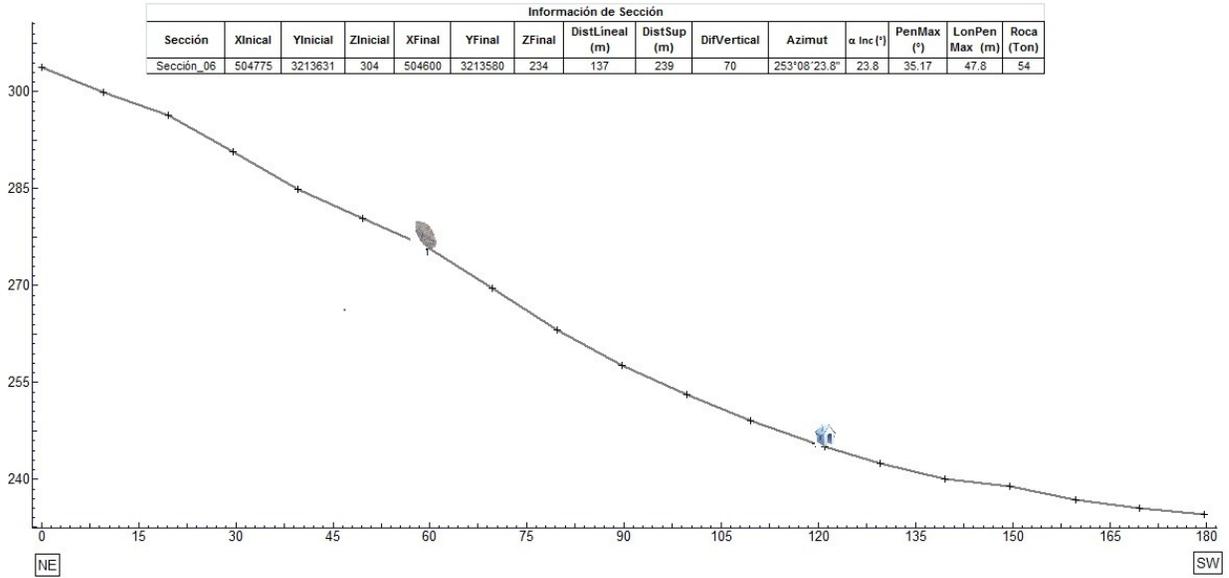


Figura 29. Perfil de sección

En la Figura 29 se observa la ubicación de la roca en sitio y en la Figura 30 se muestra el modelo de caída, la roca no se presenta un rebote en la roca y alcanza una velocidad de 14.9 m/s y una fuerza de impacto de 9.01 E+06 J.

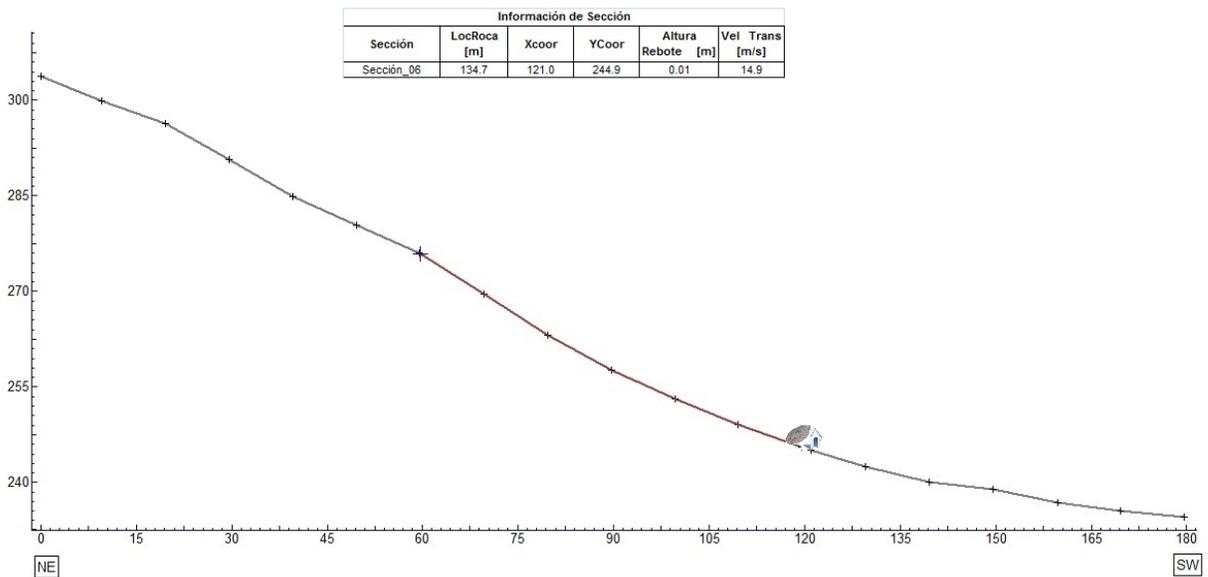


Figura 30. Condición normal de caída libre de roca

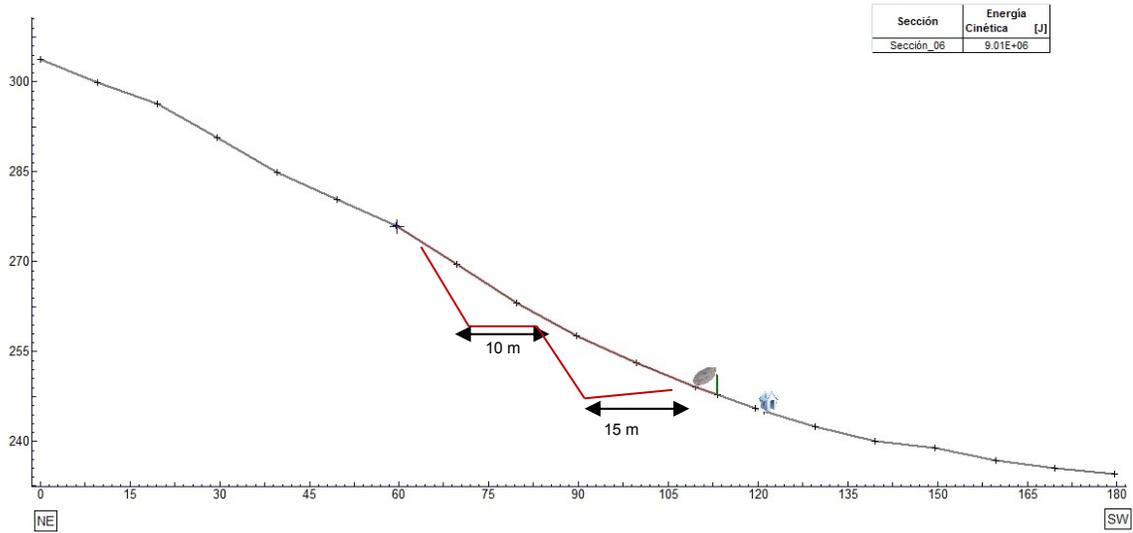


Figura 31. Medida de mitigación

Debido a la velocidad y cantidad de energía de impacto de la roca de $9.01E+06$ J, no se recomienda el uso de mallas ancladas por superar el límite de capacidad mencionado (Capítulo VII.2. Modificación del talud de la trayectoria de la estructura de roca), pero debido a la distancia disponible de recorrido de la roca y la carencia de rebote, se puede optar por el cambio de características del talud de la ladera, creando un área de captación con una distancia de 10 y 15 metros en 2 banquetas como se muestra en la Figura 31. Para brindar mayor seguridad, se recomienda que el corte del terreno debe realizarse en banquetas de 30 metros de largo para atrapar distintas posibles trayectorias de las estructuras 5 y 9 como se indica en la Figura 13 y Plano 13.

Sección 07



Foto 17. Sección 07

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsese clinómetro Indicar valor 24°	1.0
	35° a 45°	1.8		
	25° a 35°	1.4		
	15° a 25°	1.0		
	Menos de 15°	0.5		
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsense nivelaciones, planos o cartas topográficas.	1.2
	50 a 100 m	1.2		
	100 a 200m	1.6		
	Más de 200 m	2.0		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de los lugareños	0.3
	Algunos someros	0.4		
	Sí, incluso con fechas	0.6		

FACTORES GEOMORFOLOGICOS Y AMBIENTALES

Evidencias geomorfológicas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujo)	0.5
	Volúmenes moderados	0.5		



de "huecos" en laderas contiguas	Grandes volúmenes delatantes	1.0		
Vegetación y uso de tierra	Zona Urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima	2.0
	Cultivos anuales	1.5		
	Vegetación intensa	0.0		
	Vegetación moderada	0.8		
	Área deforestada	2.0		
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.	0.0
	Nivel freático inexistente	0.0		
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o plataforma	1.0		

FACTORES GEOTECNICOS

Fracturamiento

Fracturamiento 1	R 44 SE; 26NE
Fracturamiento 2	R 25SW; 60 SE

Caída Roca

Vol. de roca 1 (m ³)	18.75	Masa	50.625	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Semiesférica	
Vol. de roca 2 (m ³)	100	Masa	270	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	cuadrada	
Vol. de roca 3 (m ³)	60	Masa	162	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Semiesférica	

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Tipos de suelos o rocas	suelos granulados medianamente compactados a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas	1.5 a 2.5	Vulnerable a la erosión; o suelos de consistencia blanda	0.8
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas	1.2 a 2		
	Suelos arcillosos consisten o arena limosos compactos	0.5 a 1	Multiplicar por 1.3 si esta agrietado	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes	0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización	
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.)	0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según grado de meteorización	
	Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5	Revisar cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.
5 a 10 m		1.0		
10 a 15 m		1.4		
15 a 20 m		1.8		

Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	Menos de 15°	0.2	Considérese planos de contacto entre formaciones, grietas, juntas y planos de debilidad	0.4
		25° a 35°	0.4		
		Más de 45°	0.6		
	Angulo entre el echado de las discontinuidades	Más de 10°	0.3	Ángulo diferencial positivo si el	0.3



	y la inclinación del talud.	0° a 10°	0.5	echado es mayor que la inclinación de talud.	
		0°	0.7		
		0° a -10°	0.8		
		Más de -10°	1.0		
	Ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Más de 30°	0.2	Considerar la dirección de las discontinuidades más representativas	0.5
		10° a 20°	0.3		
		Menos de 5°	0.5		

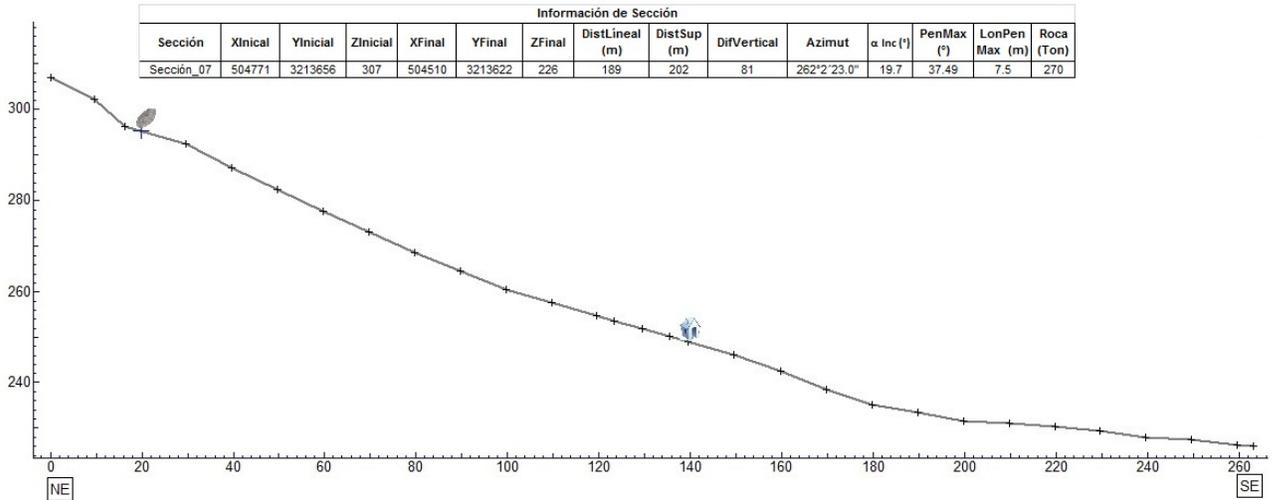


Figura 32. Perfil de sección

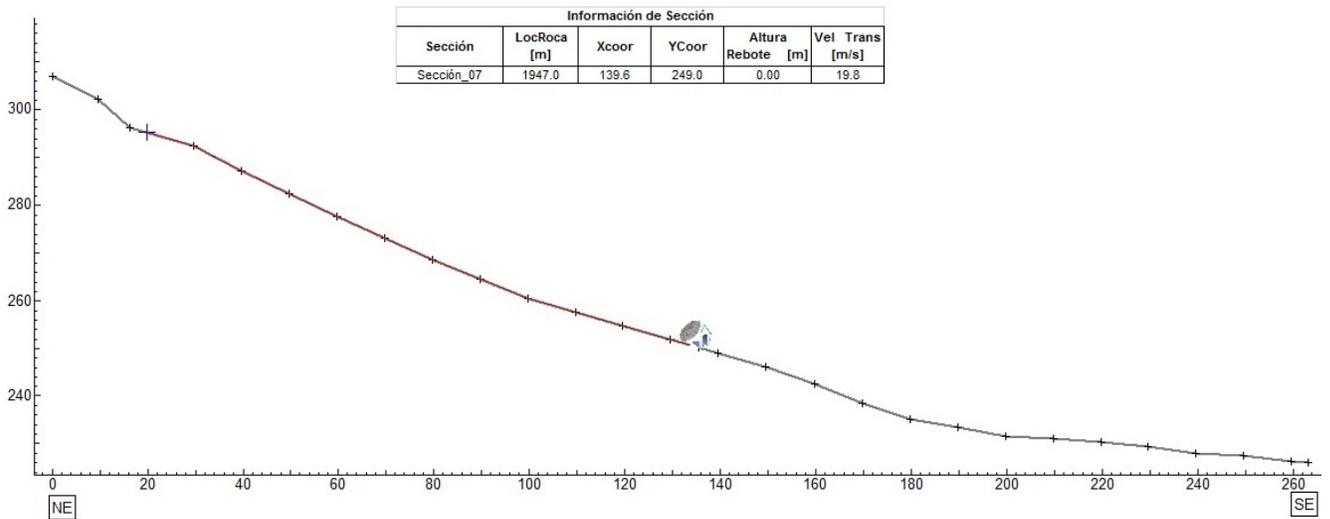


Figura 33. Condición normal de caída libre de roca

La posición de la roca en el lugar se observa en la Figura 32 y en la Figura 33 se indica el movimiento de la roca en su caída, los resultados arrojados fueron que la roca no se presenta

un rebote en la roca pero alcanza una velocidad de 19.8 m/s y una fuerza de impacto de 7.64 E+07 J.

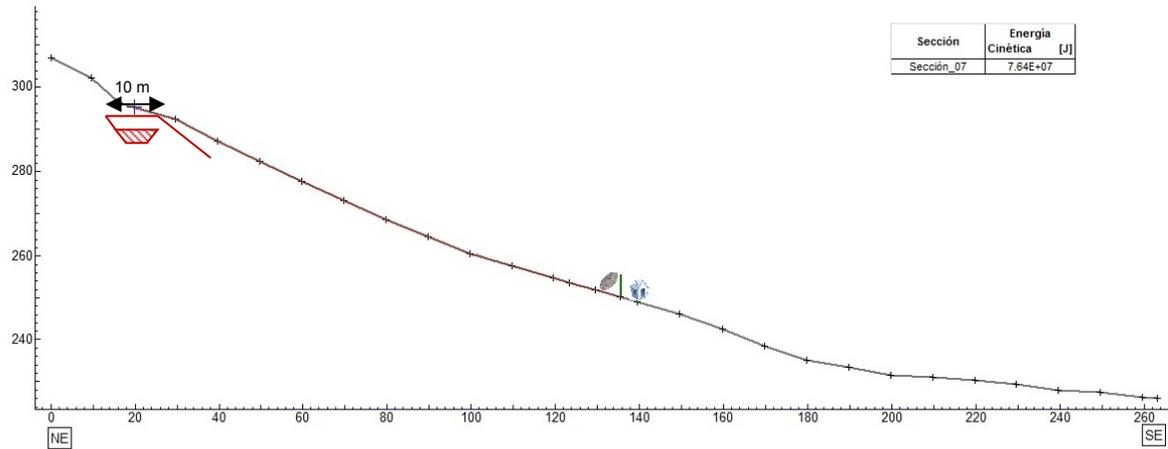


Figura 34. Medida de mitigación

Debido a las condiciones de la ladera en la trayectoria de la roca, se recomienda utilizar un atraque de estabilidad adyacente a la estructura de roca. Se debe optar por esta opción cuando no se presentan otras estructuras aguas arriba. El ancho del atraque puede ser de 10 metros (Figura 34). La longitud del atraque puede variar dependiendo del largo de la estructura de roca. Se recomienda utilizar un material seleccionado en el Capítulo VII (VII.3. Instalación de atraques de estabilidad) para el relleno del atraque, incluyendo una llave de anclaje o dentellón trapezoidal de un metro de profundidad por tres metros de ancho de base mayor. Esta medida es preventiva y requiere un plan de mantenimiento y monitoreo

Sección 08

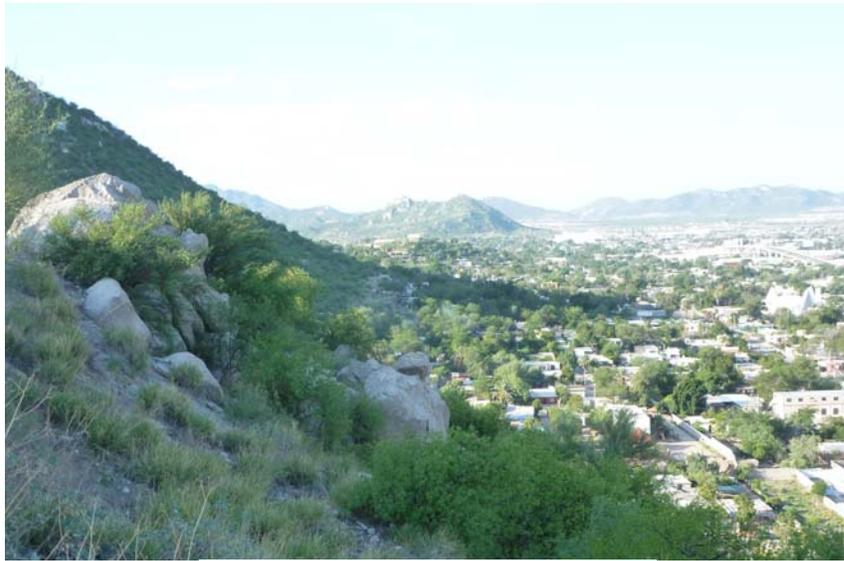


Foto 18. Sección 08

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsese clinómetro Indicar valor 26 ° a 24°	1.4
	35° a 45°	1.8		
	25° a 35°	1.4		
	15° a 25°	1.0		
	Menos de 15°	0.5		
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsense nivelaciones, planos o cartas topográficas.	1.2
	50 a 100 m	1.2		
	100 a 200m	1.6		
	Más de 200 m	2.0		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de los lugareños	0.3
	Algunos someros	0.4		
	Sí, incluso con fechas	0.6		



FACTORES GEOMORFOLOGICOS Y AMBIENTALES

Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujo)	0.5
	Volúmenes moderados	0.5		
	Grandes volúmenes delatantes	1.0		
Vegetación y uso de tierra	Zona Urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima	2.0
	Cultivos anuales	1.5		
	Vegetación intensa	0.0		
	Vegetación moderada	0.8		
	Área deforestada	2.0		
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.	0.0
	Nivel freático inexistente	0.0		
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o plataforma	1.0		

FACTORES GEOTECNICOS

Fracturamiento

Fracturamiento 1	R 10SE; E 54SW	Fracturamiento 4	R 85NW; E 76 SE
Fracturamiento 2	R 5SE; E 52SW	Fracturamiento 5	R 34SE; 17 NE
Fracturamiento 3	R 50 SW; VERTICAL	Fracturamiento 6	R 68 SE; VERTICAL

Caída Roca

Vol. de roca1 (m ³)	12	Masa	32.4	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Rectangular	
Vol. de roca 2 (m ³)	36	Masa	97.2	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	cuadrada	
Vol. de roca 3 (m ³)	180	Masa	486	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Tabular	

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Tipos de suelos o rocas	suelos granulados medianamente compactados a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas	1.5 a 2.5	Vulnerable a la erosión; o suelos de consistencia blanda	0.4
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizado	1.2 a 2		
	Suelos arcillosos consisten o arena limosos compactos	0.5 a 1	Multiplicar por 1.3 si esta agrietado	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes	0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización	
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.)	0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según grado de meteorización	
Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5	Revisar cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.	0.5
	5 a 10 m	1.0		
	10 a 15 m	1.4		
	15 a 20 m	1.8		

Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	Menos de 15°	0.2	Considerarse planos de contacto entre formaciones, grietas, juntas y planos de debilidad	0.4
		25° a 35°	0.4		
		Más de 45°	0.6		
	Angulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud.	Más de 10°	0.3	Ángulo diferencial positivo si el echado es mayor que la inclinación de talud.	0.3
		0° a 10°	0.5		
		0°	0.7		
		0° a -10°	0.8		
	Ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Más de 30°	0.2	Considerar la dirección de las discontinuidades más representativas	0.5
		10° a 20°	0.3		
		Menos de 5°	0.5		

La Figura 35 indica la localización de la roca y en la Figura 36 se indica con línea la trayectoria de la roca hasta impactar con una barrera, la velocidad de la roca es 20.4 m/s según los resultados la roca no presenta rebote

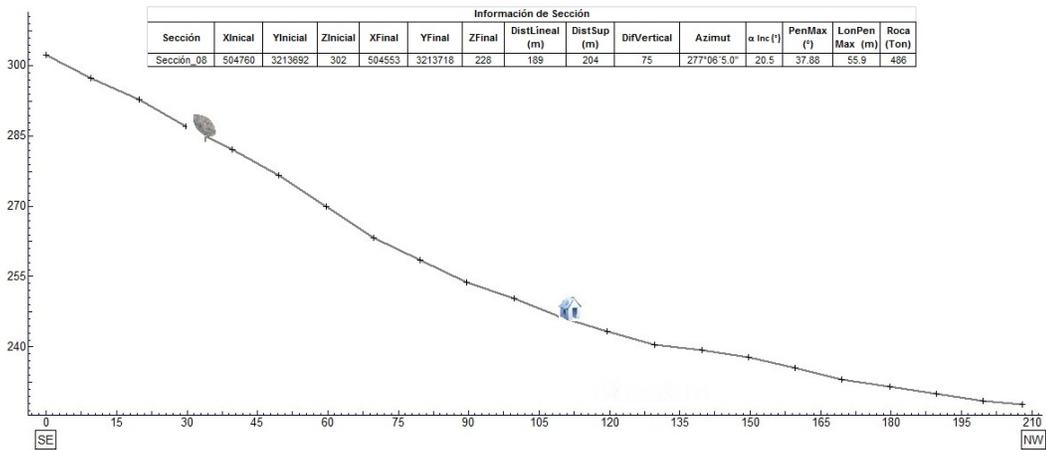


Figura 35. Perfil de sección

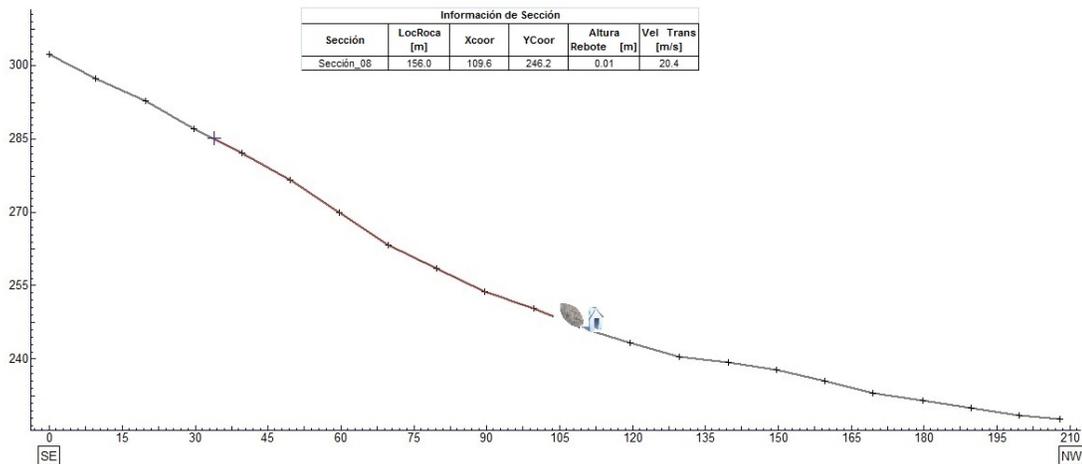


Figura 36. Condición normal de caída libre de roca

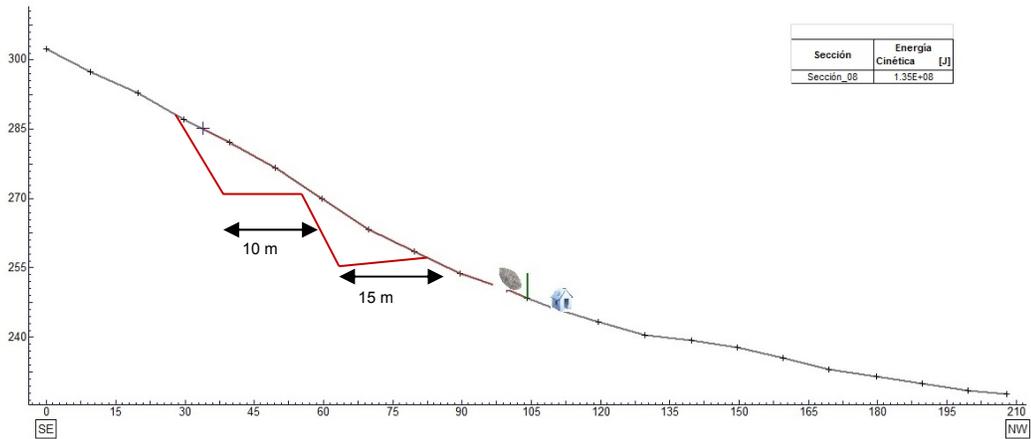


Figura 37. Medida de mitigación

Debido al tamaño, la velocidad y cantidad de energía de impacto de la roca ($1.35E+08$ J), no se recomienda el uso de mallas ancladas por superar el límite de capacidad (VII.1. Mallas de contención). Pero gracias a la distancia disponible del recorrido de la roca y de la carencia de rebote, se puede optar por el cambio de características del talud de la ladera, creando un área de captación con una distancia de aproximadamente 10 y 15 metros en 2 banquetas como se muestra en la Figura 37. Para brindar mayor seguridad, se recomienda que el corte del terreno debe realizarse en banquetas de aproximadamente 20 metros de largo para atrapar distintas posibles trayectorias de la estructura 8 como se indica en la Figura 13. El diseño deberá realizarse en base a métodos como los mencionados en la Capítulo VII.

Sección 09

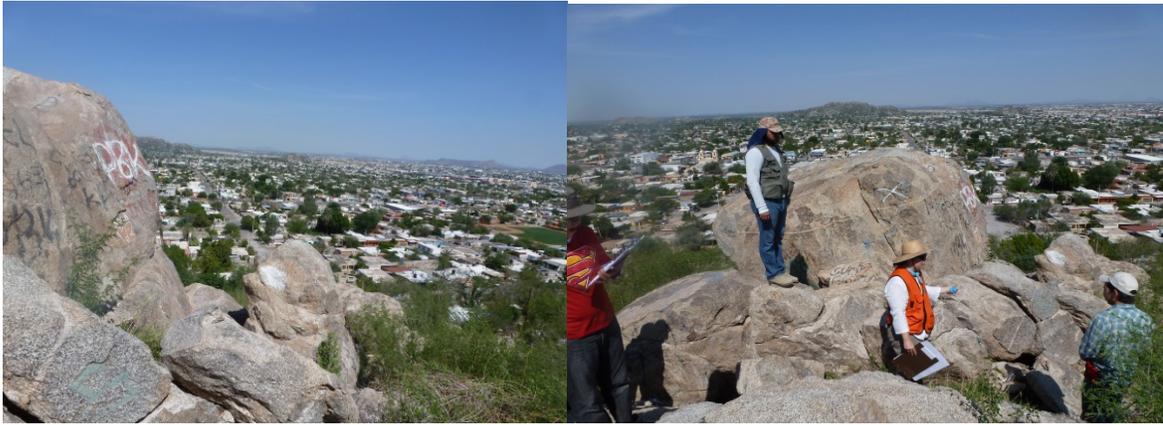


Foto 19. Sección 09

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsese clinómetro Indicar valor 27°	1.4
	35° a 45°	1.8		
	25° a 35°	1.4		
	15° a 25°	1.0		
	Menos de 15°	0.5		
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsense nivelaciones, planos o cartas topográficas.	1.2
	50 a 100 m	1.2		
	100 a 200m	1.6		
	Más de 200 m	2.0		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de los lugareños	0.6
	Algunos someros	0.4		
	Sí, incluso con fechas	0.6		

FACTORES GEOMORFOLOGICOS Y AMBIENTALES

Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujo)	0.5
	Volúmenes moderados	0.5		
	Grandes volúmenes delatantes	1.0		
Vegetación y uso de tierra	Zona Urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima	2.0
	Cultivos anuales	1.5		
	Vegetación intensa	0.0		
	Vegetación moderada	0.8		
	Área deforestada	2.0		
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.	1.0
	Nivel freático inexistente	0.0		
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o plataforma	1.0		



FACTORES GEOTECNICOS

Fracturamiento

Fracturamiento 1	R 60 NW E 68NE	Fracturamiento 3
Fracturamiento 2	R 82 NE E 16SE	Fracturamiento 4

Caída Roca

Vol. de roca1 (m3)	64	Masa	172.8	ton
ρ Roca (gr/cm3)	2.7	Forma de roca	Rectangular	

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Tipos de suelos o rocas	suelos granulados medianamente compactados a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas	1.5 a 2.5	Vulnerable a la erosión; o suelos de consistencia blanda	0.8
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas	1.2 a 2		
	Suelos arcillosos consisten o arena limosos compactos	0.5 a 1	Multiplicar por 1.3 si esta agrietado	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes	0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización	
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.)	0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según grado de meteorización	
Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5	Revisar cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.	0.5
	5 a 10 m	1.0		
	10 a 15 m	1.4		
	15 a 20 m	1.8		

Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	Menos de 15°	0.2	Considérese planos de contacto entre formaciones, grietas, juntas y planos de debilidad	0.6
		25° a 35°	0.4		
		Más de 45°	0.6		
	Angulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud.	Más de 10°	0.3	Ángulo diferencial positivo si el echado es mayor que la inclinación de talud.	0.3
		0° a 10°	0.5		
		0°	0.7		
		0° a -10°	0.8		
	Ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Más de -10°	1.0	Considerar la dirección de las discontinuidades más representativas	0.2
		Más de 30°	0.2		
10° a 20°		0.3			
		Menos de 5°	0.5		

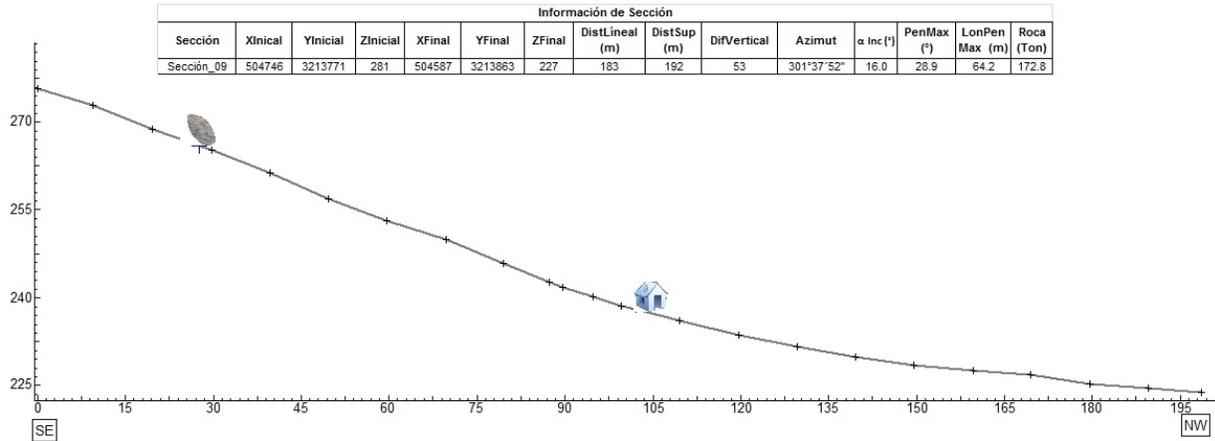


Figura 38. Perfil de sección

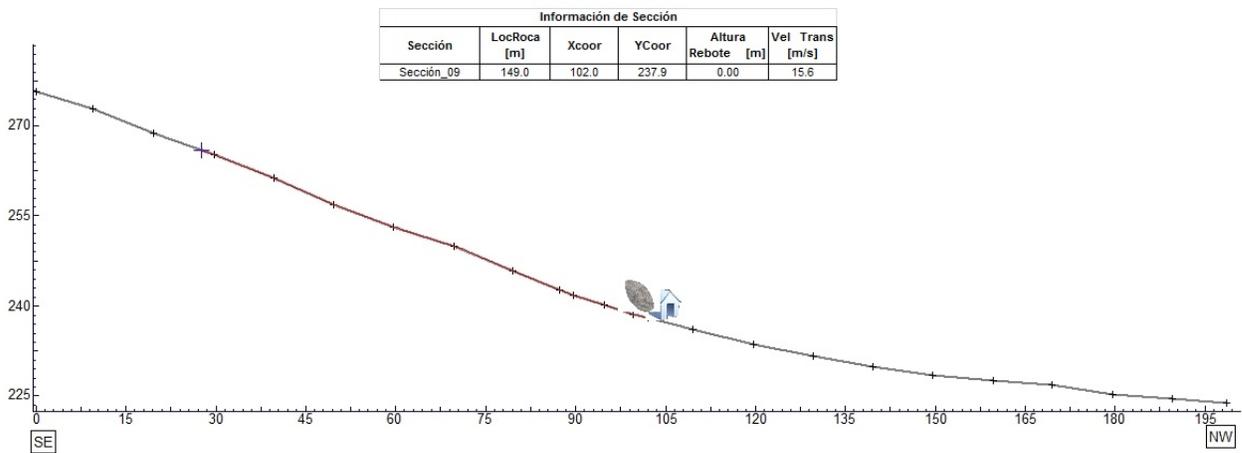


Figura 39. Condición normal de caída libre de roca

El perfil de la sección se observa en la Figura 38, en esta figura nos indica la posición inicial de la roca y en la Figura 39 podemos ver en color rojo la trayectoria de la roca y la velocidad arrojada de la modelación es de 15.6 m/s sin rebote.

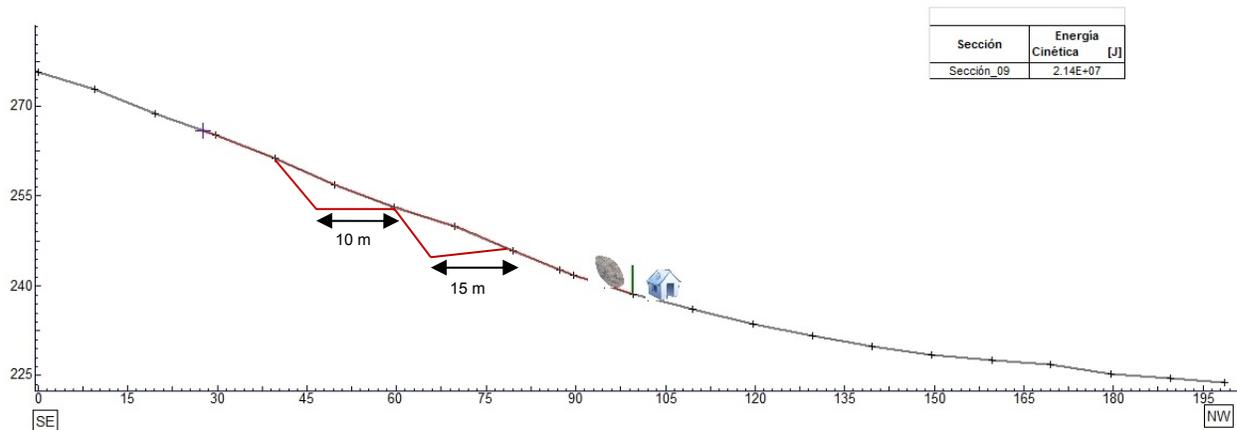


Figura 40. Medida de mitigación

De los datos de tamaño, velocidad y cantidad de energía de impacto ($2.14E+07$ J) de la roca no se recomienda el uso de mallas ancladas por superar el límite de capacidad (VII.1. Mallas de contención). Debido a la distancia disponible de recorrido de la roca y de la ausencia de rebote puede optar por el cambio de características del talud de la ladera, creando un área de captación con una distancia de aproximadamente 10 y 15 metros en 2 banquetas como se muestra en la Figura 40. Para brindar mayor seguridad, se recomienda que el corte del terreno debe realizarse en banquetas de aproximadamente 20 metros de largo para atrapar distintas posibles trayectorias de la estructura 1 como se indica en la Figura 13. El diseño deberá realizarse en base a métodos como los mencionados en el apartado VII.2. Modificación del talud de la trayectoria de la estructura de roca.

Sección 10



Foto 20. Sección 10

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsense clinómetro Indicar valor Promedio = 18.05° Máxima = 30°	1.4
	35° a 45°	1.8		
	25° a 35°	1.4		
	15° a 25°	1.0		
	Menos de 15°	0.5		
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsense nivelaciones, planos o cartas topográficas.	0.6
	50 a 100 m	1.2		
	100 a 200m	1.6		
	Más de 200 m	2.0		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de los lugareños	0.6
	Algunos someros	0.4		
	Sí, incluso con fechas	0.6		

FACTORES GEOMORFOLÓGICOS Y AMBIENTALES

Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujo)	0.6
	Volúmenes moderados	0.5		
	Grandes volúmenes delatantes	1.0		
Vegetación y uso de tierra	Zona Urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima	2.0
	Cultivos anuales	1.5		
	Vegetación intensa	0.0		
	Vegetación moderada	0.8		
	Área deforestada	2.0		
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.	0.0
	Nivel freático inexistente	0.0		
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o plataforma	1.0		



FACTORES GEOTECNICOS

Caída Roca

Vol. de roca 1 (m ³)	0.5	Masa	1.5	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Semiredonda	
Vol. de roca 2 (m ³)	9	Masa	24.3	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Semicuadrada	

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Tipos de suelos o rocas	Suelos granulados medianamente compactados a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas	1.5 a 2.5	Vulnerable a la erosión; o suelos de consistencia blanda	0.8
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas	1.2 a 2		
	Suelos arcillosos consisten o arena limosos compactos	0.5 a 1	Multiplicar por 1.3 si esta agrietado	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes	0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización	
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.)	0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según grado de meteorización	
	Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5	Revisar cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.
5 a 10 m		1.0		
10 a 15 m		1.4		
15 a 20 m		1.8		

Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	Menos de 15°	0.2	Considérese planos de contacto entre formaciones, grietas, juntas y planos de debilidad	0.2
		25° a 35°	0.4		
		Más de 45°	0.6		
	Angulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud.	Más de 10°	0.3	Ángulo diferencial positivo si el echado es mayor que la inclinación de talud.	0.5
		0° a 10°	0.5		
		0°	0.7		
		0° a -10°	0.8		
	Ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Más de -10°	1.0	Considerar la dirección de las discontinuidades más representativas	0.5
		Más de 30°	0.2		
		10° a 20°	0.3		
		Menos de 5°	0.5		

La Figura 41 indica la ubicación de la roca en la ladera y en la Figura 42 los datos obtenidos del modelo, estos datos son velocidades de 12.2 m/s y una fuerza de impacto de 1.4E+05J.

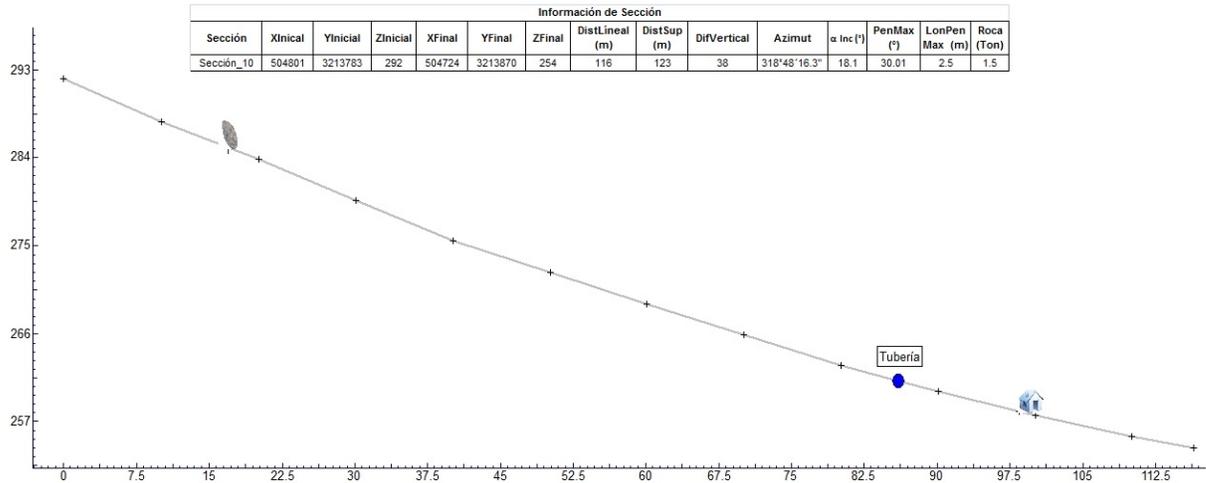


Figura 41. Perfil de sección

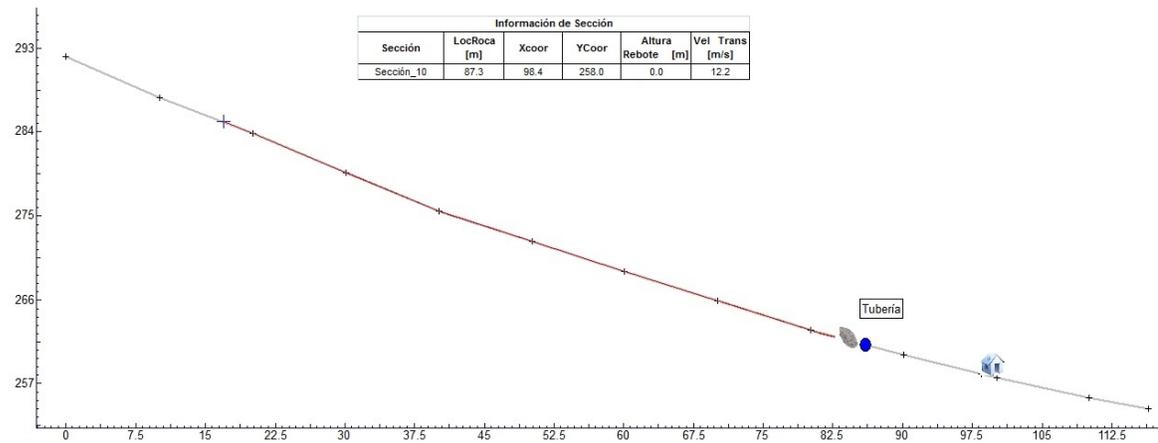


Figura 42. Condición normal de caída libre de roca

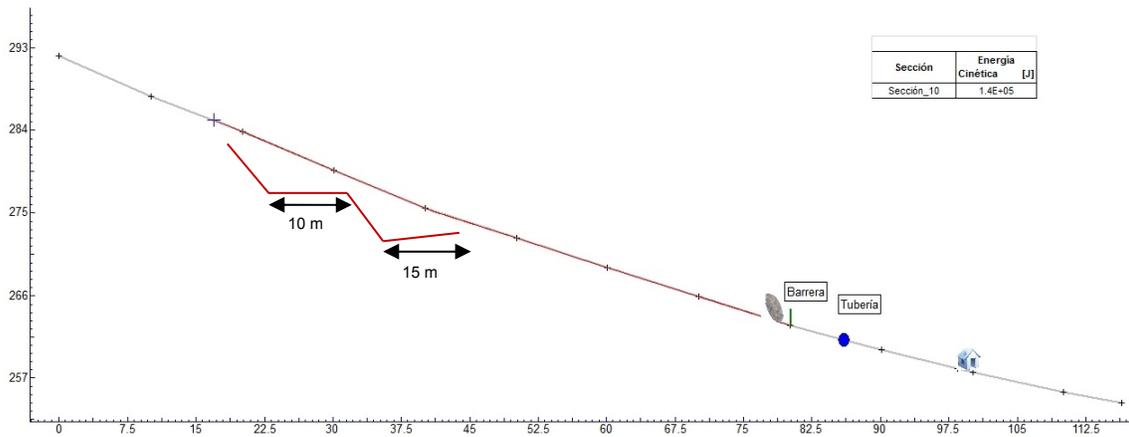


Figura 43. Medida de mitigación



Se recomienda el cambio de características del talud de la ladera, creando un área de captación con una distancia de aproximadamente 10 y 15 metros en 2 banquetas como se muestra en la Figuras 43. Para brindar mayor seguridad, se recomienda que el corte del terreno debe realizarse en banquetas continuas a lo largo de toda la tubería que proviene de la potabilizadora ubicada en la parte superior del cerro para interceptar las posibles trayectorias de las familias de fracturas del sitio 6 como se indica en la Figura 13. El diseño deberá realizarse en base a métodos como los mencionados en la Capítulo VII.2. Modificación del talud de la trayectoria de la estructura de roca. Se recomienda taludes de corte de 1H: 1V, para terreno rocoso, y 1.5H:1V para terreno suelto. Las secciones deberán ser diseñadas analizando la estabilidad de taludes de acuerdo a la norma SEMARNAT (SEMARNAT, 2010). Dependiendo de la topografía de la ladera, se deberán excavar las banquetas cerca de las estructuras de roca para recibir impactos con menor cantidad de energía. Se deberán excavar las banquetas con una pendiente longitudinal que proporcione una pendiente para drenaje pluvial.

Sección 11

En esta sección se marca una diferencia de 11a y 11b para mostrar dos casos de roca en la primera es una roca que se encuentra en la parte media de la ladera y otra más abajo.

Sección 11a



Foto 21. Sección 11a

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsese clinómetro Indicar valor Promedio = 18.58° Máxima = 25.66°	1.4
	35° a 45°	1.8		
	25° a 35°	1.4		
	15° a 25°	1.0		
	Menos de 15°	0.5		
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsense nivelaciones, planos o cartas topográficas.	0.6
	50 a 100 m	1.2		
	100 a 200m	1.6		
	Más de 200 m	2.0		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de los lugareños	0.6
	Algunos someros	0.4		
	Sí, incluso con fechas	0.6		



FACTORES GEOMORFOLOGICOS Y AMBIENTALES

Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujo)	1.0
	Volúmenes moderados	0.5		
	Grandes volúmenes delatantes	1.0		
Vegetación y uso de tierra	Zona Urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima	2.0
	Cultivos anuales	1.5		
	Vegetación intensa	0.0		
	Vegetación moderada	0.8		
	Área deforestada	2.0		
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.	0.0
	Nivel freático inexistente	0.0		
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o plataforma	1.0		

FACTORES GEOTECNICOS

Fracturamiento

Fracturamiento 1	75 NW; 64 NE	Fracturamiento 2
------------------	--------------	------------------

Caída Roca

Vol. de roca1 (m ³)	3.1	Masa	8.5 ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Semiredonda

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Tipos de suelos o rocas	Suelos granulados medianamente compactados a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas	1.5 a 2.5	Vulnerable a la erosión; o suelos de consistencia blanda	0.8
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas	1.2 a 2		
	Suelos arcillosos consisten o arena limosos compactos	0.5 a 1	Multiplicar por 1.3 si esta agrietado	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobos competentes	0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización	
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.)	0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según grado de meteorización	
	Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5	Revisar cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.
5 a 10 m		1.0		
10 a 15 m		1.4		
15 a 20 m		1.8		

Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	Menos de 15°	0.2	Considérese planos de contacto entre formaciones, grietas, juntas y planos de debilidad	0.6
		25° a 35°	0.4		
		Más de 45°	0.6		
Ángulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud.	Más de 10°	0.3	Ángulo diferencial positivo si el echado es mayor que la inclinación de talud.	0.3	
	0° a 10°	0.5			
	0°	0.7			
	0° a -10°	0.8			



	Ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Más de -10°	1.0	Considerar la dirección de las discontinuidades más representativas	0.2
		Más de 30°	0.2		
		10° a 20°	0.3		
		Menos de 5°	0.5		

La Figura 44 muestra la localización de la roca en el lugar de estudio y en la Figura 45 nos muestra la trayectoria recorrida en caída libre que alcanza una velocidad de 9.8 m/s y una fuerza de impacto de 5.5E+05 J.

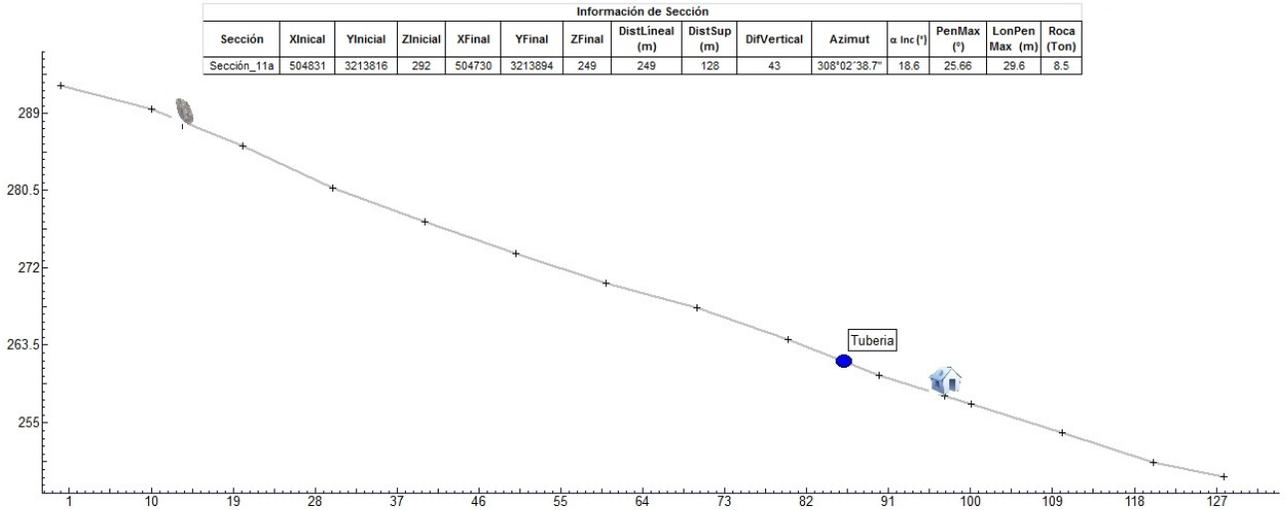


Figura 44. Perfil de sección

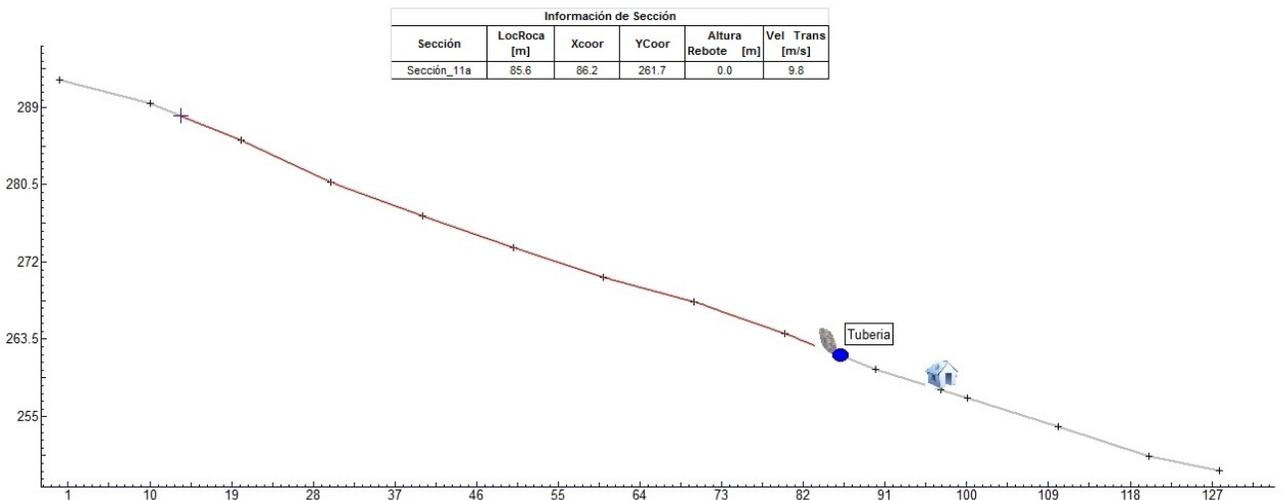


Figura 45. Condición normal de caída libre de roca

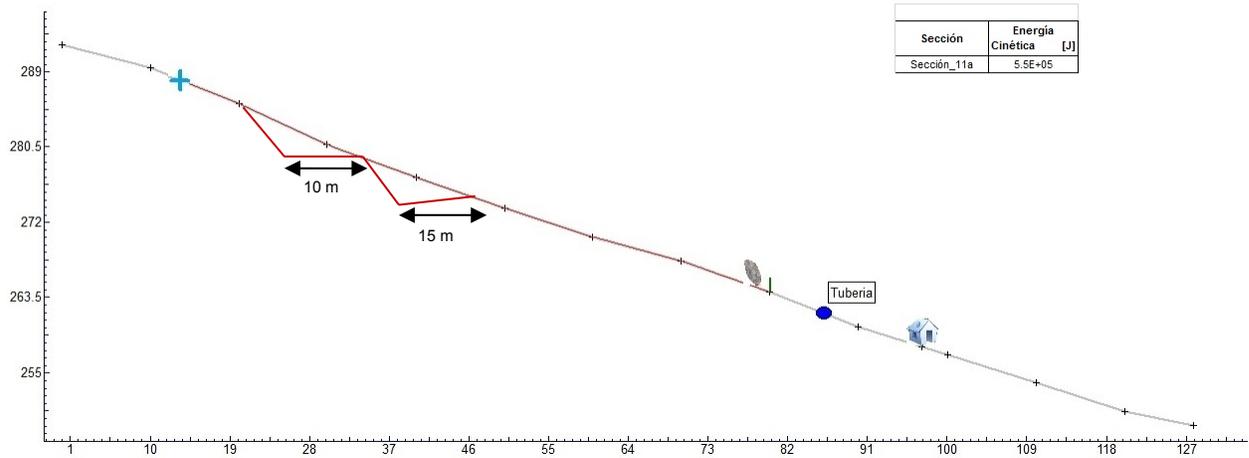


Figura 46. Medida de mitigación

La Figura 46 nos muestra el diseño de modificación del talud para este caso, creando un área de captación con una distancia de aproximadamente 10 y 15 metros en 2 banquetas. Para brindar mayor seguridad, se recomienda que el corte del terreno debe realizarse en banquetas continuas a lo largo de toda la tubería que proviene de la potabilizadora ubicada en la parte superior del cerro para interceptar las posibles trayectorias de la familia de fracturas del sitio 6 Figura 13. El diseño deberá realizarse en base a métodos como los mencionados en la Capítulo VII.2. Modificación del talud de la trayectoria de la estructura de roca. Se recomienda taludes de corte de 1H: 1V, para terreno rocoso, y 1.5H:1V para terreno suelto. Las secciones deberán ser diseñadas analizando la estabilidad de taludes de acuerdo a la norma SEMARNAT (SEMARNAT, 2010). Dependiendo de la topografía de la ladera, se deberán excavar las banquetas cerca de las estructuras de roca para recibir impactos con menor cantidad de energía. Se deberán excavar las banquetas con una pendiente longitudinal que proporcione una pendiente para drenaje pluvial.

Sección 11b



Foto 22. Sección 11b

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsese clinómetro Indicar valor Promedio = 21.64 Máxima =32.28	1.4
	35° a 45°	1.8		
	25° a 35°	1.4		
	15° a 25°	1.0		
	Menos de 15°	0.5		
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsense nivelaciones, planos o cartas topográficas.	0.5
	50 a 100 m	1.2		
	100 a 200m	1.6		
	Más de 200 m	2.0		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de los lugareños	0.6
	Algunos someros	0.4		
	Sí, incluso con fechas	0.6		

FACTORES GEOMORFOLOGICOS Y AMBIENTALES

Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujo)	1.0
	Volúmenes moderados	0.5		
	Grandes volúmenes delatantes	1.0		
Vegetación y uso de tierra	Zona Urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima	2.0
	Cultivos anuales	1.5		
	Vegetación intensa	0.0		
	Vegetación moderada	0.8		
	Área deforestada	2.0		
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.	0.0
	Nivel freático inexistente	0.0		
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o plataforma	1.0		



FACTORES GEOTECNICOS

Fracturamiento

Fracturamiento 1	30NW;13NE	Fracturamiento 2
------------------	-----------	------------------

Caída Roca

Vol. de roca 1 (m ³)	1.2	Masa	3.1	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Redonda	

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Tipos de suelos o rocas	Suelos granulados medianamente compactados a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas	1.5 a 2.5	Vulnerable a la erosión; o suelos de consistencia blanda	0.2
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas	1.2 a 2		
	Suelos arcillosos consisten o arena limosos compactos	0.5 a 1	Multiplicar por 1.3 si esta agrietado	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes	0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización	
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.)	0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según grado de meteorización	
Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5	Revisar cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.	0.5
	5 a 10 m	1.0		
	10 a 15 m	1.4		
	15 a 20 m	1.8		

Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	Menos de 15°	0.2	Considérese planos de contacto entre formaciones, grietas, juntas y planos de debilidad	0.2
		25° a 35°	0.4		
		Más de 45°	0.6		
	Angulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud.	Más de 10°	0.3	Ángulo diferencial positivo si el echado es mayor que la inclinación de talud.	0.3
		0° a 10°	0.5		
		0°	0.7		
		0° a -10°	0.8		
	Ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Más de 30°	0.2	Considerar la dirección de las discontinuidades más representativas	0.5
		10° a 20°	0.3		
Menos de 5°		0.5			

La posición de la roca se puede observar en el perfil de sección de la Figura 47 y la Figura 48 nos indica la trayectoria de la roca, la velocidad alcanzada por esta es de 9.4 m/s con una fuerza de impacto de 1.8 E+05 J.

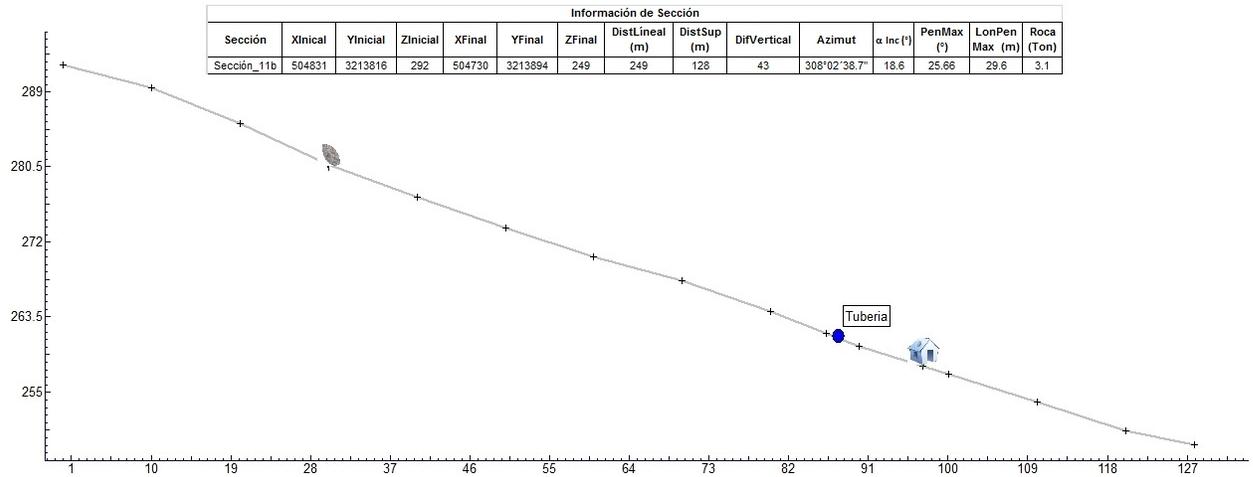


Figura 47. Perfil de sección

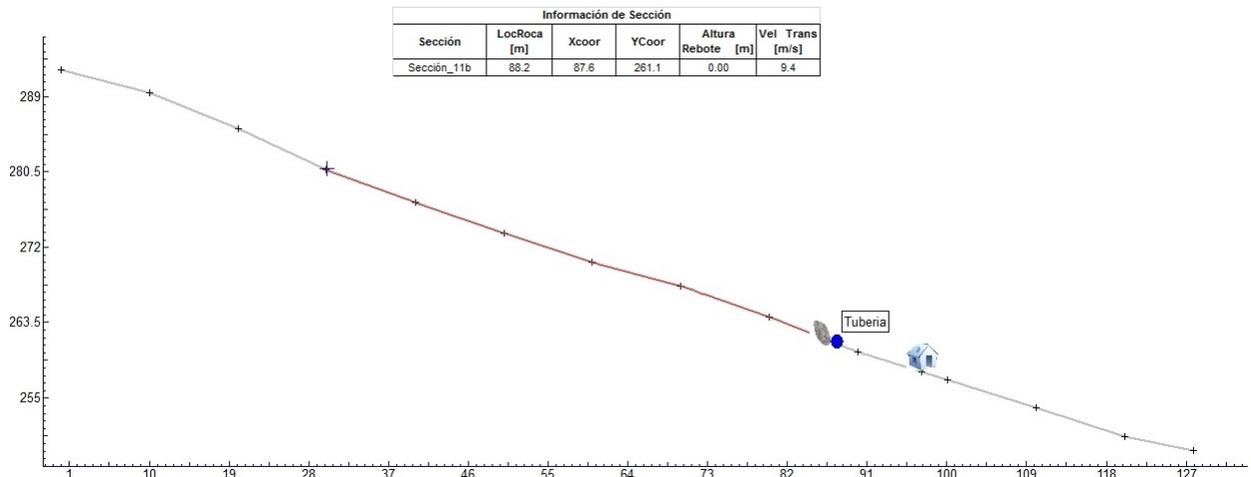


Figura 48. Condición normal de caída libre de roca

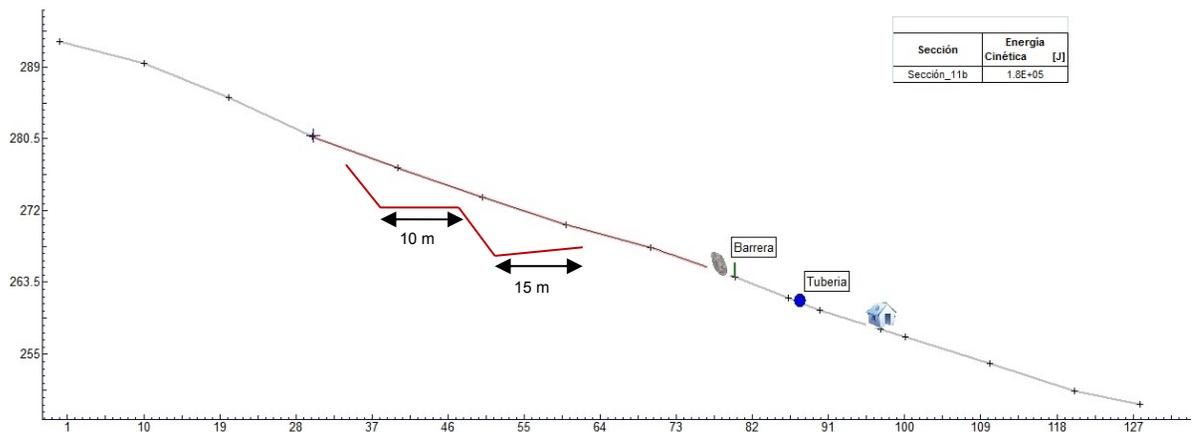


Figura 49. Medida de mitigación



Como en caso anterior (11a) la recomendación es la modificación del talud, creando un área de captación con una distancia de aproximadamente 10 y 15 metros en 2 banquetas (Figura 49). Para brindar mayor seguridad, se recomienda que el corte del terreno debe realizarse en banquetas continuas a lo largo de toda la tubería que proviene de la potabilizadora ubicada en la parte superior del cerro para interceptar las posibles trayectorias de la familia de fracturas del sitio 6 Figura 13. El diseño deberá realizarse en base a métodos como los mencionados en la Capitulo VII.2. Modificación del talud de la trayectoria de la estructura de roca. Se recomienda taludes de corte de 1H:1V, para terreno rocoso, y 1.5H:1V para terreno suelto. Las secciones deberán ser diseñadas analizando la estabilidad de taludes de acuerdo a la norma SEMARNAT (SEMARNAT, 2010). Dependiendo de la topografía de la ladera, se deberán excavar las banquetas cerca de las estructuras de roca para recibir impactos con menor cantidad de energía. Se deberán excavar las banquetas con una pendiente longitudinal que proporcione una pendiente para drenaje pluvial.

Sección 12



Foto 23. Sección 12

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsese clinómetro Indicar valor Promedio = 21.64 Máxima = 32.28	1.0
	35° a 45°	1.8		
	25° a 35°	1.4		
	15° a 25°	1.0		
	Menos de 15°	0.5		
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsense nivelaciones, planos o cartas topográficas.	1.2
	50 a 100 m	1.2		
	100 a 200m	1.6		
	Más de 200 m	2.0		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de los lugareños	0.6
	Algunos someros	0.4		
	Sí, incluso con fechas	0.6		



FACTORES GEOMORFOLOGICOS Y AMBIENTALES

Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujo)	1.0
	Volúmenes moderados	0.5		
	Grandes volúmenes delatantes	1.0		
Vegetación y uso de tierra	Zona Urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima	2.0
	Cultivos anuales	1.5		
	Vegetación intensa	0.0		
	Vegetación moderada	0.8		
	Área deforestada	2.0		
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.	0.0
	Nivel freático inexistente	0.0		
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o plataforma	1.0		

FACTORES GEOTECNICOS

Fracturamiento

Fracturamiento 1	25NE; 77SE	Fracturamiento 4	
Fracturamiento 2	27SE; VERTICAL	Fracturamiento 5	
Fracturamiento 3	70NE;55SE	Fracturamiento 6	

Caída Roca

Vol. de roca 1 (m ³)	2.1	Masa	5.7	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Cuadrada	
Vol. de roca 2 (m ³)	2.6	Masa	6.9	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Tabular	

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Tipos de suelos o rocas	Suelos granulados medianamente compactados a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas	1.5 a 2.5	Vulnerable a la erosión; o suelos de consistencia blanda	0.8
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas	1.2 a 2		
	Suelos arcillosos consisten o arena limosos compactos	0.5 a 1	Multiplicar por 1.3 si esta agrietado	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobos competentes	0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización	
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.)	0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según grado de meteorización	
Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5	Revisar cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.	0.5
	5 a 10 m	1.0		
	10 a 15 m	1.4		
	15 a 20 m	1.8		

Aspectos estructurales en formaciones	Echado de la discontinuidad	Menos de 15°	0.2	Considérese planos de contacto entre formaciones, grietas, juntas y planos de debilidad	0.2
		25° a 35°	0.4		
		Más de 45°	0.6		



rocosas	Ángulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud.	Más de 10°	0.3	Ángulo diferencial positivo si el echado es mayor que la inclinación de talud.	0.5
		0° a 10°	0.5		
		0°	0.7		
		0° a -10°	0.8		
		Más de -10°	1.0		
	Ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Más de 30°	0.2	Considerar la dirección de las discontinuidades más representativas	0.5
10° a 20°	0.3				
Menos de 5°	0.5				

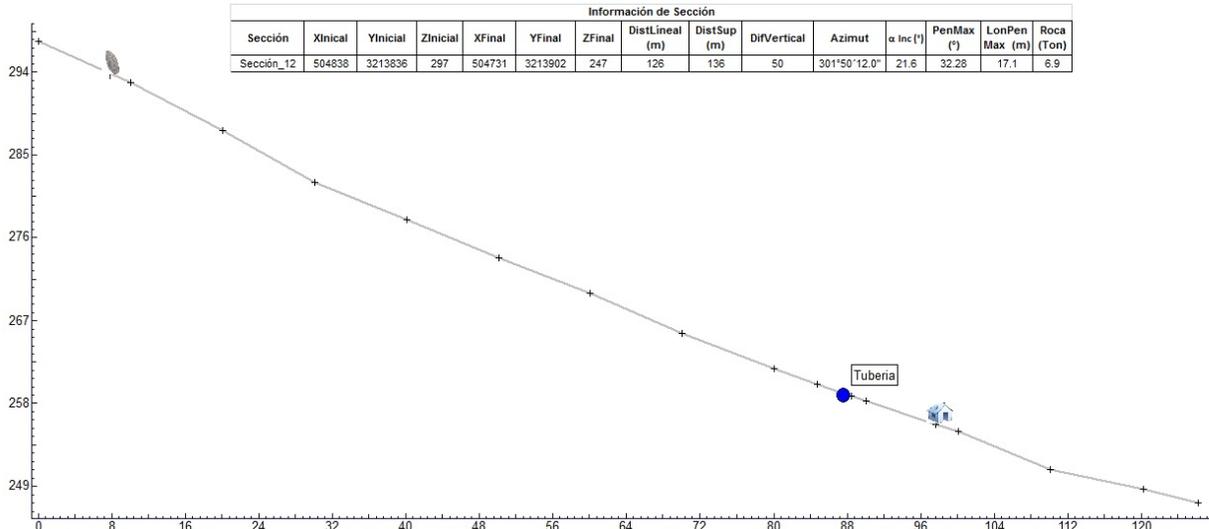


Figura 50. Perfil de sección

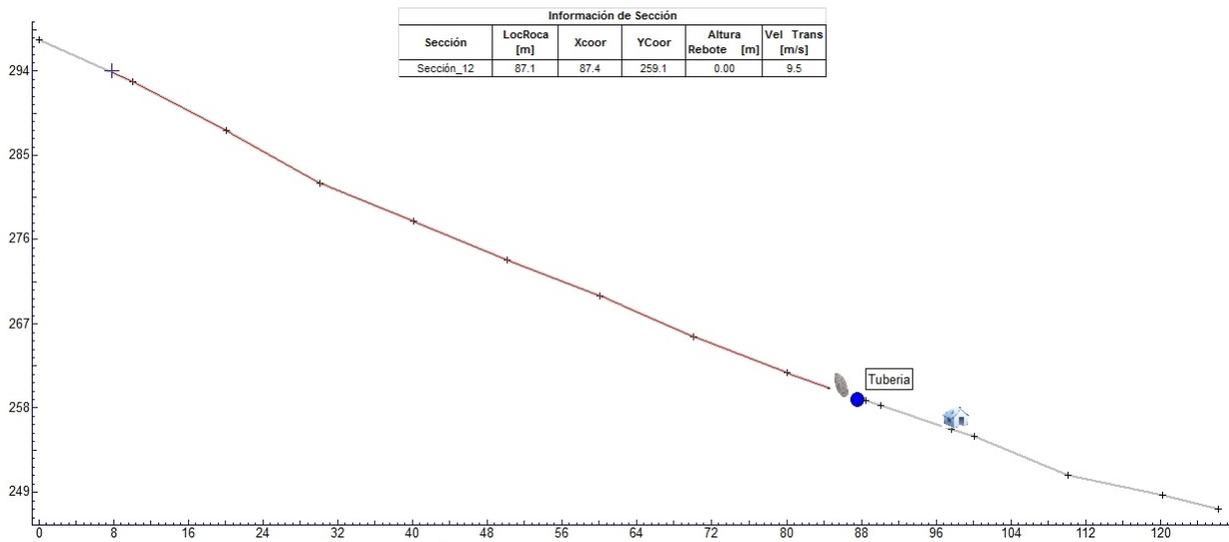


Figura 51. Condición normal de caída libre de roca

La Figura 50 muestra la ubicación de la roca en campo y la Figura 51 la trayectoria de esta, y la velocidad alcanzada es de 9.5 m/s sin rebote aparente.

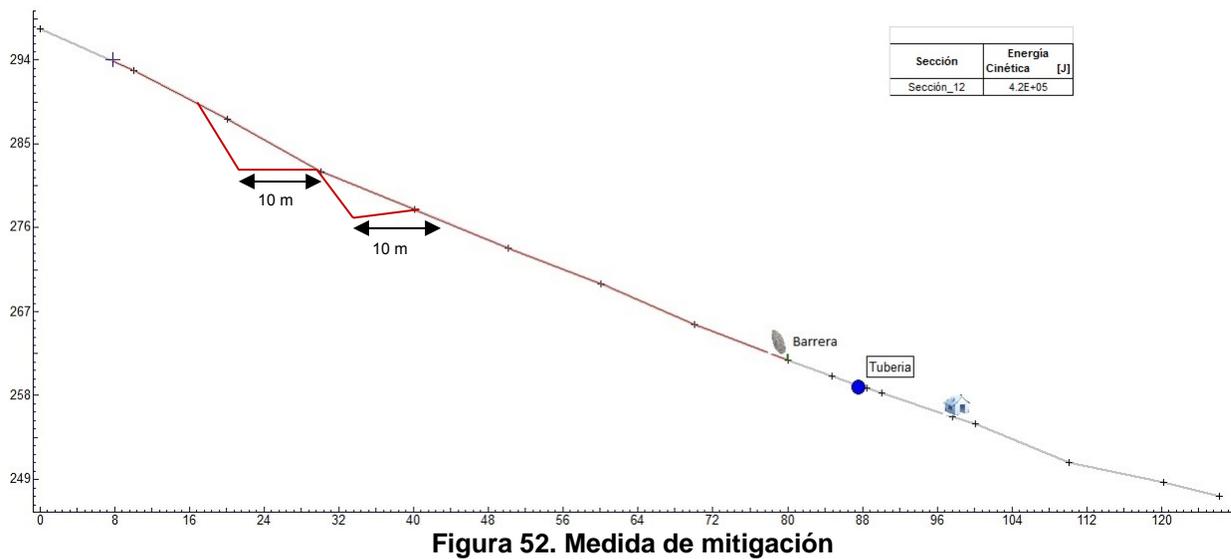


Figura 52. Medida de mitigación

La recomendación en este caso es modificación de talud como se observa en la Figura 52, creando un área de captación con una distancia de aproximadamente 10 y 10 metros en 2 banquetas. Para brindar mayor seguridad, se recomienda que el corte del terreno debe realizarse en banquetas continuas a lo largo de toda la tubería que proviene de la potabilizadora ubicada en la parte superior del cerro para interceptar las posibles trayectorias de la familia de fracturas del sitio 6 Figura 13. El diseño deberá realizarse en base a métodos como los mencionados en la Capítulo VII.2. Modificación del talud de la trayectoria de la estructura de roca. Se recomienda taludes de corte de 1H:1V, para terreno rocoso, y 1.5H:1V para terreno suelto. Las secciones deberán ser diseñadas analizando la estabilidad de taludes de acuerdo a la norma SEMARNAT (SEMARNAT, 2010). Dependiendo de la topografía de la ladera, se deberán excavar las banquetas cerca de las estructuras de roca para recibir impactos con menor cantidad de energía. Se deberán excavar las banquetas con una pendiente longitudinal que proporcione una pendiente para drenaje pluvial.

Sección 13

En esta sección se marca una diferencia de 13a y 13b para mostrar dos casos de roca en la primera es una roca que se encuentra en la parte superior de la ladera conocida como la Piedra Bola y otra más abajo.

Sección 13a

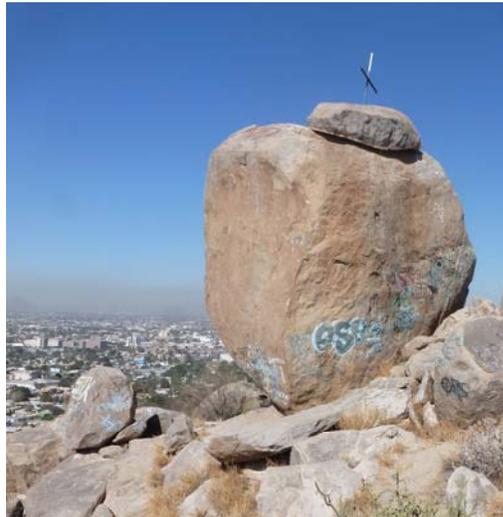


Foto 24. Sección 13a

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsese clinómetro Indicar valor Promedio = 24.03 Máxima = 38.52	1.8
	35° a 45°	1.8		
	25° a 35°	1.4		
	15° a 25°	1.0		
	Menos de 15°	0.5		
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsese nivelaciones, planos o cartas topográficas.	1.2
	50 a 100 m	1.2		
	100 a 200m	1.6		
	Más de 200 m	2.0		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de los lugareños	0.3
	Algunos someros	0.4		
	Sí, incluso con fechas	0.6		

FACTORES GEOMORFOLOGICOS Y AMBIENTALES

Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujo)	1.0
	Volúmenes moderados	0.5		
	Grandes volúmenes delatantes	1.0		
Vegetación y uso de tierra	Zona Urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la	2.0
	Cultivos anuales	1.5		



	Vegetación intensa	0.0	cima	
	Vegetación moderada	0.8		
	Área deforestada	2.0		
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.	0.0
	Nivel freático inexistente	0.0		
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o plataforma	1.0		

FACTORES GEOTECNICOS

Fracturamiento

Fracturamiento 1	R 25 NE; E 33NW	Fracturamiento 4	R 20NE; 57 SE
Fracturamiento 2	R 28 NE; E 16 NW	Fracturamiento 5	R 42 NE; 54 SE
Fracturamiento 3	R 42 NW; 11 SW	Fracturamiento 6	R 25 NE; 45SE

Caída Roca

Vol. de roca 1 (m ³)	350	Masa	945	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Tabular	

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Tipos de suelos o rocas	Suelos granulados medianamente compactados a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas	1.5 a 2.5	Vulnerable a la erosión; o suelos de consistencia blanda	0.8
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas	1.2 a 2		
	Suelos arcillosos consisten o arena limosos compactos	0.5 a 1	Multiplicar por 1.3 si esta agrietado	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes	0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización	
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.)	0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según grado de meteorización	
Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5	Revisar cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.	0.5
	5 a 10 m	1.0		
	10 a 15 m	1.4		
	15 a 20 m	1.8		

Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	Menos de 15°	0.2	Considérese planos de contacto entre formaciones, grietas, juntas y planos de debilidad	0.4
		25° a 35°	0.4		
		Más de 45°	0.6		
	Angulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud.	Más de 10°	0.3	Ángulo diferencial positivo si el echado es mayor que la inclinación de talud.	0.5
		0° a 10°	0.5		
		0°	0.7		
		0° a -10°	0.8		
	Ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Más de 30°	0.2	Considerar la dirección de las discontinuidades más representativas	0.5
		10° a 20°	0.3		
Menos de 5°		0.5			

La Figura 53 nos ubica la roca en la sección y la Figura 54 nos muestra la trayectoria de la roca que alcanza una velocidad de 20.9 m/s y una fuerza de impacto de 2.8E+08 J.

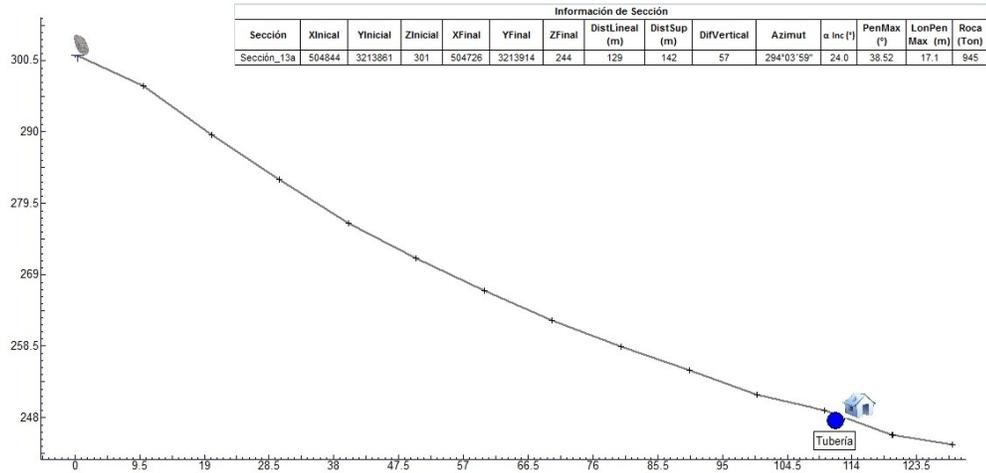


Figura 53. Perfil de sección

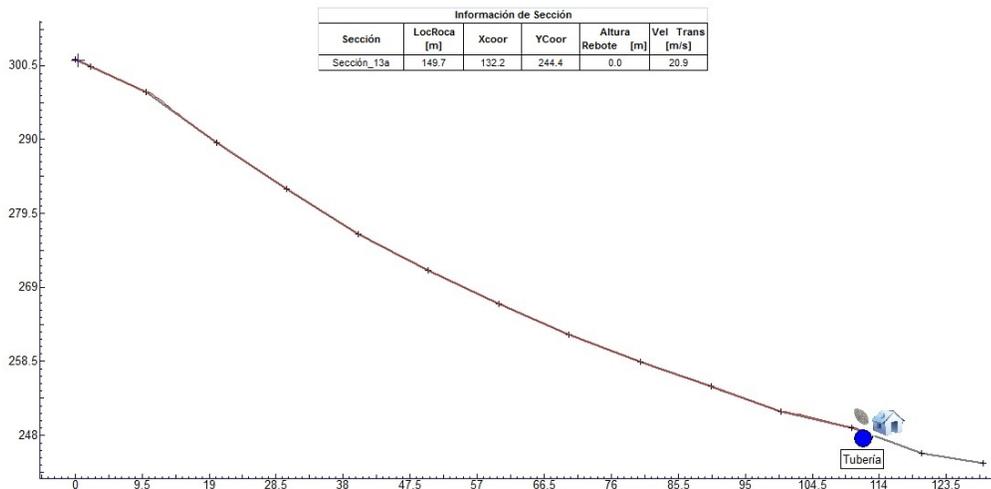


Figura 54. Condición normal de caída libre de roca

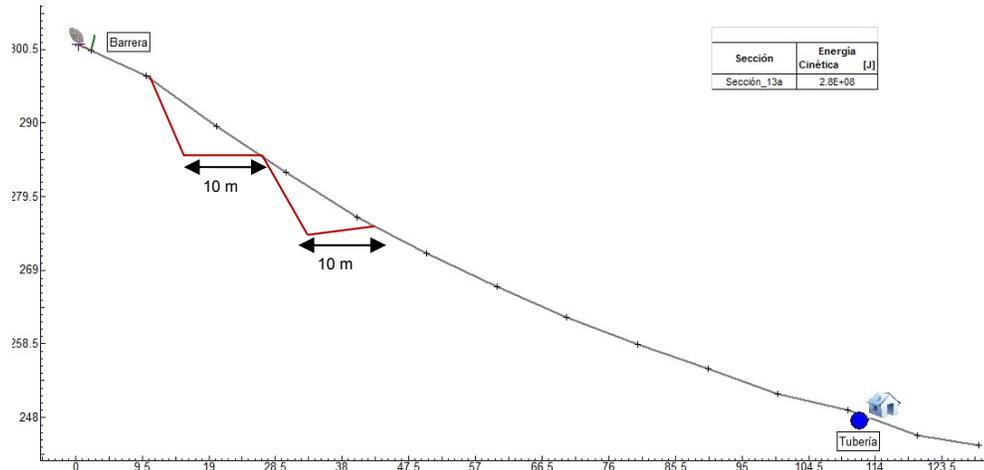


Figura 55. Medida de mitigación

La Figura 55 nos muestra el diseño de modificación del talud en el sitio, creando un área de captación con una distancia de aproximadamente 10 y 10 metros en 2 banquetas. Para brindar mayor seguridad, se recomienda que el corte del terreno debe realizarse en banquetas continuas a lo largo de toda la tubería que proviene de la potabilizadora ubicada en la parte superior del cerro para interceptar las posibles trayectorias de la familia de fracturas del sitio 6 Figura 13. El diseño deberá realizarse en base a métodos como los mencionados en la Capítulo VII.2. Modificación del talud de la trayectoria de la estructura de roca. Se recomienda taludes de corte de 1H:1V, para terreno rocoso, y 1.5H:1V para terreno suelto. Las secciones deberán ser diseñadas analizando la estabilidad de taludes de acuerdo a la norma SEMARNAT (SEMARNAT, 2010). Dependiendo de la topografía de la ladera, se deberán excavar las banquetas cerca de las estructuras de roca para recibir impactos con menor cantidad de energía. Se deberán excavar las banquetas con una pendiente longitudinal que proporcione una pendiente para drenaje pluvial.

Sección 13b

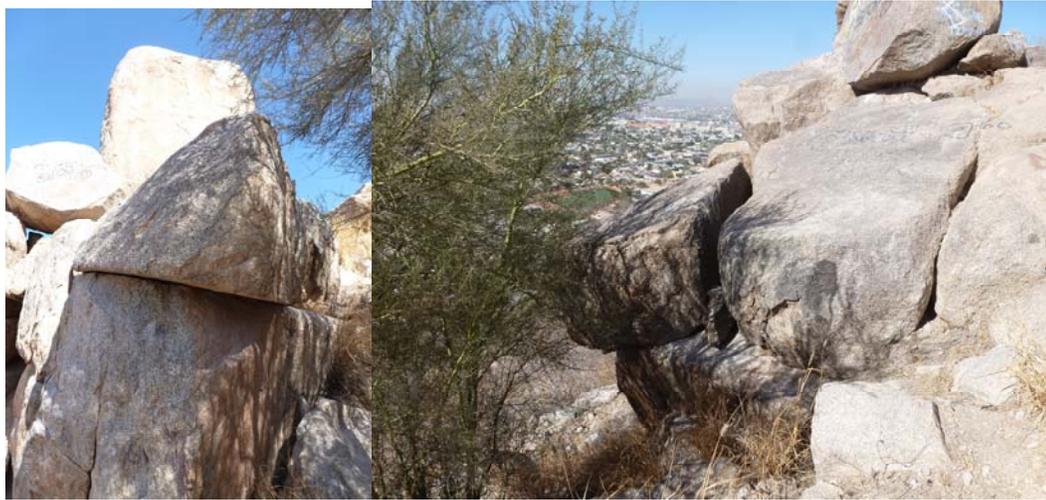


Foto 25. Sección 13b

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsese clinómetro Indicar valor Promedio = 24.03 Máxima = 38.52	1.8
	35° a 45°	1.8		
	25° a 35°	1.4		
	15° a 25°	1.0		
	Menos de 15°	0.5		
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsense nivelaciones, planos o cartas topográficas.	1.2
	50 a 100 m	1.2		
	100 a 200m	1.6		
	Más de 200 m	2.0		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de los lugareños	0.3
	Algunos someros	0.4		
	Sí, incluso con fechas	0.6		

FACTORES GEOMORFOLÓGICOS Y AMBIENTALES

Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujo)	1.0
	Volúmenes moderados	0.5		
	Grandes volúmenes delatantes	1.0		
Vegetación y uso de tierra	Zona Urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima	2.0
	Cultivos anuales	1.5		
	Vegetación intensa	0.0		
	Vegetación moderada	0.8		
	Área deforestada	2.0		
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.	0.0
	Nivel freático inexistente	0.0		
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o plataforma	1.0		



FACTORES GEOTECNICOS

Fracturamiento

Fracturamiento 1	R 25 NE; E 33NW	Fracturamiento 4	R 20NE; 57 SE
Fracturamiento 2	R 28 NE; E 16 NW	Fracturamiento 5	R 42 NE; 54 SE
Fracturamiento 3	R 42 NW; 11 SW	Fracturamiento 6	R 25 NE; 45SE

Caída Roca

Vol. de roca 1 (m ³)	1.3	Masa	3.6	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Redonda	
Vol. de roca 2 (m ³)	0.6	Masa	1.6	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Cuadradas	
Vol. de roca 3 (m ³)	2.5	Masa	6.7	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Redonda	

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Tipos de suelos o rocas	Suelos granulados medianamente compactados a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas	1.5 a 2.5	Vulnerable a la erosión; o suelos de consistencia blanda	0.8
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas	1.2 a 2		
	Suelos arcillosos consisten o arena limosos compactos	0.5 a 1	Multiplicar por 1.3 si esta agrietado	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes	0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización	
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.)	0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según grado de meteorización	
	Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5	Revisar cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.
5 a 10 m		1.0		
10 a 15 m		1.4		
15 a 20 m		1.8		

Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	Menos de 15°	0.2	Considérese planos de contacto entre formaciones, grietas, juntas y planos de debilidad	0.4
		25° a 35°	0.4		
		Más de 45°	0.6		
	Angulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud.	Más de 10°	0.3	Ángulo diferencial positivo si el echado es mayor que la inclinación de talud.	0.5
		0° a 10°	0.5		
		0°	0.7		
		0° a -10°	0.8		
		Más de -10°	1.0		
	Ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Más de 30°	0.2	Considerar la dirección de las discontinuidades más representativas	0.5
		10° a 20°	0.3		
		Menos de 5°	0.5		

La Figura 56 nos muestra la posición de la roca en el perfil de la sección y en la Figura 57 se observa la trayectoria de la roca que alcanza una velocidad de 17.6 m/s

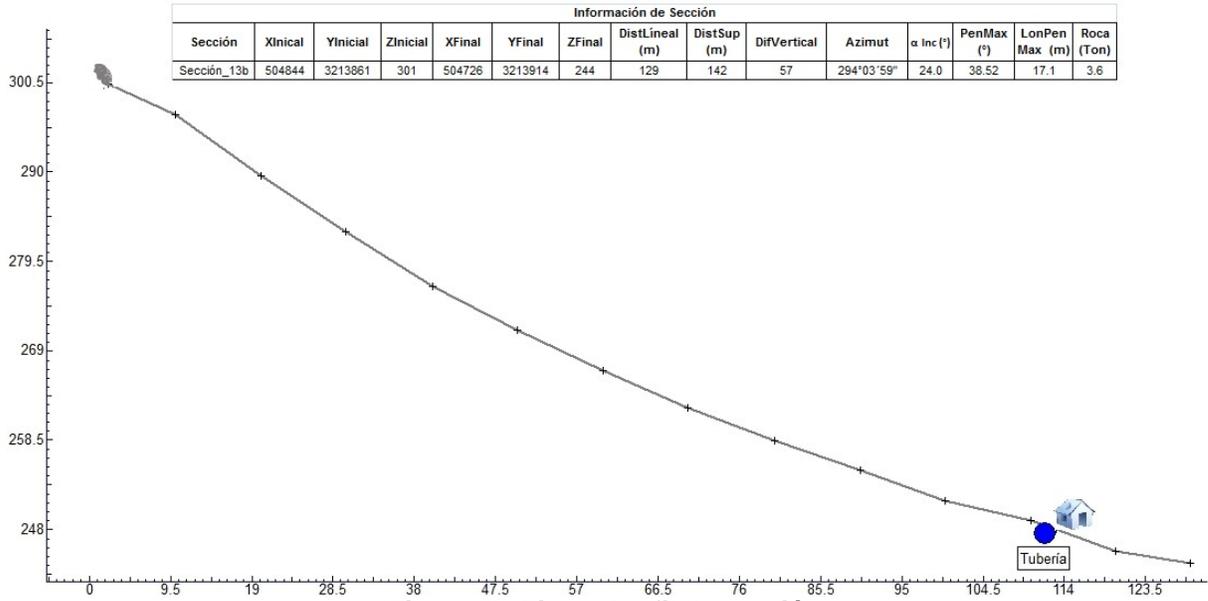


Figura 56. Figura Perfil de sección

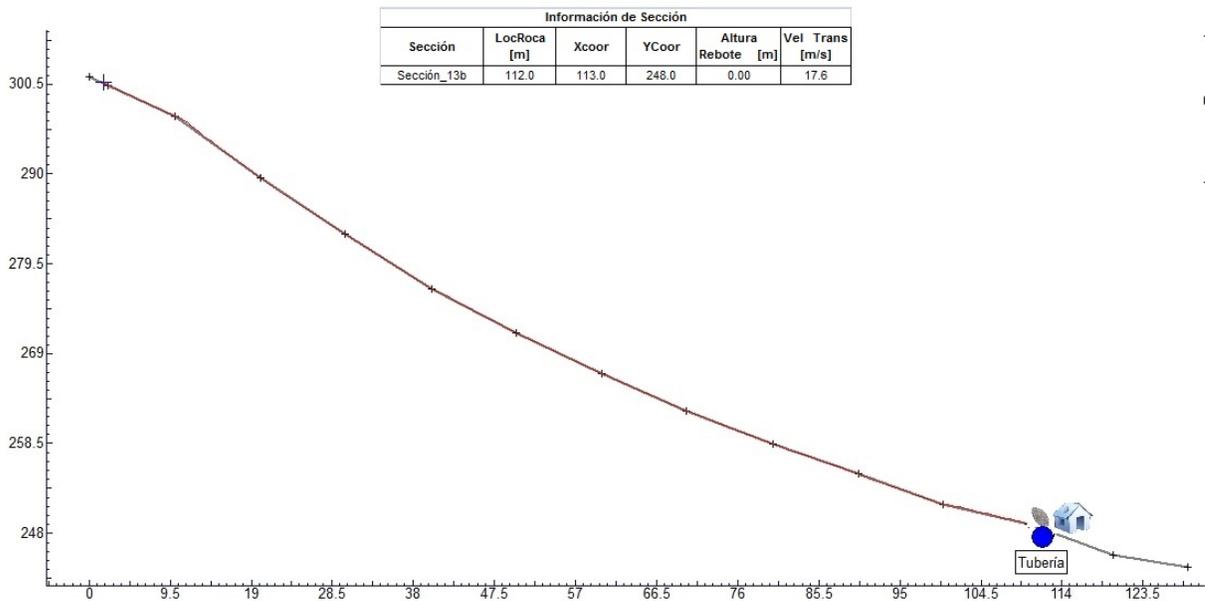


Figura 57. Condición normal de caída libre de roca

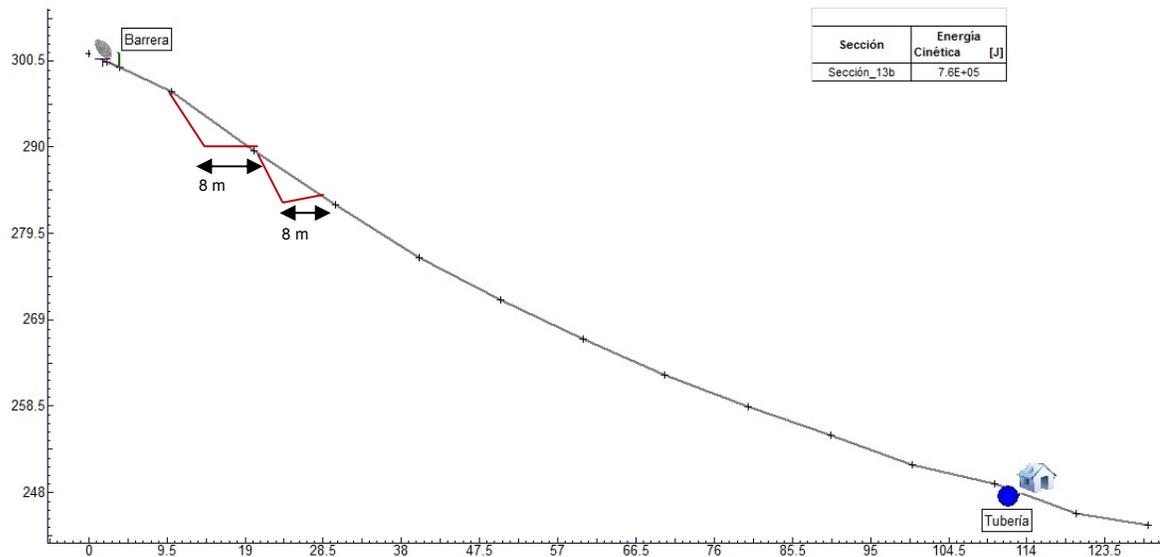


Figura 58. Medida de mitigación

El diseño de modificación de talud que se muestra en la Figura 58 es el recomendado para disminuir la influencia de las rocas en las construcciones de los pobladores de la ladera del cerro de Piedra Bola, dicho diseño crea una área de captación con una distancia de aproximadamente 8 y 8 metros en 2 banquetas. Para brindar mayor seguridad, se recomienda que el corte del terreno debe realizarse en banquetas continuas a lo largo de toda la tubería que proviene de la potabilizadora ubicada en la parte superior del cerro para interceptar las posibles trayectorias de la familia de fracturas del sitio 6 Figura 13. El diseño deberá realizarse en base a métodos como los mencionados en la Capítulo VII.2. Modificación del talud de la trayectoria de la estructura de roca. Se recomienda taludes de corte de 1H:1V, para terreno rocoso, y 1.5H:1V para terreno suelto. Las secciones deberán ser diseñadas analizando la estabilidad de taludes de acuerdo a la norma SEMARNAT (SEMARNAT, 2010). Dependiendo de la topografía de la ladera, se deberán excavar las banquetas cerca de las estructuras de roca para recibir impactos con menor cantidad de energía. Se deberán excavar las banquetas con una pendiente longitudinal que proporcione una pendiente para drenaje pluvial.

Sección 14



Foto 26. Sección 14

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsese clinómetro Indicar valor Promedio = 22.98 Máxima = 47.41	1.8
	35° a 45°	1.8		
	25° a 35°	1.4		
	15° a 25°	1.0		
	Menos de 15°	0.5		
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsense nivelaciones, planos o cartas topográficas.	1.2
	50 a 100 m	1.2		
	100 a 200m	1.6		
	Más de 200 m	2.0		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de los lugareños	0.6
	Algunos someros	0.4		
	Sí, incluso con fechas	0.6		



FACTORES GEOMORFOLOGICOS Y AMBIENTALES

Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujo)	1.0
	Volúmenes moderados	0.5		
	Grandes volúmenes delatantes	1.0		
Vegetación y uso de tierra	Zona Urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima	2.0
	Cultivos anuales	1.5		
	Vegetación intensa	0.0		
	Vegetación moderada	0.8		
	Área deforestada	2.0		
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.	0.0
	Nivel freático inexistente	0.0		
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o plataforma	1.0		

FACTORES GEOTECNICOS

Caída Roca

Vol. de roca 1 (m ³)	3.6	Masa	9.8	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Redonda	
Vol. de roca 2 (m ³)	1.8	Masa	4.9	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Tabular	
Vol. de roca 3 (m ³)	2.9	Masa	7.8	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Redonda	

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Tipos de suelos o rocas	Suelos granulados medianamente compactados a sueltos. Suelos que se reblanecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas	1.5 a 2.5	Vulnerable a la erosión; o suelos de consistencia blanda	0.8
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas	1.2 a 2		
	Suelos arcillosos consisten o arena limosos compactos	0.5 a 1	Multiplicar por 1.3 si esta agrietado	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes	0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización	
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.)	0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según grado de meteorización	
	Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5	Revisar cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.
5 a 10 m		1.0		
10 a 15 m		1.4		
15 a 20 m		1.8		

Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	Menos de 15°	0.2	Considérese planos de contacto entre formaciones, grietas, juntas y planos de debilidad	0.2
		25° a 35°	0.4		
		Más de 45°	0.6		
	Angulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud.	Más de 10°	0.3	Ángulo diferencial positivo si el echado es mayor que la	0.3
		0° a 10°	0.5		



	0°	0.7	inclinación de talud.	0.2	
		0° a -10°			0.8
		Más de -10°			1.0
	Ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Más de 30°	0.2		Considerar la dirección de las discontinuidades más representativas
		10° a 20°	0.3		
		Menos de 5°	0.5		

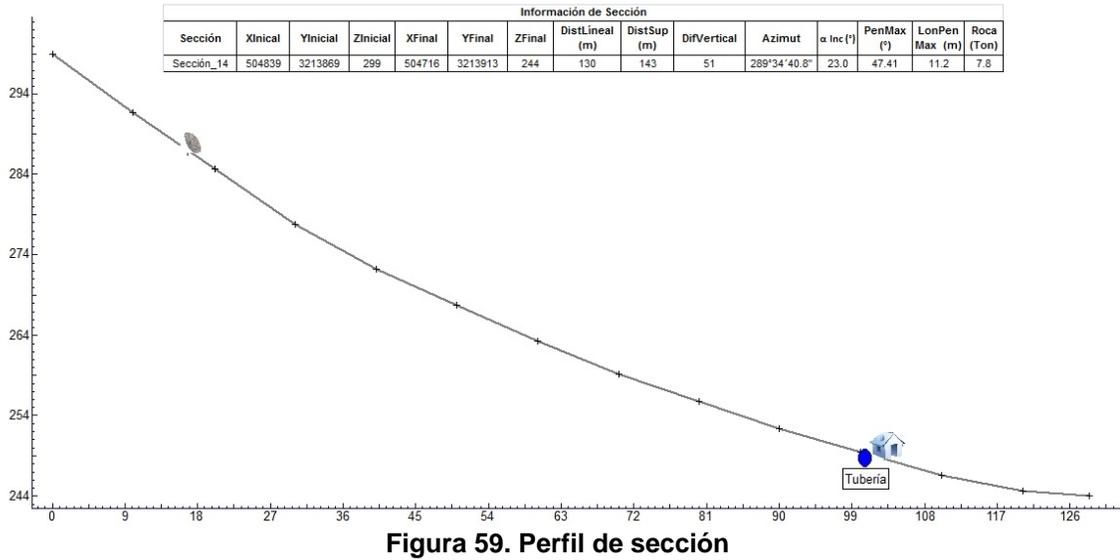


Figura 59. Perfil de sección

La localización de la roca se representa en la Figura 59 y en la Figura 60 se muestra el recorrido de la roca a lo largo de la sección, dicha roca alcanza una velocidad de 15.9 m/s y una fuerza de impacto de 1.3E+06 J.

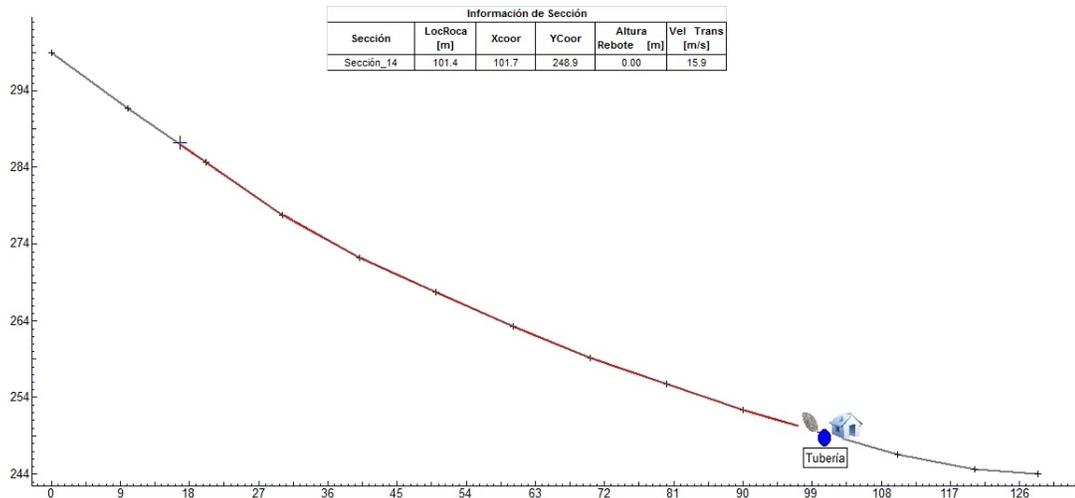


Figura 60. Condición normal de caída libre de roca

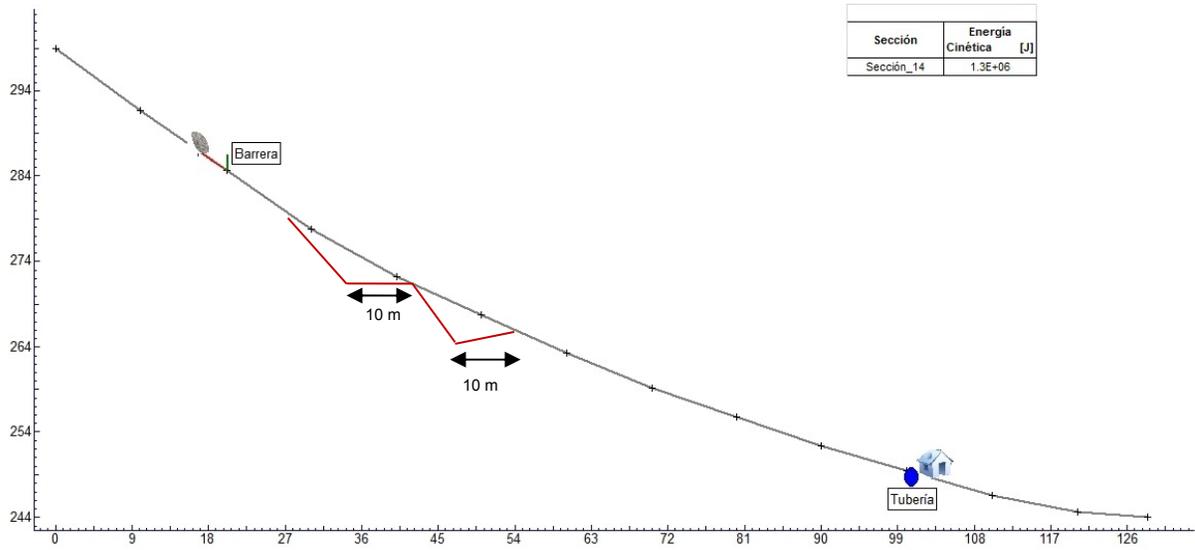


Figura 61. Medida de mitigación

Dada la fuerza de impacto de la roca ($1.3E+06J$) se recomienda como medida de mitigación la modificación de talud, como se observa en la Figura 61, creando un área de captación con una distancia de aproximadamente 10 y 10 metros en 2 banquetas. Para brindar mayor seguridad, se recomienda que el corte del terreno debe realizarse en banquetas continuas a lo largo de toda la tubería que proviene de la potabilizadora ubicada en la parte superior del cerro para interceptar las posibles trayectorias de la familia de fracturas del sitio 6 Figura 13. El diseño deberá realizarse en base a métodos como los mencionados en la Capítulo VII.2. Modificación del talud de la trayectoria de la estructura de roca. Se recomienda taludes de corte de 1H:1V, para terreno rocoso, y 1.5H:1V para terreno suelto. Las secciones deberán ser diseñadas analizando la estabilidad de taludes de acuerdo a la norma SEMARNAT (SEMARNAT, 2010). Dependiendo de la topografía de la ladera, se deberán excavar las banquetas cerca de las estructuras de roca para recibir impactos con menor cantidad de energía. Se deberán excavar las banquetas con una pendiente longitudinal que proporcione una pendiente para drenaje pluvial.

Sección 15



Foto 27. Sección 15

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsese clinómetro Indicar valor 36°	1.8
	35° a 45°	1.8		
	25° a 35°	1.4		
	15° a 25°	1.0		
	Menos de 15°	0.5		
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsense nivelaciones, planos o cartas topográficas.	1.2
	50 a 100 m	1.2		
	100 a 200m	1.6		
	Más de 200 m	2.0		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de los lugareños	0.3
	Algunos someros	0.4		
	Sí, incluso con fechas	0.6		

FACTORES GEOMORFOLÓGICOS Y AMBIENTALES

Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujo)	1.0
	Volúmenes moderados	0.5		
	Grandes volúmenes delatantes	1.0		
Vegetación y uso de tierra	Zona Urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima	2.0
	Cultivos anuales	1.5		
	Vegetación intensa	0.0		
	Vegetación moderada	0.8		
	Área deforestada	2.0		
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.	0.0
	Nivel freático inexistente	0.0		
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o plataforma	1.0		



FACTORES GEOTECNICOS

Fracturamiento

Fracturamiento 1	R 25 NE; E 33NW	Fracturamiento 4	R 20NE; 57 SE
Fracturamiento 2	R 28 NE; E 16 NW	Fracturamiento 5	R 42 NE; 54 SE
Fracturamiento 3	R 42 NW; 11 SW	Fracturamiento 6	R 25 NE; 45SE

Caída Roca

Vol. de roca 1 (m ³)	350	Masa	945	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Tabular	
Vol. de roca 2 (m ³)	234	Masa	631.8	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Rectangular	
Vol. de roca 3 (m ³)	96	Masa	259.2	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Cuadradas	

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Tipos de suelos o rocas	Suelos granulados medianamente compactados a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas	1.5 a 2.5	Vulnerable a la erosión; o suelos de consistencia blanda	0.8
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas	1.2 a 2		
	Suelos arcillosos consisten o arena limosos compactos	0.5 a 1	Multiplicar por 1.3 si esta agrietado	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes	0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización	
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.)	0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según grado de meteorización	
Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5	Revisar cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.	0.5
	5 a 10 m	1.0		
	10 a 15 m	1.4		
	15 a 20 m	1.8		

Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	Menos de 15°	0.2	Considérese planos de contacto entre formaciones, grietas, juntas y planos de debilidad	0.4
		25° a 35°	0.4		
		Más de 45°	0.6		
	Angulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud.	Más de 10°	0.3	Ángulo diferencial positivo si el echado es mayor que la inclinación de talud.	0.5
		0° a 10°	0.5		
		0°	0.7		
		0° a -10°	0.8		
	Ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Más de -10°	1.0	Considerar la dirección de las discontinuidades más representativas	0.5
		Más de 30°	0.2		
10° a 20°		0.3			
		Menos de 5°	0.5		

La Figura 62 muestra la ubicación de la roca inicialmente y en la figura 63 podemos observar la trayectoria del recorrido de la roca que alcanza una velocidad de 17.6 m/s y una fuerza de impacto de 1.3E+08 J.

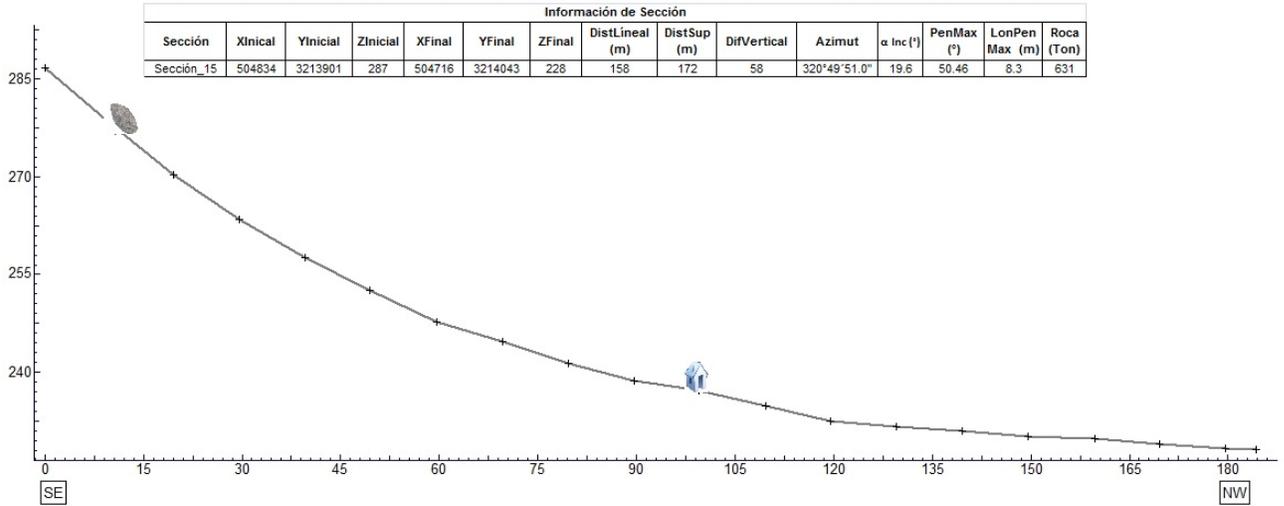


Figura 62. Perfil de sección

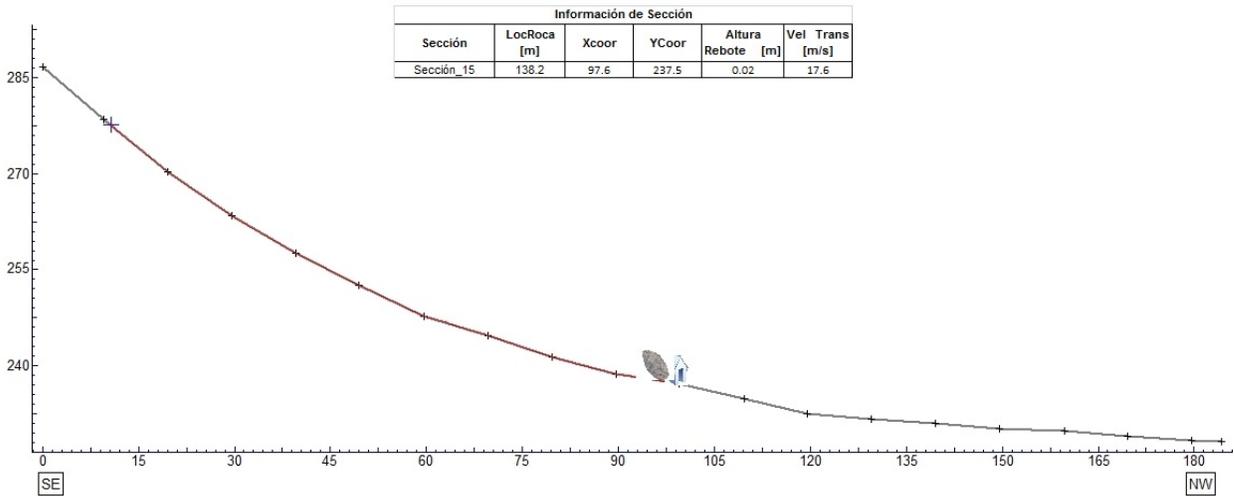


Figura 63. Condición normal de caída libre de roca

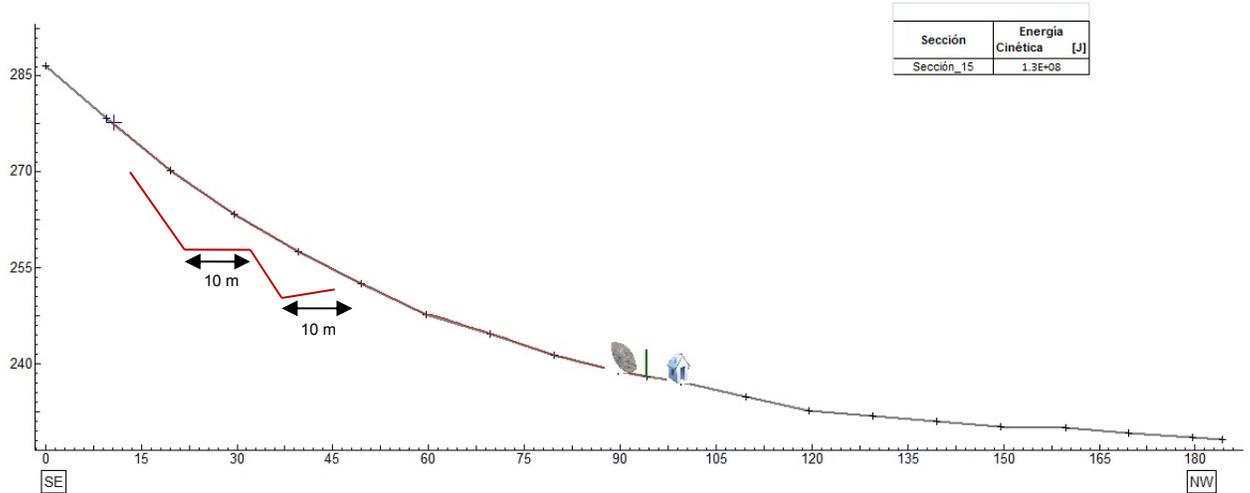


Figura 64. Medidas de mitigación

Se recomienda modificación de talud, en la Figura 64 se observa el diseño para una área de captación con una distancia de aproximadamente 10 y 10 metros en 2 banquetas. Para brindar mayor seguridad, se recomienda que el corte del terreno debe realizarse en banquetas continuas a lo largo de toda la tubería que proviene de la potabilizadora ubicada en la parte superior del cerro para interceptar las posibles trayectorias de la familia de fracturas del sitio 6 Figura 13. El diseño deberá realizarse en base a métodos como los mencionados en la Capítulo VII.2. Modificación del talud de la trayectoria de la estructura de roca. Se recomienda taludes de corte de 1H:1V, para terreno rocoso, y 1.5H:1V para terreno suelto.

Sección 16



Foto 28. Sección 16

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsese clinómetro Indicar valor 20°	1.0
	35° a 45°	1.8		
	25° a 35°	1.4		
	15° a 25°	1.0		
	Menos de 15°	0.5		
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsense nivelaciones, planos o cartas topográficas.	1.2
	50 a 100 m	1.2		
	100 a 200m	1.6		
	Más de 200 m	2.0		
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de los lugareños	0.3
	Algunos someros	0.4		
	Sí, incluso con fechas	0.6		

FACTORES GEOMORFOLOGICOS Y AMBIENTALES

Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujo)	0.5
	Volúmenes moderados	0.5		
	Grandes volúmenes delatantes	1.0		
Vegetación y uso de tierra	Zona Urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima	2.0
	Cultivos anuales	1.5		
	Vegetación intensa	0.0		
	Vegetación moderada	0.8		
	Área deforestada	2.0		
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.	0.0
	Nivel freático inexistente	0.0		
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o plataforma	1.0		



FACTORES GEOTECNICOS

Fracturamiento

Fracturamiento 1	R 20 NE; E 57 SE	Fracturamiento 4	
Fracturamiento 2	R 27NW; E 44 NE	Fracturamiento 5	
Fracturamiento 3	R 11 NW; VERTICAL	Fracturamiento 6	

Caída Roca

Vol. de roca 1 (m ³)	90	Masa	243	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Cuadrada	
Vol. de roca 2 (m ³)	161	Masa	434.7	ton
ρ Roca (gr/cm ³)	2.7	Forma de roca	Rectangular	

Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación
Tipos de suelos o rocas	Suelos granulados medianamente compactados a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas	1.5 a 2.5	Vulnerable a la erosión; o suelos de consistencia blanda	0.8
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas	1.2 a 2		
	Suelos arcillosos consisten o arena limosos compactos	0.5 a 1	Multiplicar por 1.3 si esta agrietado	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes	0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización	
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.)	0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según grado de meteorización	
Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5	Revisar cortes y cañadas; o bien, recúrrase a exploración manual.	0.5
	5 a 10 m	1.0		
	10 a 15 m	1.4		
	15 a 20 m	1.8		

Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	Menos de 15°	0.2	Considérese planos de contacto entre formaciones, grietas, juntas y planos de debilidad	0.4
		25° a 35°	0.4		
		Más de 45°	0.6		
	Ángulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud.	Más de 10°	0.3	Ángulo diferencial positivo si el echado es mayor que la inclinación de talud.	0.5
		0° a 10°	0.5		
		0°	0.7		
		0° a -10°	0.8		
	Ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Más de -10°	1.0	Considerar la dirección de las discontinuidades más representativas	0.3
		Más de 30°	0.2		
		10° a 20°	0.3		
		Menos de 5°	0.5		

Información de Sección														
Sección	XInical	YInicial	ZInicial	XFinal	YFinal	ZFinal	DistLineal (m)	DistSup (m)	DifVertical	Azimet	α Inc (°)	PenMax (°)	LonPen Max (m)	Roca (Ton)
Sección_16	504902	3213962	271	504788	3214096	234	166	172	37	319°50'42.8"	12.4	28.21	30.8	434.7

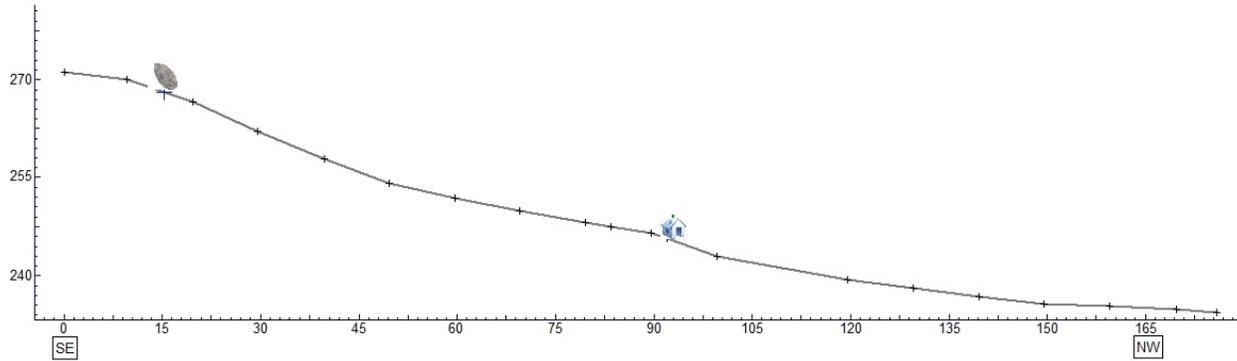


Figura 65. Perfil de sección

La Figura 65 muestra con una "+" el punto de origen y en la Figura 66 muestra la línea roja muestra la trayectoria hasta impactar en una casa, una barda, etc. No se presenta un rebote pero alcanza una velocidad de 14 m/s y una fuerza de impacto de $5.9E+07J$.

Información de Sección					
Sección	LocRoca [m]	Xcoor	YCoor	Altura Rebote [m]	Vel Trans [m/s]
Sección_16	131.9	92.0	245.6	0.00	14.0

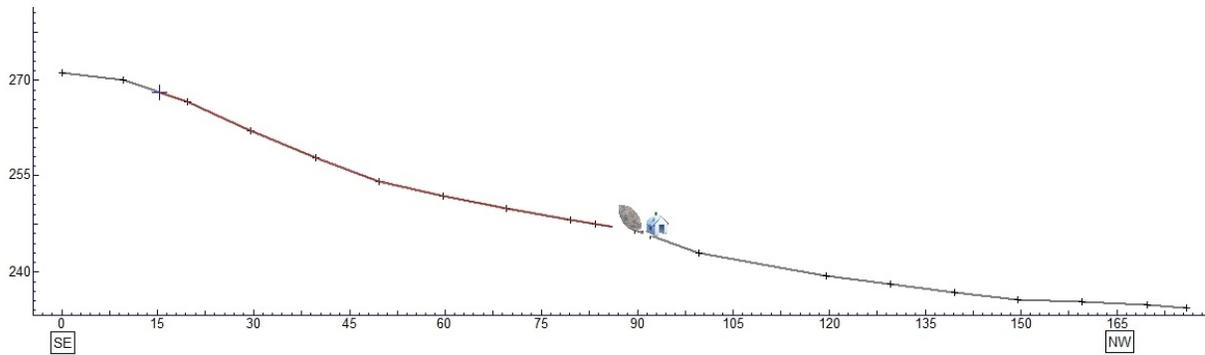


Figura 66. Condición normal de caída libre de roca.

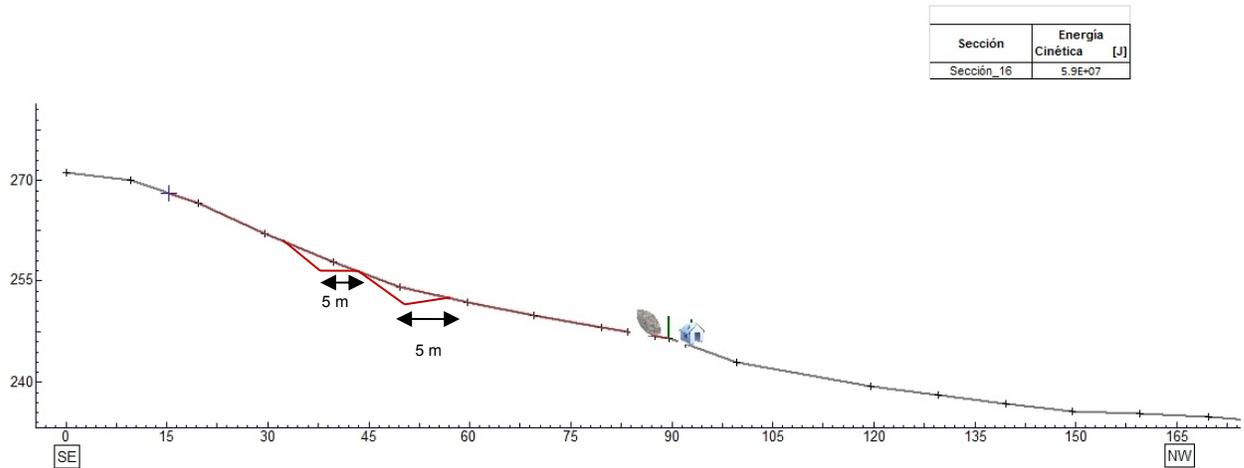


Figura 67. Medida de mitigación

La recomendación en este caso es modificación de talud como se observa en la Figura 67, creando un área de captación con una distancia de aproximadamente 5 y 5 metros en 2 banquetas. Para brindar mayor seguridad, se recomienda que el corte del terreno debe realizarse en banquetas continuas a lo largo de toda la tubería que proviene de la potabilizadora ubicada en la parte superior del cerro para interceptar las posibles trayectorias de la familia de fracturas del sitio 7 Figura 13. El diseño deberá realizarse en base a métodos como los mencionados en la Capítulo VII.2. Modificación del talud de la trayectoria de la estructura de roca. Se recomienda taludes de corte de 1H:1V, para terreno rocoso, y 1.5H:1V para terreno suelto.

