

Evaluación de riesgos hidrometeorológicos y geológicos en Monterrey

**Fabián Lozano, Martin Bremer,
Rene Zenteno, Pilar Noriega,
Mucio Rodríguez**

Centro de Calidad Ambiental,
ITESM Campus Monterrey

CUDI, Reunión de Otoño, 2005, Mérida, Yucatán

CUDI, Reunión de Otoño, 2005, Mérida, Yucatán

Fuente: CEDEM, 2004.

Accesos

Las calles locales se encuentran más deterioradas o son de terracería conforme la mancha urbana va ascendiendo hacia la parte de arriba del Cerro de las Mitras. Las calles con pavimento se encuentran dañadas por el efecto de las lluvias torrenciales y la falta de mantenimiento.



Calidad de Vida

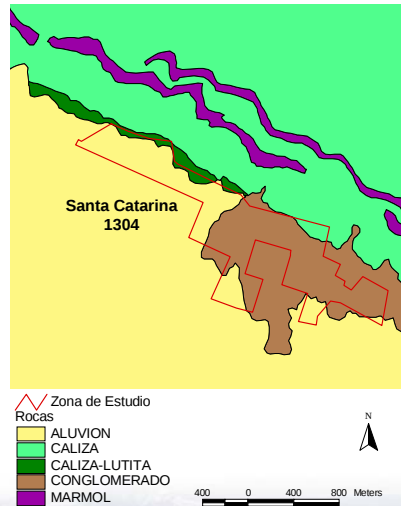
En las cañadas se pueden observar viviendas hechas de tablones, cartón, y otros materiales no durables.



Geología

En La Ermita, Lomas del Mirador, el 50% de la superficie corresponde a conglomerado y el restante 50% a Aluvión. Ambos materiales son de tipo sedimentario y presentan baja capacidad de carga estructural. Los materiales en este predio están al pie del monte, en la desembocadura de una serie de cañadas.

Esto origina que el material que ahí se encuentra tenga una granulometría angulosa en la que generalmente no existe cementación entre los materiales que lo forman. Combinado, con lluvias torrenciales y altas pendientes, da lugar a derrumbes, deslizamientos y movimientos de bloques y formación de oquedades.



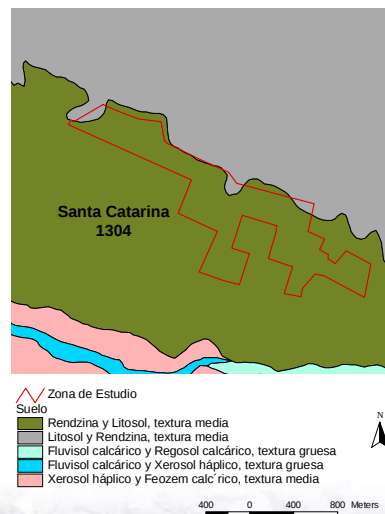
Fuente: INEGI, 2000.

Edafología

El predio, de alta pendiente, se encuentra cubierto de Rendzina más litosol en el 95% de su área.

El Litosol, cuando está asociado a una alta pendiente es susceptible a la erosión. Según el punto de control más cercano, se tiene un suelo poco profundo de alrededor de 25 cm.

Con buen drenaje interno y tamaño medio (clase textural 2).

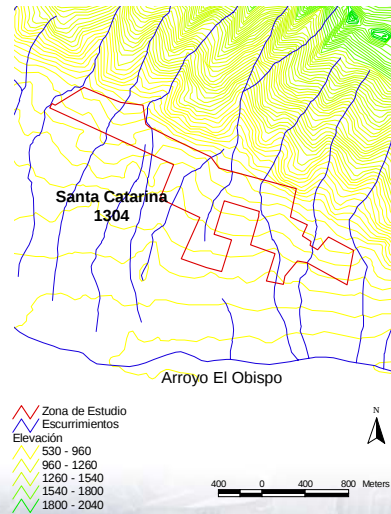


Fuente: INEGI, 2000.

Hidrología

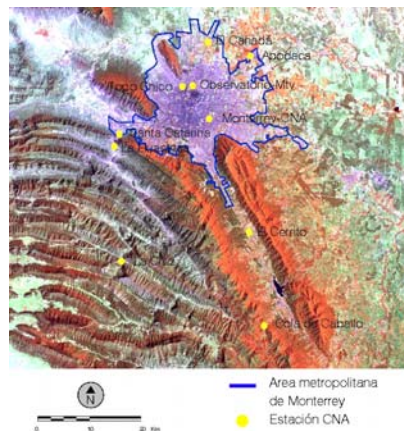
Existen una serie de ocho escurrimientos intermitentes que atraviesan el sitio con dirección norte-sur, en cañadas pronunciadas. Estos escurrimientos fueron afluentes, en la época de lluvias, del Arroyo El Obispo, el cual anualmente sufre crecientes.

El cauce de dichos arroyos no está bien definido en la actualidad, principalmente en las partes bajas, debido a las alteraciones producidas por la urbanización.



Fuente: INEGI, 2000.

Climatología



Existen 7 estaciones climatológicas dentro del área urbana de Monterrey. Hay dos principales características de las precipitaciones pluviales en la zona de estudio.

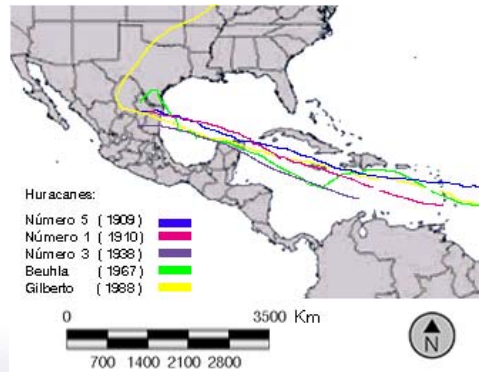
La primera es la extrema variabilidad de las precipitaciones entre un año y otro.

Además existe una diferencia clara en las precipitaciones que se presentan en las distintas zonas de la ciudad. Se observa que para la estación Santa Catarina (predio La Ermita) la precipitación anual predominante se encuentra entre los rangos de 300 a 400 mm/año.

Fuente: construida con datos de la Comisión Nacional del Agua y Laboratorio de Información Georreferenciada (LABSIG) del ITESM, 2000.

Huracanes

Durante el periodo comprendido entre 1886 y 2002 se encontraron varios eventos cuyos registros pluviométricos corresponden a precipitaciones originadas por huracanes iniciados en la zona del Atlántico oriente: 1909, 1910, 1938, 1967 y 1988. Sólo el 0.05% de las inundaciones del AMM son generadas por huracanes y/o tormentas tropicales.



Fuente: Noriega 2000. Construido con datos del UNYSIS Weather. Disponible en: <http://weather.unisys.com/hurricane/atlantic/>

Vulnerabilidad hidrometeorológica

El principal riesgo que presenta la Colonia Lomas del Mirador es debido a los asentamientos humanos que se ubican dentro o en la planicie inundable de las cañadas.

Asociadas a lluvias torrenciales, anualmente se registran inundaciones de gran velocidad y con arrastre de materiales rocosos. Fuera de las cañadas existe un bajo riesgo a inundaciones por anegación.



Precipitaciones extraordinarias

Registro de precipitaciones generadas por Huracanes en distintas estaciones del Área Metropolitana de Monterrey (AMM), (mm/mes).

Fecha	Estaciones				
	Observatorio	Monterrey	Topo Chico	Santa Catarina	Apodaca
Ago-09		790.8			
Ago-38		454			
Ago-67	578.9	488.5	450.5	429.5	282.5
Sep-88	248.3*	265.6*	281.9*	ND*	297.3*

Nota: solamente la estación Monterrey cubre todo el periodo de observación. * Datos referentes al huracán Gilberto. Fuente: datos de la CNA.

Precipitaciones anuales

La información de lluvia diaria mensual permite estimar que el 40% de la lluvia cae normalmente en un solo día durante los meses más lluviosos (junio y septiembre) y a su vez el 40% de ésta cae en el lapso de una hora. Durante el mes más lluvioso (septiembre), se tiene un promedio de 6 días con lluvia.

Lluvia Máxima Diaria. Estación Observatorio 1977-2000, (mm/día).

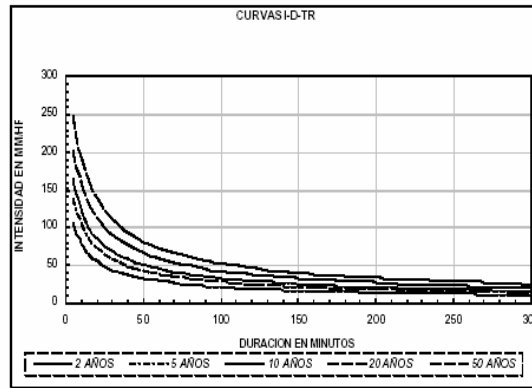
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
1977	7.3	8.0	4.3	15.8	20.1	2.6	3.0	31.4	103.3	118.0		4.0
1978	4.8	4.9		17.2	35.0	27.0	133.0	180.0	120.0	46.0	4.2	4.0
1979	1.7	1.7	15.5	18.0	18.0	49.0	46.0	27.0	63.5		6.5	24.8
1980	2.0	7.1	0.5	3.3	42.3	5.9	10.0	38.3	26.6	43.6	27.5	4.4
1981	15.5	8.0	10.6	75.8	47.1	59.5	39.8	18.5	29.7	35.0	2.0	0.1
1982	0.0	2.4	8.2	17.4	13.1	1.6	10.4	2.0	23.5	120.6	6.8	30.7
1983	15.5	26.2	11.3	INAP	60.8	47.3	32.5	17.7	58.4	42.2	INAP	2.7
1984	22.4	0.7	1.1	INAP	20.2	8.9	26.7	1.3	32.7	5.1	14.0	10.6
1985	7.1	17.1	20.6	46.3	24.4	25.6	12.2	50.8	5.0	24.9	1.6	2.8
1986	0.3	0.4	INAP	21.6	27.0	20.6	3.1	0.5	157.9	23.2	12.5	30.4
1987	8.2	13.7	17.0	15.3	10.8	35.4	20.7	22.8	27.7	27.4	3.3	0.5
1988	5.9	3.5	1.8	13.4	30.6	73.3	9.3	52.7	149.7	7.5	0.0	0.2
1989	10.9	13.4	3.5	13.1	3.9	6.8	50.1	4.2	38.5	1.8	1.9	16.7
1990	1.5	INAP	3.5	17.3	14.2	28.4	10.3	33.0	80.5	65.9	4.5	INAP
1991	2.3	3.0	4.3	18.9	25.4	43.2	6.6	4.2	35.2	2.1	22.8	22.9
1992	17.3	7.1	5.1	9.0	56.4	2.0	3.6	22.3	17.2	22.6	11.8	6.8
1993	25.9	5.9	7.6	4.1	55.5	66.8	0.1	7.2	43.8	10.3	3.0	2.1
1994	25.3	3.5	36.6	8.2	25.3	15.1	4.0	18.8	157.5	10.9	25.7	28.0
1995	4.3	2.9	6.3	2.3	22.3	14.1	2.6	52.4	9.6	2.3	14.9	4.7
1996	12.9	0.2	0.0	7.1	1.6	16.2	5.3	196.9	3.0	50.8	5.0	1.2
1997	4.4	5.6	29.3	21.1	27.6	24.6	4.4	0.8	11.0	36.9	19.5	2.5
1998	0.1	13.2	15.6	12.9	INAP	10.1	3.4	28.0	50.7	28.0	29.1	1.3
1999	INAP	INAP	5.8	5.5	25.3	68.8	67.9	28.2	77.6	5.1	1.0	10.3
2000	5.0	18.4	2.3	6.6	42.8	36.0	9.0	25.7	67.2	62.6		
MAXIM	25.9	26.2	36.6	75.8	60.8	73.3	133.0	180.0	157.9	120.6	29.1	30.7

Fuente: Datos de la CNA.

Inundaciones anuales

Cuando existen procesos de deforestación y alteración de la cuenca, se puede hablar de acumulación instantánea y volúmenes pico durante los primeros 10-15 minutos de lluvia.

Curvas de Intensidad, Duración y Periodo de retorno para la estación Observatorio, Monterrey.



Fuente: Campos, A. 1897.

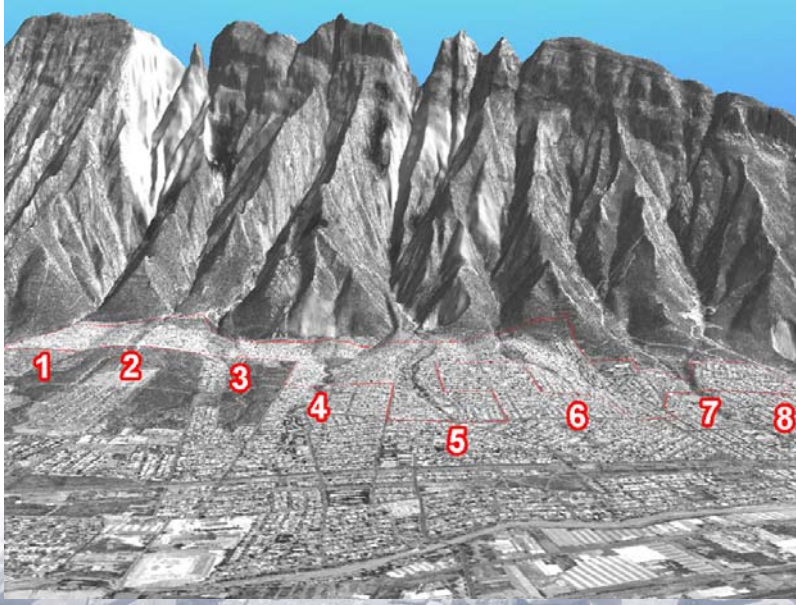
Metodología: datos

Datos colectados para el estudio:

Tema	Fuente	Escala	Cobertura	Otros
Topografía	INEGI	1:50,000	Completa	Curvas de nivel cada 20 m
Geología	INEGI	1:50,000	Completa	
Edafología	INEGI	1:50,000	Completa	
Vegetación/Uso del Suelo	INEGI	1:50,000	Completa	
Topografía	Catastro	1:5,000	Limitada a la parte baja de la zona	Curvas de nivel cada metro
Planimetría	Catastro	1:5,000	Limitada a la parte baja de la zona	
Topografía	CartoData	1:5,000	Completa	Curvas de nivel cada 5 metros
Ortofoto	CartoData	1:5,000	Completa	

Cañadas

Fuente: LabSIG, 2004.



Cálculo de escurrimientos

Usando el método racional aplicado a cuencas pequeñas y lluvia uniforme, como es el caso que nos ocupa, es posible calcular de manera aproximada los caudales generados aguas arriba de los predios en estudio. Con ello se puede determinar qué zonas están sujetas a altos volúmenes de escurrimientos y pueden ser afectadas por inundaciones de tipo torrencial. La fórmula que se usó para el cálculo fue:

$$Q(m^3 / seg) = \frac{C \times I \times A}{3.6}$$

En donde:

Q= es el caudal en m^3/s

C= es el coeficiente de agua que escurre dependiendo del uso de suelo y su cubierta (%)

I= es la intensidad de la lluvia (mm/h)

A= es la superficie (km^2)

* Se debe recordar que el coeficiente de escurrimiento depende básicamente de la cobertura de suelo.



Categorías de riesgos

Categorías y sus características.

Categoría de riesgo	Características
Muy alto	Alta pendiente (>30%). Muy alto volumen de escurrimientos (=20 m ³ /seg) Alto volumen (=12 m ³ /seg) y afecta a zona urbana
Alto	Alta pendiente (>30%). Alto volumen de escurrimientos (12 m ³ /seg) Volumen medio y afecta a zona urbana
Medio	Alta pendiente (>30%). Volumen bajo (9 m ³ /seg)
Bajo	Volumen bajo y afecta a zona urbana Volumen bajo (1 m ³ /seg) sin importar pendiente o si se encuentra dentro o fuera de zona urbana

Fuente: LabSIG, 2004.

Escurreimientos: parte alta de la cuenca

Volúmenes de escurrimientos generados por lluvia máxima horaria. Lomas del Mirador. Parte alta de la cuenca.

Cuenca alta			Zona más crítica			Acumulación en los primeros 5 min (Zona crítica)	Nivel de riesgo
Cuenca	Escurreimientos área urbana (m ³ /seg)	Escurreimientos área no urbanizada (m ³ /seg)	Ubicación	Escurreimientos (m ³ /seg)	Comentarios		
Cuenca 1	0.078	20.11	>30 NU	20.02	Afecta parte baja 26-30	8.008	Muy alto
Cuenca 2	0	12.935	>30 NU	12.926	Afecta parte baja 26-30	5.1704	Alto
Cuenca 3	0	11.494	>30 NU	11.926	Afecta parte baja 26-30	4.7704	Alto
Cuenca 4	4.493	3.436	16-25 AU	1.66	Afecta su propia superficie	0.664	Bajo
Cuenca 4	4.493	3.436	>30 AU	1.56	Afecta su propia superficie	0.624	Bajo
Cuenca 5	0.314	20.91	>30 NU	20.689	Afecta parte baja 26-30	8.2756	Muy alto
Cuenca 6	0	9.991	>30 NU	9.991	Afecta parte baja 26-30	3.9964	Medio
Cuenca 7	0.412	16.771	>30 NU	15.699	Afecta parte baja 26-30	6.2796	Muy alto
Cuenca 8	0.222	22.499	>30 NU	21.866	Afecta parte baja 26-30	8.7464	Muy alto
N U	No urbano						
AU	Area urbana						

Fuente: LabSIG, 2004.

Escurreimientos: parte baja de la cuenca

*Volúmenes de escurreimientos generados por lluvia máxima horaria
Lomas del Mirador. Parte baja de la cuenca.*

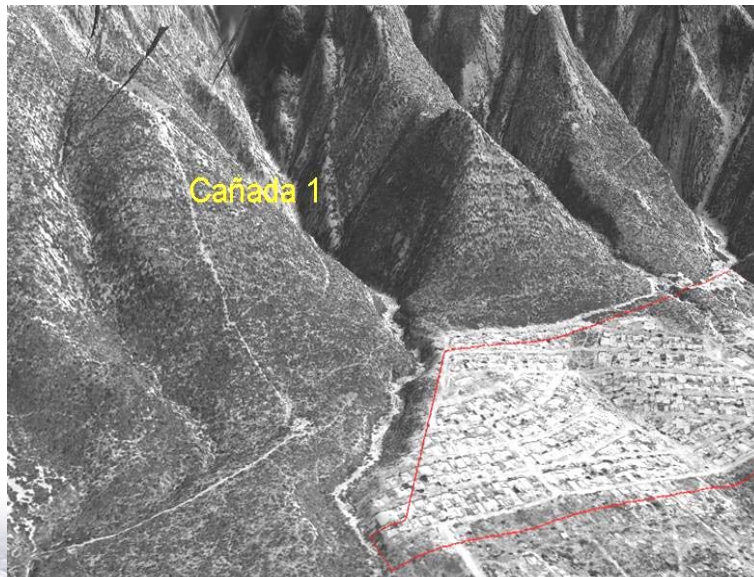
Cuenca baja			Zona más crítica			Acumulación en los primeros 5 min (Zona crítica)	Nivel de riesgo
Cuenca	Escurreimientos área urbana (m³/seg)	Escurreimientos área no urbanizada (m³/seg)	Ubicación	Escurreimientos (m³/seg)	Comentarios		
Cuenca 1	5.697	1.237	11-15 AU	2.464	Afecta su propia superficie	0.9856	Medio
Cuenca 2	15.356	8.507	2-10 AU	5.519	Afecta su propia superficie	2.2076	Alto
Cuenca 2	0	0	16-25 AU	5.231	Afecta su propia superficie	2.0924	Alto
Cuenca 3	1.701	3.039	2-20 AU	1.245	Mínimo impacto	0.498	Bajo
Cuenca 4	17.328	2.36	2-10 AU	12.852	Afecta parte baja 11-15	5.1408	Muy alto
Cuenca 4	17.328	2.36	11-15AU	3.043	Afecta parte baja del 2-10	1.217	Medio
Cuenca 5	13.388	0.287	11-15 AU	7.405	Afecta parte baja 16-25	2.962	Alto
Cuenca 6	2.83	0.133	16-25 AU	1.722	Mínimo impacto	0.6888	Bajo
Cuenca 7	9.315	0.233	11-15 AU	5.763	Afecta parte baja 16-25	2.3052	Alto
Cuenca 8	3.577	2.134	16-25 AU	1.843	Mínimo impacto	0.7372	Bajo

N U No urbano
AU Área urbana

Fuente: LabSIG, 2004.

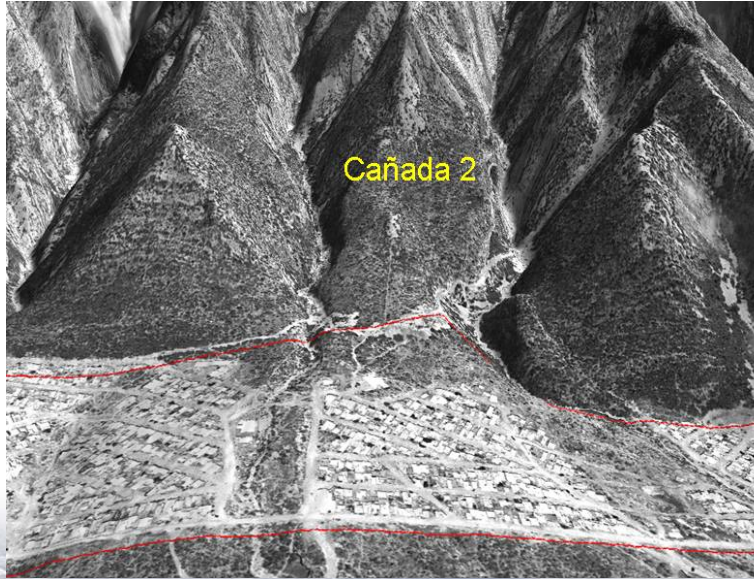
Cañada 1

Fuente: LabSIG, 2004.



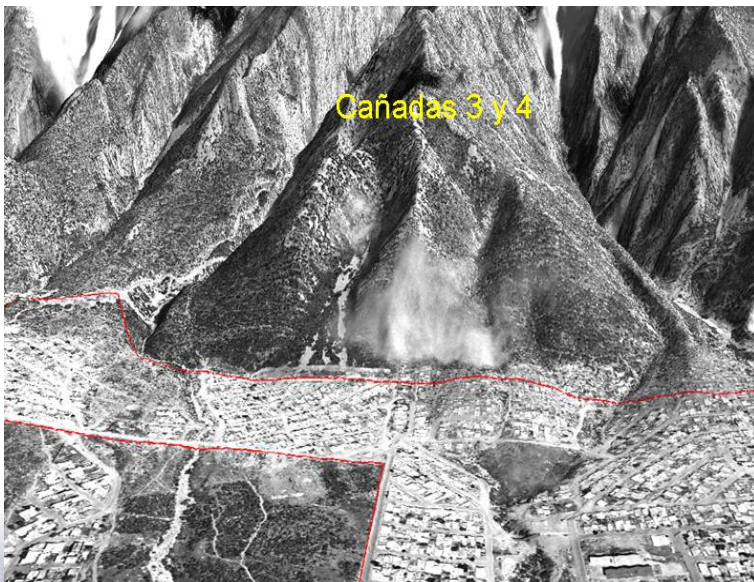
Cañada 2

Fuente: LabSIG, 2004.



Cañada 3 y 4

Fuente: LabSIG, 2004.



Cañada 5 y 6

Fuente: LabSIG, 2004.



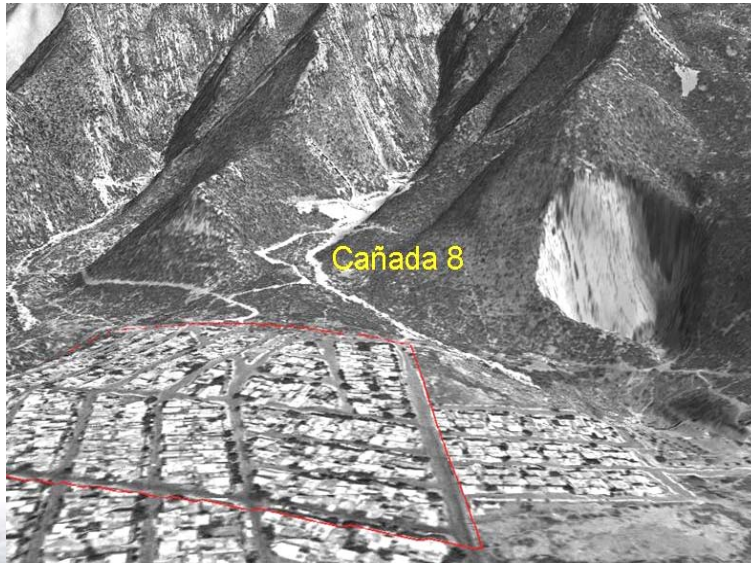
Cañada 7

Fuente: LabSIG, 2004.

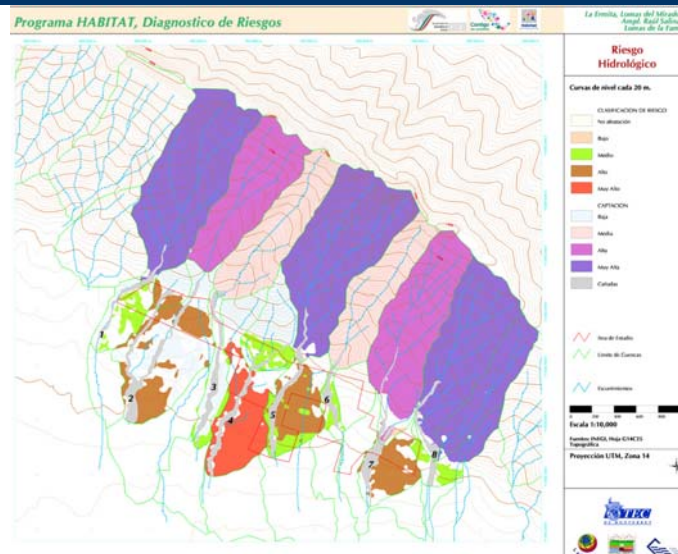


Cañada 8

Fuente: LabSIG, 2004.

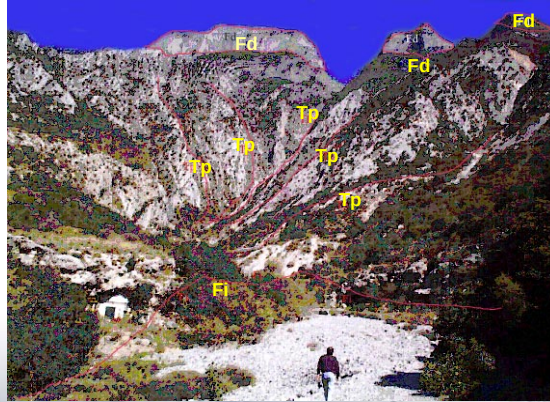


Riesgo hidrometeorológico



Vulnerabilidad geológica

En la fase de los trabajos geológicos de campo, se realizó una visita inicial en la zona de estudio en diciembre de 2003 donde se realizó el reconocimiento físico de la zona, los accesos, y se identificaron los arroyos/cañadas, así como la obtención de algunas coordenadas geográficas con equipo GPS (Sistema de Posicionamiento Global).



Vulnerabilidad geológica

Estratigrafía del área de estudio:

La formación Cuesta del Cura está formada por capas de calizas de estratificación media de color gris oscuro intercaladas con lutitas laminares de color gris y pardo amarillento producto del intemperismo.



Vulnerabilidad geológica

Por el tamaño de los bloques observados en un derrumbe en una de las cañadas al oriente del área de estudio, es posible estimar que éstos bloques de roca pueden llegar a tener tamaños de 3 m y más, lo que, aunado a la velocidad que pudieran adquirir en un desnivel de 1,200m con pendientes medias mayores al 100%, representa un alto riesgo.



Alteraciones en cañadas

En el área de estudio y su área de influencia, comprendida por el flanco SW del anticlinal denominado Sierra las Mitras, se ha observado que una gran cantidad de cañadas han sido interrumpidas por el trazo de avenidas, la urbanización sin contar con las obras hidráulicas capaces de permitir la continuidad del flujo, por lo que las aguas de lluvia fluyen principalmente por las avenidas pavimentadas para posteriormente bajar por cañadas que no tienen la capacidad hidráulica para la cantidad de agua acumulada. Esto ha llevado a la erosión prematura de taludes y a la formación de cárcavas en sitios donde no hubiera sucedido en forma natural con la velocidad actual.



Riesgos

Debido a que las laderas de la Sierra de las Mitras están constituidos principalmente por calizas, a que la pendientes son muy pronunciadas y a que el echado/buzamiento (dirección la inclinación) de las formaciones es paralelo a la pendiente, el riesgo geológico más importante que puede presentarse en esta zona es debido a la caída de bloques sueltos y a desprendimientos de masa



Identificación de las zonas de riesgo

Clasificación Geomorfológica y riesgos geológicos.

Pendiente	Parteaguas	Riesgos	Transición
0-2%	P	P	P
2-15%	B	B	B
15-25%	Pm	Fi (medio)	PM
25-30%	T	Fi (alto)	T
30-45%	T	Fi (muy alto)	T
45-100%	T	Tp	T
100-140%	Fd (media)	Tp	T
140-165%	Fd (alta)	Tp	Fd (media)
165-200%	Fd (muy alta)	Fd (media)	Fd (alta)

Derrumbes : Fd =Frente denudación; Tp =trayectoria probable; Fi= frente de impacto
 Clasificación geomorfológica: T= Talud; Pm= pie de monte; B= bajada; P= playa
 Media, alta y muy alta se refieren al nivel de riesgo

Fuente: Bremen, 2004.

Número de residentes

Distribución de las viviendas por número de residentes.

Número Residentes	Viviendas	%
1	8	2.2
2	35	9.6
3	80	22.0
4	111	30.6
5	74	20.4
6	36	9.9
7	11	3.0
8	4	1.1
9	3	0.8
10	1	0.3
Total	363	100.0
Población Total:		1494 personas

Estructura de edades

Distribución por edad y sexo de la población.

		Sexo					
		Hombres		Mujeres		Total	
Edad	0-14	309	41.9%	305	40.3%	614	41.1%
	15-64	419	56.9%	446	58.9%	865	57.9%
	65 y más	9	1.2%	6	0.8%	15	1.0%
	Total	737	100.0%	757	100.0%	1494	100.0%
Edad Mediana		20		20		20	

Fuente: CEDEM, 2004.

Origen del jefe de familia

Distribución de los jefes de hogar por entidad de nacimiento.

Entidad	Número	%
NUEVO LEON	113	31.1
SAN LUIS POTOSI	110	30.3
ZACATECAS	37	10.2
VERACRUZ	34	9.4
TAMAULIPAS	22	6.1
COAHUILA	13	3.6
HIDALGO	8	2.2
OAXACA	5	1.4
PUEBLA	5	1.4
MICHOACAN	4	1.1
DURANGO	3	0.8
EDO. DE MEXICO	3	0.8
DISTRITO FEDERAL	2	0.6
COLIMA	1	0.3
GUANAJUATO	1	0.3
GUERRERO	1	0.3
MORELOS	1	0.3
Total	363	100.0

Fuente: CEDEM, 2004.

Escolaridad

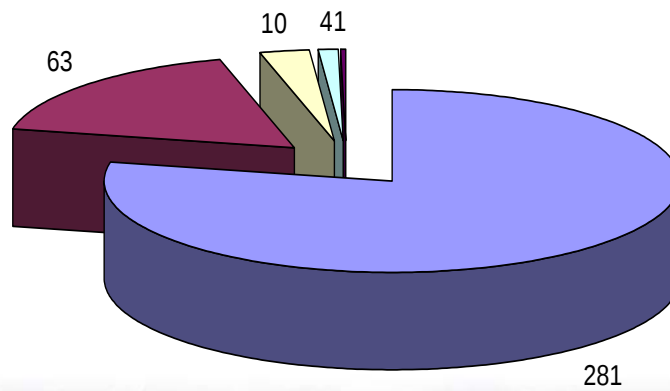
Jefes de familia según nivel de escolaridad.

	Número	%
No Estudió	30	8.3
Primaria incompleta	74	20.4
Primaria completa	116	32
Secundaria incompleta	42	11.6
Secundaria completa	91	25.1
Preparatoria o más	10	2.8
Total	363	100.0

Fuente: CEDEM, 2004.

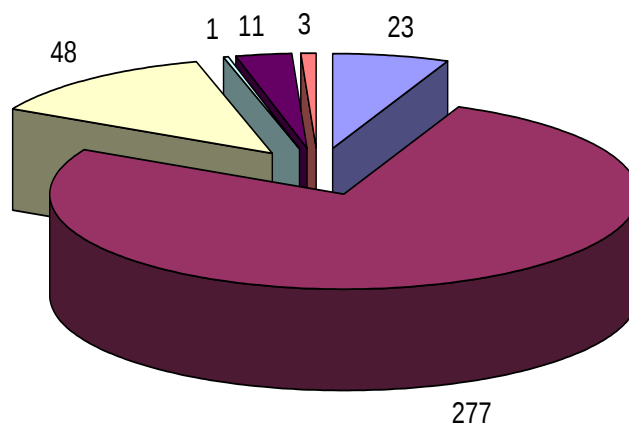
Número de trabajadores

Distribución de hogares ubicados en zonas de alto riesgo, según el número de trabajadores.



Fuente: CEDEM, 2004.

Tipo de empleo del jefe de hogar



Fuente: CEDEM, 2004.

MODALIDAD ORDENAMIENTO DEL TERRITORIO
DIAGNÓSTICO DE RIESGOS A NIVEL BARRIO

Polígono 1304 Santa Catarina*

La Ermita, Lomas del Mirador, Ampliación Raúl Salinas, Lomas de La Fama



TECNOLÓGICO
DE MONTERREY



SECRETARÍA DE
DESARROLLO
SOCIAL

SEDESOL



Hábitat