



Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de San Pedro Garza García



Fecha: Julio de 2012

Versión final

Número de obra 119019PP033576

Número de expediente PP11/19019/AE/1/079

San Pedro Garza García, Nuevo León



ÍNDICE

CAPÍTULO I. Antecedentes e Introducción	14
1.1. Introducción	14
1.2. Antecedentes	14
1.3. Objetivo general	15
1.4. Alcances	15
1.5. Metodología	15
1.6. Contenido del Atlas de Riesgo	16
CAPÍTULO II. Determinación de la zona de estudio	17
2.1. Determinación de la zona de estudio	17
CAPÍTULO III. Caracterización de los elementos del medio natural	17
3.1. Fisiografía	17
3.2. Geología	18
3.3. Geomorfología	24
3.4. Edafología	27
3.5. Hidrología	28
3.6. Climatología	29
3.7. Uso de suelo y vegetación	29
3.8. Áreas naturales protegidas	30
3.9. Problemática ambiental	30
CAPÍTULO IV. Caracterización de los elementos sociales, económicos y demográficos	33
4.1. Elementos demográficos: dinámica demográfica, distribución de población, mortalidad, densidad de población	33
4.2. Características sociales	36
4.3. Principales actividades económicas en la zona	38
4.4. Características de la población económicamente activa	41
4.5. Estructura urbana	43
CAPÍTULO V. Identificación de riesgos, peligros y vulnerabilidad ante fenómenos perturbadores de origen natural	44
5.1. Riesgos, peligros y/o vulnerabilidad ante fenómenos de origen geológico	44

5.1.1. Fallas y fracturas	44
5.1.2. Sismos	50
5.1.3. Tsunamis o maremotos	52
5.1.4. Vulcanismo	53
5.1.5. Deslizamientos	54
5.1.6. Derrumbes	55
5.1.7. Flujos	57
5.1.8. Hundimientos	57
5.1.9. Erosión	58
5.2. Riesgos, peligros o vulnerabilidad ante fenómenos de origen hidrometeorológico	60
5.2.1. Ciclones (Huracanes y ondas tropicales)	60
5.2.2. Tormentas eléctricas	62
5.2.3. Sequías	62
5.2.4. Temperaturas máximas extremas	63
5.2.5. Vientos fuertes	64
5.2.6. Inundación	65
5.2.7. Masas de aire (heladas, granizo y nevadas)	66
CAPÍTULO VI. Riesgos antropogénicos	67
CAPÍTULO VII. Técnicas de mitigación y remediación para la estabilización de taludes y manejo racional de escurrimientos pluviales en zonas de riesgo en diferentes sitios en el municipio de San Pedro Garza García, N.L., NIVEL V 75	
7.1. Identificación de zonas cársticas mediante técnicas de GEORADAR (SIR-3000) en el Cerro de La Corona, municipio de San Pedro Garza García, N. L.	76
7.2. Evaluación de riesgo geológico como medida preventiva en el complejo de edificios La Diana, después de los efectos dejados por la depresión tropical "Álex", junio 30 y 1,2 de julio del 2010.	83
7.3. Estudio de riesgo geológico y aplicación de técnicas de remediación y mitigación para la estabilización del talud en el edificio Santa Fe II en el flanco Nororiental del anticlinal Loma Larga, colonia. Los Doctores, municipio de Monterrey- San Pedro Garza García, N.L.	85
7.4. Estudio de riesgo geológico en el fraccionamiento Joya del Venado, municipio de San Pedro Garza García, N. L.	91
7.4.1. Memoria de cálculo para determinar la carga en el diseño de anclas para estabilizar los taludes en La Joya del Venado, municipio de San Pedro Garza García, N.L.	93
7.5. Estudio de riesgo geológico y alternativas de solución para la estabilidad de taludes en los cortes de vialidades, proyecto Privanzas 4° sector, ubicado en la parte poniente del Cerro El Mirador, municipio de San Pedro Garza García, N. L.	98
7.6. Estudio de riesgo geológico en el Cerro de la Corona ubicado en el municipio de San Pedro Garza García, Nuevo León.	138
7.7. Comportamiento geológico - geotécnico en la parte noroeste del Cerro El Mirador, fraccionamiento Balcones del Campestre, San Pedro Garza García, N. L.	150

7.8. Estudio para la implementación de técnicas de remediación y de mitigación para el control de los escurrimientos pluviales en el Corporativo CEMEX, ubicado en la Ave. Vasconcelos, municipio de San Pedro Garza García, N. L	156
7.9. Técnicas de demolición de bloques en el fraccionamiento Colorines Cerro de La Corona mediante la aplicación de productos químicos (DEXPAN, PYROBLAST)	172
CAPÍTULO VIII. Conclusiones y recomendaciones	176
CAPÍTULO IX. Anexos	
9.1 Índice de figuras	
9.2 Índice de tablas	
9.3 Índice fotográfico	
9.4 Glosario de términos	
9.5 Bibliografía	
9.6 Cartografía empleada	
9.7 Contenidos	
9.8 Metadatos	
9.9 Fichas de campo	
9.10 Memoria fotográfica	
9.11 Nombre de la consultoría y personas que elaboran el Atlas	

FUNDAMENTOS Y MOTIVACIÓN JURÍDICA

El Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de San Pedro Garza García, tiene su fundamento en los artículos 27 párrafo tercero, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; 3 fracción XII de la Ley General de Asentamientos Humanos; 3 párrafo segundo, 85 fracciones I, X y XXVII, y 87 segundo párrafo de la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Nuevo León; 5 en cuanto a las definiciones de atlas de riesgos y zonas de riesgo, 9 fracción VI, 10 fracción VI, y 164 al 170, de la Ley de Desarrollo Urbano del Estado de Nuevo León; 2 fracción I, 3 fracciones XIX y XLVI, 4, 7 fracciones I, II y XI, 8 fracciones I, VII, VIII, X, XVIII, XXI, XLIII y XLVII, 9 fracciones I y II, 16 fracciones I, VI, VIII y XI, 19, 20, 21, 22, 26, 27, 28, 30 fracciones I, II, III, IV y VI, 31 fracciones I, III, IV y V, 32, 34 fracciones I, III, V y VI, 35, 36 fracciones I, II y III, 120 fracciones III, IV y VI, 121 fracciones II y VI, 122 fracciones I y VI, y 123 fracciones II y III, de la Ley Ambiental del Estado; y 1, 2 fracciones X y XI, y 3 fracciones I y III, de la Ley de Protección Civil para el Estado de Nuevo León.

Conforme al artículo 5 de la Ley de Desarrollo Urbano del Estado de Nuevo León, el atlas de riesgo es el documento donde se establecen y clasifican las zonas de riesgo. Ese mismo artículo define como zonas de riesgo, las superficies de suelo de un centro de población o de un municipio, que por su ubicación representan peligro, debido a factores antropogénicos o naturales, que pueden causar perjuicios a las personas o a sus bienes.

El Atlas de Riesgos Naturales del municipio de San Pedro Garza García; es un instrumento de política ambiental, ya que contribuye al ordenamiento ecológico y uso del suelo, atiende los criterios ambientales, de conformidad con la Ley Ambiental del Estado.

Lo anterior debido a que, tanto el Estado como los Municipios, tienen atribuciones para formular, conducir y evaluar la política ambiental estatal. De tal forma, a través del Atlas de Riesgos Naturales, se regulará e inducirá el uso del suelo ubicado en zonas de riesgo, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. Dicho atlas, orientará las acciones de preservación y restauración del equilibrio ecológico, el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y la protección al ambiente.

Lo anterior, considerando los siguientes criterios ambientales, los cuales son atendidos por el referido atlas:

- La política ambiental debe buscar la corrección de aquellos desequilibrios que deterioren la calidad de vida de la población y a la vez, prever las tendencias de crecimiento de los asentamientos humanos, para mantener una relación suficiente entre la base de recursos y la población, y cuidar de los factores ecológicos y ambientales que son parte integrante de la calidad de vida.
- En el ejercicio de las atribuciones que las leyes confieren al Estado y a los Municipios para regular, promover, restringir, prohibir, orientar y, en general, inducir las acciones de los particulares en los campos económico y social, se deben tomar en cuenta criterios de preservación y restauración del equilibrio ecológico.
- La persona que realice obras o actividades que afecten o puedan afectar el ambiente, está obligado a prevenir, minimizar o reparar los daños que cause, así como a asumir los costos que dicha afectación implique.
- La calidad de vida de la población se incrementa a través del adecuado aprovechamiento de los recursos naturales, la preservación ecológica y el mejoramiento del entorno natural en los asentamientos humanos.
- Es conveniente pasar de una política correctiva a una preventiva, que otorgue prioridad a la búsqueda del origen de los problemas ambientales.
- Se deben considerar las relaciones existentes entre el crecimiento y desarrollo económico, con la conservación del ambiente y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.
- Es necesario incorporar a los costos de producción de bienes y servicios, los relativos a la preservación y restauración de los ecosistemas.
- Se requiere propiciar el crecimiento económico que respete y promueva el equilibrio ecológico en el municipio y una calidad de vida digna para sus habitantes.
- Se debe promover un cambio en la conducta de las personas que realizan actividades industriales, comerciales y de servicios, de tal manera que sus intereses sean compatibles con los intereses colectivos de protección ambiental y de desarrollo sustentable.
- Se debe actuar y vigilar para que aquellos que dañen el ambiente, hagan un uso indebido de recursos naturales o alteren los ecosistemas, asuman los costos respectivos.
- En la determinación de las áreas para el crecimiento de los centros de población, se evitará que se afecten áreas con alto valor ambiental.
- Se establecerán y manejarán en forma prioritaria las áreas de preservación ecológica en torno a los asentamientos humanos.
- Las autoridades estatales y municipales en la esfera de su competencia, promoverán la utilización de instrumentos económicos, fiscales y financieros de política urbana y ambiental, para inducir conductas compatibles con la protección y restauración del ambiente y con un desarrollo urbano sustentable.
- Para mantener la integridad y el equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico, se deberá considerar la protección del suelo, escurrimientos y cañadas, los recursos forestales y la vida silvestre, para asegurar la capacidad de recarga de los acuíferos.

- La preservación y el aprovechamiento sustentable del agua y de los ecosistemas acuáticos, es responsabilidad de las autoridades y de los usuarios, así como de quienes realicen obras o actividades que afecten o puedan afectar dichos recursos o alguno de sus componentes.
- El uso del suelo debe ser compatible con su vocación natural, y no debe alterar el equilibrio de los ecosistemas.

De igual forma, al contribuir el presente atlas al ordenamiento ecológico del Municipio de San Pedro Garza García, debe ser considerado obligatoriamente por las autoridades administrativas cuando resuelvan acerca del uso del suelo, de la localización de las actividades productivas y de los asentamientos humanos.

En relación con lo anterior, la Ley Ambiental del Estado determina lo siguiente:

El artículo 7 de la Ley en cuestión determina en sus fracciones I, II y XI que en su ejecución y cumplimiento, corresponden al Titular del Ejecutivo del Estado, las atribuciones relativas a formular, conducir y evaluar la política ambiental estatal; aplicar los instrumentos de política ambiental previstos en esa Ley; y expedir, en la esfera administrativa, los ordenamientos necesarios para proveer el cumplimiento de la presente Ley.

En cuanto a las atribuciones de la Agencia de Protección del Medio Ambiente y Recursos Naturales, el artículo 8 en sus fracciones I, VII, VIII, X, XVIII, XXI, XLIII y XLVII, de la Ley en comento, prevé que le corresponde:

- Aplicar los instrumentos de política ambiental previstos en esa Ley y en otras disposiciones establecidas en la materia en el ámbito de su competencia.
- Emitir y aplicar los lineamientos, criterios y normas ambientales en las materias y actividades que causen o puedan causar desequilibrios ecológicos o daños al ambiente en el Estado, con la participación de los Municipios y de la sociedad en general.
- Regular, promover y supervisar el aprovechamiento sustentable de las aguas de jurisdicción estatal y de las aguas nacionales que tenga asignadas el Estado.
- Atender, con base en los lineamientos que determine el Titular del Ejecutivo del Estado, los asuntos que afecten el equilibrio ecológico o el ambiente de dos o más municipios.
- Realizar las acciones que le competan a fin de preservar y restaurar el equilibrio ecológico y la protección al ambiente en la entidad, coordinando en su caso, la participación de las demás dependencias de la administración pública estatal en la materia, según sus respectivas competencias.
- Participar, en el ámbito de su competencia, en las acciones que realicen otras autoridades federales, estatales y municipales, y que tengan relación directa con las materias que se encuentren dentro del objeto de la Agencia.
- Promover la formulación, expedición y ejecución de los programas de ordenamiento ecológico de la entidad, en sus modalidades regional y local.
- Proponer, o en su caso establecer, la creación de instrumentos económicos que incentiven el cumplimiento de los objetivos de la política ambiental en el Estado.

Con respecto a los municipios, el Cuerpo Legal antes señalado prevé en su artículo 9 fracciones I y II que para su ejecución y cumplimiento, les corresponderán respectivamente las atribuciones relativas a formular, conducir y evaluar la política ambiental municipal, en congruencia con la política federal y estatal en la materia; así como a aplicar los instrumentos de política ambiental previstos en las disposiciones legales aplicables en la materia.

Dicha Ley precisa en su artículo 2 fracción I lo que se considera de utilidad pública el ordenamiento ecológico del territorio del Estado. En su artículo 3 fracción XLVI define al ordenamiento ecológico como el instrumento de política ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos.

Ese mismo artículo 3 en su fracción XIX define a los criterios ambientales, como los lineamientos obligatorios contenidos en dicha Ley, para orientar las acciones de preservación y restauración del equilibrio ecológico, el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y la protección al ambiente, que tendrán el carácter de instrumentos de la política ambiental.

El artículo 16 fracciones I, VI, VIII y XI del Ordenamiento referido, precisa que para la formulación, evaluación y ejecución de la política ambiental estatal y demás instrumentos previstos en esa Ley, además de los que establece la Ley General, se observarán diversos principios, tales como:

- La política ambiental debe buscar la corrección de aquellos desequilibrios que deterioren la calidad de vida de la población y a la vez, prever las tendencias de crecimiento de los asentamientos humanos, para mantener una relación suficiente entre la base de recursos y la población, y cuidar de los factores ecológicos y ambientales que son parte integrante de la calidad de vida.
- En el ejercicio de las atribuciones que las leyes confieren al Estado y a los Municipios para regular, promover, restringir, prohibir, orientar y, en general, inducir las acciones de los particulares en los campos económico y social, se considerarán los criterios de preservación y restauración del equilibrio ecológico.

- La persona que realice obras o actividades que afecten o puedan afectar el ambiente, está obligado a prevenir, minimizar o reparar los daños que cause, así como a asumir los costos que dicha afectación implique. Asimismo, debe incentivarse a quien proteja el ambiente y aproveche de manera sustentable los recursos naturales.
- La calidad de vida de la población se incrementa a través de la prevención y control de la contaminación ambiental, el adecuado aprovechamiento de los recursos naturales, la preservación ecológica y el mejoramiento del entorno natural en los asentamientos humanos.

El artículo 19 del Cuerpo Legal en cuestión señala que la elaboración del ordenamiento ecológico del Estado se llevará a cabo de conformidad con lo dispuesto en esa Ley, debiendo el Titular del Ejecutivo del Estado promover la participación de autoridades municipales, grupos y organizaciones sociales y empresariales, instituciones académicas y de investigación, y demás personas interesadas.

El artículo 20 fracción I de la Ley de referencia establece que el ordenamiento ecológico del Estado, en caso de que comprenda a dos o más municipios del territorio del Estado, se llevará a cabo a través de programas regionales.

El artículo 21 del Ordenamiento mencionado precisa que en la elaboración de los programas de ordenamiento ecológico del Estado, se deberán considerar la naturaleza y características de cada ecosistema existente en el territorio del Estado; la vocación de cada zona o región del Estado, en función de los recursos naturales, la distribución de la población y las actividades económicas predominantes; los desequilibrios existentes en los ecosistemas por efecto de los asentamientos humanos, de las actividades económicas o de otras actividades humanas o fenómenos naturales; el equilibrio que debe existir entre los asentamientos humanos y sus condiciones ambientales; el impacto ambiental de nuevos asentamientos humanos, vías de comunicación y demás obras o actividades; las prácticas de aprovechamiento de los recursos naturales y sus repercusiones en sus ecosistemas; y el carácter especial o prioritario de una región en el Estado.

El artículo 22 de la Ley de referencia precisa que los programas de ordenamiento ecológico regional deberán contener, por lo menos la determinación del área o región a ordenar, describiendo sus atributos físicos, bióticos y socioeconómicos, así como el diagnóstico de sus condiciones ambientales y las tecnologías utilizadas por los habitantes del área; la determinación de los criterios de regulación ecológica para la preservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales que se localicen en la región de que se trate, así como para la realización de actividades productivas y la ubicación de asentamientos humanos; los lineamientos para su ejecución, evaluación, seguimiento y modificación; y los demás lineamientos que al efecto determine el Reglamento de esa Ley.

El artículo 26 del Dispositivo Legal en cuestión determina el procedimiento para la formulación, aprobación, expedición, evaluación y modificación de los programas de ordenamiento ecológico, en los términos siguientes:

- El expediente que se integre, con motivo del proceso de elaboración del programa del ordenamiento ecológico deberá estar a disposición del público en todo momento.
- Una vez realizado el proceso de consulta e incorporados los resultados del mismo, de ser procedente, se ordenará la publicación del programa en el Periódico Oficial del Estado.
- Una vez aprobado el programa de ordenamiento ecológico, la autoridad competente ordenará la publicación del texto completo o de una síntesis del mismo en el Periódico Oficial del Estado y en periódicos de amplia circulación local.

El artículo 27 de dicho Cuerpo Normativo prevé que los programas de ordenamiento ecológico serán considerados obligatoriamente por las autoridades administrativas dentro sus correspondientes ámbitos de competencia, cuando resuelvan acerca del aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, del uso del suelo, de la localización de las actividades productivas y de los asentamientos humanos, conforme a lo establecido por esa Ley, su Reglamento y demás ordenamientos aplicables.

El artículo 28 del Ordenamiento antes indicado dispone que, en la planeación del desarrollo estatal y municipal y en la realización de obras o actividades de carácter público, las dependencias y entidades de la administración pública estatal y municipal analizarán los criterios ambientales establecidos en esa Ley y demás disposiciones que de ella emanen.

El artículo 30 en sus fracciones I, II, III, IV y VI de la Ley en cuestión precisa que para efectos de la promoción del desarrollo y, a fin de orientar e inducir, con un sentido de conservación, las acciones de los gobiernos estatal y municipal, y de los particulares y los diversos sectores sociales en la entidad, se considerarán los criterios referentes a:

Pasar de una política correctiva a una preventiva, que otorgue prioridad a la búsqueda del origen de los problemas ambientales.

- Considerar las relaciones existentes entre el crecimiento y desarrollo económico y la generación de nuevas alternativas de ingreso, con la conservación del ambiente y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, bajo esquemas de planificación a mediano y largo plazo.
- Incorporar a los costos de producción de bienes y servicios, los relativos a la preservación y restauración de los ecosistemas.

- Propiciar el crecimiento económico que respete y promueva el equilibrio ecológico en el Estado y una calidad de vida digna para sus habitantes.
- Incorporar variables o parámetros ecológicos en la planeación y promoción del desarrollo, para que éste sea equilibrado y sustentable.

El artículo 32 del referido Cuerpo Legal establece que se considerarán como instrumentos económicos, a los mecanismos normativos y administrativos de carácter fiscal, financiero o de mercado, mediante los cuales las personas asuman los beneficios y costos ambientales que generen sus actividades económicas, incentivándolas a realizar acciones que favorezcan el ambiente, definiendo a cada uno de la siguiente forma:

- Los instrumentos fiscales serán aquellos estímulos que incentiven el cumplimiento de los objetivos de la política ambiental.
- Los instrumentos financieros serán los créditos, las fianzas, los seguros de responsabilidad civil, los fondos, los fideicomisos, cuando sus objetivos están dirigidos a la preservación, protección y restauración o aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, así como el financiamiento de programas, proyectos, estudios e investigación científica y tecnológica para la preservación y restauración del equilibrio ecológico y protección al ambiente.
- Los instrumentos de mercado serán las concesiones, autorizaciones, licencias y permisos que establecen los límites de construcción en zonas cuya preservación y protección se considere relevante desde el punto de vista ambiental.

El artículo 31 en sus fracciones I, III, IV y V del Ordenamiento mencionado, dispone respectivamente que el Estado y los Municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, diseñen y apliquen instrumentos económicos que incentiven el cumplimiento de los objetivos de la política ambiental, mediante los cuales se buscará:

- Promover un cambio en la conducta de las personas que realizan actividades industriales, comerciales y de servicios, de tal manera que sus intereses sean compatibles con los intereses colectivos de protección ambiental y de desarrollo sustentable.
- Actuar y vigilar para que aquellos que dañen el ambiente, hagan un uso indebido de recursos naturales o alteren los ecosistemas, asuman los costos respectivos.
- Promover una mayor equidad social en la distribución de costos y beneficios asociados a los objetivos de la política ambiental.
- Procurar su utilización conjunta con otros instrumentos de política ambiental en especial cuando se trate de observar umbrales o límites en la utilización de ecosistemas, de tal manera que se garantice su integridad y equilibrio, la salud y el bienestar de la población.

El artículo 34 fracciones I, III, V y VI de la mencionada Ley, prevé que -mediante la eficiente coordinación entre las dependencias competentes-, la planeación del desarrollo urbano, de los asentamientos humanos y los programas de ordenamiento territorial, deberán ser acordes con la política ambiental, además de cumplir con lo dispuesto en los ordenamientos aplicables, tomando en consideración entre otros criterios, respectivamente, los referentes a que:

- Los planes en materia de desarrollo urbano, asentamientos humanos y ordenamiento territorial, deberán tomar en cuenta los lineamientos y estrategias contenidas en los planes de ordenamiento ecológico.
- En la determinación de las áreas para el crecimiento de los centros de población, se evitará que se afecten áreas con alto valor ambiental.
- Se establecerán y manejarán en forma prioritaria las áreas de preservación ecológica en torno a los asentamientos humanos.
- Las autoridades estatales y municipales en la esfera de su competencia, promoverán a utilización de instrumentos económicos, fiscales y financieros de política urbana y ambiental, para inducir conductas compatibles con la protección y restauración del ambiente y con un desarrollo urbano sustentable.

El artículo 35 de dicho Ordenamiento menciona que la regulación ambiental de los asentamientos humanos deberá comprender el conjunto de normas, disposiciones y medidas de desarrollo urbano y vivienda que determinen llevar a cabo el Estado y los Municipios, con objeto de mantener, mejorar y restaurar el equilibrio de los propios asentamientos humanos con la naturaleza, a fin de propiciar una mejor calidad de vida de la población.

El artículo 36 en sus fracciones I, II y III del Cuerpo Legal de referencia, señala que los principios de regulación ambiental de los asentamientos humanos serán considerados en la formulación y aplicación de la política estatal y municipal de desarrollo urbano y vivienda; la formulación de planes y programas de desarrollo urbano y vivienda estatal y municipal; y el establecimiento de normas de diseño ecoeficientes, tecnología de construcción, uso y aprovechamiento de vivienda y, en general, las de desarrollo urbano estatal, respectivamente.

El artículo 120 en sus fracciones III, IV y VI, de la Ley antes indicada, precisa respectivamente que para el aprovechamiento sustentable del agua y los ecosistemas acuáticos se considerarán, entre otros, los criterios que señalan que:

- Para mantener la integridad y el equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico, se deberá considerar la protección del suelo, escurrimientos y cañadas, los recursos forestales y la vida silvestre, para asegurar la capacidad de recarga de los acuíferos.

- La preservación y el aprovechamiento sustentable del agua y de los ecosistemas acuáticos, es responsabilidad de las autoridades y de los usuarios, así como de quienes realicen obras o actividades que afecten o puedan afectar dichos recursos o alguno de sus componentes.
- La captación y almacenamiento del agua de lluvia, para usos múltiples se puede realizar mediante obras hidráulicas como puede ser represas, socavones, tajos, aljibes, etc.

En relación con lo anterior, el mismo Cuerpo Legal en su artículo 121 fracciones II y VI precisa que los criterios para el aprovechamiento sustentable del agua y de los ecosistemas acuáticos, serán considerados en el otorgamiento o revocación de toda clase de autorizaciones para la realización de actividades que afecten o puedan afectar el ciclo hidrológico; así como en los programas estatales de desarrollo urbano y vivienda.

Por su parte, el artículo 122 en sus fracciones I y VI de la citada Ley menciona que para el aprovechamiento sustentable del suelo y su vegetación se considerarán los criterios que indican que:

- El uso del suelo debe ser compatible con su vocación natural, y no debe alterar el equilibrio de los ecosistemas.
- En el aprovechamiento del suelo con fines urbanos, se deberán de considerar la delimitación de áreas que sustenten elementos vegetativos que por su especie, condición y distribución deberán preservarse para su uso en áreas verdes.

Respecto a lo señalado, dicho Ordenamiento en su artículo 123 fracciones II y III refiere que los criterios para la preservación y aprovechamiento sustentable del suelo se considerarán en la fundación de centros de población y la radicación o reubicación de asentamientos humanos; así como, en el establecimiento de usos, reservas y destinos, en los planes de desarrollo urbano, así como en las acciones de mejoramiento y preservación ambiental en los centros de población.

Por otra parte, artículo 3 en su fracción L de esa misma Ley, precisa que un prestador de servicios en materia de impacto y riesgo ambiental, es la persona registrada o autorizada por la dependencia o entidad correspondiente, que elabora informes preventivos, manifestaciones o estudios de impacto ambiental o de riesgo por cuenta propia o de terceros, y que es responsable del contenido de los mismos. De forma congruente, el artículo 198 de ese mismo Dispositivo refiere que los prestadores de servicios en materia de impacto y riesgo ambiental son responsables de la calidad y veracidad de la información, así como del nivel profesional de los estudios que elaboren, y deberán recomendar a los promoventes sobre la adecuada realización de las medidas de mitigación y compensación derivadas de los estudios.

Finalmente, el artículo 4 de ese Cuerpo Normativo dispone que para la resolución de los casos no previstos por la referida Ley, serán aplicables supletoriamente las leyes y ordenamientos relacionados con las materias que regula la misma.

Por otra parte, el Atlas de Peligros Naturales y Riesgos es un instrumento de prevención en materia de protección civil, congruente con lo previsto por la Ley de Protección Civil para el Estado de Nuevo León. Lo anterior, ya que las acciones en materia de protección civil que se lleven a cabo en el Estado son de carácter obligatorio, de orden público e interés social. Entre dicha acciones, se encuentra la prevención, cuyo objetivo es disminuir o eliminar riesgos o altos riesgos, así como para evitar desastres y mitigar su impacto destructivo sobre la vida, la salud, bienes de las personas, la planta productiva, los servicios públicos y el medio ambiente.

De tal forma, el Atlas de Peligros Naturales y Riesgos es un instrumento de observancia obligatoria que, mediante el establecimiento y clasificación de los riesgos hidrometeorológicos, geológicos y antropogénicos, contribuirá a la prevención de riesgos en la vida, la salud, los bienes, los servicios públicos y el medio ambiente.

En relación con lo anterior, la Ley de Protección Civil para el Estado de Nuevo León determina lo siguiente:

El Ordenamiento en cuestión, en su artículo 1 precisa que tiene por objeto regular las acciones que en materia de protección civil se lleven a cabo en el Estado, siendo su observancia de carácter obligatorio para las autoridades, organismos, dependencias e instituciones de carácter público, social o privado, grupos voluntarios y en general, para todas las personas que por cualquier motivo residan, habiten, o transiten en la Entidad.

El artículo 2 fracción X de dicha Ley dispone que se entiende como prevención a las acciones, principios, normas, políticas y procedimientos, tendientes a disminuir o eliminar riesgos o altos riesgos, así como para evitar desastres y mitigar su impacto destructivo sobre la vida, la salud, bienes de las personas, la planta productiva, los servicios públicos y el medio ambiente.

Ese mismo numeral en su fracción XI define a la protección civil como al conjunto de acciones, principios, normas, políticas y procedimientos preventivos o de auxilio, recuperación, y apoyo, tendientes a proteger la vida, la salud y el patrimonio de las personas, la planta productiva, la prestación de servicios públicos y el medio ambiente; realizadas ante los riesgos, altos riesgos, emergencias o desastres, que sean producidos por causas de origen natural, artificial o humano, llevados a cabo por las autoridades, organismos, dependencias e instituciones de carácter público, social o privado, grupos voluntarios y en general, por todas las personas que por cualquier motivo residan, habiten, o transiten en la Entidad.

El artículo 3 en sus fracciones I y III del mencionado Cuerpo Normativo, refiere que se consideran de orden público e interés social, respectivamente, el establecimiento y consecución de la Protección Civil en el Estado, así como las acciones de capacitación, prevención, auxilio, recuperación, y apoyo que se realicen para el cumplimiento de dicha Ley.

Además de los dispositivos antes indicados, la elaboración del Atlas de Peligros Naturales del Municipio de San Pedro Garza García tiene su fundamento en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la Ley General de Asentamientos Humanos, la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Nuevo León, la Ley de Desarrollo Urbano del Estado de Nuevo León, en los términos que se señalan a continuación.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece, en el párrafo tercero del Artículo 27 que la Nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana. En consecuencia, se dictarán las medidas necesarias para ordenar los asentamientos humanos y establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierras, aguas y bosques, a efectos de ejecutar obras públicas y de planear y regular la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población; para preservar y restaurar el equilibrio ecológico y para evitar la destrucción de los elementos naturales y los daños que la propiedad pueda sufrir en perjuicio de la sociedad.

Por su parte la Ley General de Asentamientos Humanos en su artículo 3 fracción XII refiere que el ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y el desarrollo urbano de los centros de población, tenderá a mejorar el nivel y calidad de vida de la población urbana y rural, mediante la prevención, control y atención de riesgos y contingencias ambientales y urbanos en los centros de población.

Por su parte la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Nuevo León, en el artículo 3 párrafo segundo establece que todos los habitantes tienen el derecho a disfrutar de un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona, así como del deber de conservarlo.

Ese mismo Ordenamiento prevé en su artículo 85 fracciones I y X que al Ejecutivo del Estado le corresponde proteger la seguridad de las personas, bienes y derechos de los individuos y, al efecto, mantener la paz, tranquilidad y orden públicos en todo el Estado, así como cumplir y hacer cumplir las leyes y demás disposiciones del Congreso del Estado, y ordenar y reglamentar en lo administrativo, lo necesario para su ejecución.

De igual forma, la referida Constitución señala en su artículo 87 que el Gobernador será Jefe y responsable de la Administración Pública centralizada y paraestatal del Estado, en los términos de esa Constitución y de la Ley Orgánica que expida el Congreso.

Conforme al artículo 165 de la Ley de Desarrollo Urbano del Estado de Nuevo León, los Atlas de riesgo, se elaboraran bajo el procedimiento y aprobación previsto para los Planes de Desarrollo Urbano según corresponda al espacio territorial que correspondan, y se publicaran en el Periódico Oficial del Estado.

Al Gobernador del Estado, de acuerdo con el artículo 10 fracciones XIII y XVII de la referida Ley, le corresponden las atribuciones relativas a planear conjunta y coordinadamente con los municipios respectivos, el desarrollo urbano, asentamientos humanos u ordenamiento territorial en las zonas de riesgo, y los programas y acciones derivadas de éstos; así como el promover conjuntamente con los municipios involucrados y los particulares la ejecución de obras y acciones de desarrollo urbano que contribuyan a elevar la calidad de vida de los habitantes de la zona y la prevención de riesgos.

Por su parte, el artículo 56 de dicho Ordenamiento precisa que el proyecto del Plan Estatal de Desarrollo Urbano será elaborado por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas del Estado, previo análisis de los estudios e investigaciones que realice; así como de las propuestas que hagan las dependencias y entidades estatales del sector desarrollo urbano y del gobierno federal en el Estado, los gobiernos municipales y las comisiones de zonas conurbadas según corresponda.

Una vez elaborado el plan y desahogadas las consultas públicas, dicha Secretaría debe someterlo al dictamen de la Comisión Estatal de Desarrollo Urbano, una vez que se dictamine favorablemente se ordenará su publicación en el Periódico Oficial del Estado, se inscribirá en el Registro Público de la Propiedad y el Comercio, y se le dará difusión pública.

RESUMEN

A fin de que el Gobierno del Municipio de San Pedro Garza García, N.L., cuente con una herramienta que proporcione información de los peligros y riesgos que pueden causar desastres a nivel municipal; el Instituto Municipal de Planeación Urbana (IMPLAN) firmó un convenio de colaboración con la Universidad Autónoma de Nuevo León a fin de desarrollar el Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de San Pedro Garza García. Este Atlas, está integrado en un Sistema de Información Geográfica, para establecer mejores políticas, planes y programas de planeación urbana, ordenamiento territorial sustentable y estrategias de prevención, mejorando la toma de decisiones para una efectiva planeación y gestión urbana. Este estudio abarca toda la superficie (83 Km²) del municipio de San Pedro Garza García.

La información base para la elaboración de este Atlas, comprende la carta topográfica escala 1:50,000 del INEGI, con clave G 14 A25, correspondiente al municipio de San Pedro Garza García, N.L.

El estudio incluye el análisis de peligros por los fenómenos naturales geológicos e hidrometeorológicos, así como los antropogénicos: sanitario-ambientales, químicos y socio-organizativos que afectan a la zona de estudio.

Para la realización del trabajo se tomó como base la Guía Metodológica para la elaboración del Atlas de Peligros Naturales a Nivel Ciudad (Identificación y Zonificación), edición 2004 (SEDESOL y SGM) y la Guía Básica para la Elaboración del Atlas Estatal y Municipales de Peligros y Riesgos (CENAPRED, 2006). Para cada uno de los tipos de peligros se siguió una metodología apropiada y adaptada para el área de estudio, según las condiciones del terreno y las necesidades propias de este proyecto.

Para el análisis de peligros geológicos se tomaron en cuenta la litología y estructura geológica de la roca, así como la orientación e inclinación de laderas y taludes. Para la valoración de este nivel de peligros se contó con el apoyo del personal técnico que labora en el Departamento de Geohidrología y Geofísica de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

La identificación y cuantificación de la amenaza que representan los peligros geológicos, tiene sentido si se pretende reducir la vulnerabilidad de la población e infraestructura. Es complejo emitir recomendaciones generales para la diversidad de problemáticas que se han identificado para los diversos fenómenos de remoción de masas. Lo más adecuado es desarrollar estudios geotécnicos detallados por zonas.

Los parámetros de ponderación para la elaboración del Mapa de Riesgo se realizaron de acuerdo a la normativa que establece el CENAPRED. Con base en la matriz de Riesgos Naturales que se muestra en la tabla No 5.1.1 se describen los tipos de riesgos partiendo de la zonificación del municipio en microcuencas en San Pedro Garza García, N.L. Cada una de estas microcuencas es, a su vez, dividida en: zonas de montaña, lomeríos y planicie. A partir de la evaluación obtenida del manejo de 34 variables se logró determinar los tipos de riesgos naturales que se muestran en el plano 42 siendo clasificada la zona de montaña como riesgo crítico con una valoración > 92 puntos, como riesgo alto de 86- 92 puntos, el riesgo medio de 85-69 puntos, el riesgo bajo de 68-46 puntos y riesgo nulo < 45 puntos, figura 5.1.1a.

Por otro lado, la autorización de nuevas construcciones, ya sea individuales o de fraccionamientos, deberá estar ligada a la presentación de estudios geotécnicos, en los cuales se definan las condiciones de estabilidad de laderas y taludes, no restringiendo al predio o fraccionamiento, sino al entorno de la ladera completa. Los estudios geotécnicos incluirían conclusiones y recomendaciones para la estabilización definitiva de laderas y taludes.

La identificación de diferentes tipos de erosión está basada en fichas técnicas que incluyen litología, tipo de suelo, fotografías, vegetación asociada y tipo de roca, entre otros parámetros, además se recurrió al análisis de las imágenes satelitales y su interpretación.

Para el análisis de peligros hidrometeorológicos se adaptó la metodología de CENAPRED según las condiciones propias del estudio, entre otras, escala de trabajo y superficie del área. El análisis hidrológico incluyó el análisis de precipitación y su relación con el escurrimiento que se concentra en obras de drenaje y corrientes naturales.

Para el análisis de peligros antropogénicos, se incluyeron los temas de peligro químico, sanitario-ambiental y socio-organizativo.

Del análisis de peligros geológicos en dicho municipio se resalta lo siguiente:

San Pedro Garza García, es uno de los municipios donde se presentan los escenarios más desfavorables en cuanto a inestabilidad de laderas. Los volteos se pueden presentar en 40% de su área total (Sierra de las Mitras) y deslizamientos en 20% en el flanco Norte y Noroeste de la Sierra Madre Oriental. En el flanco sur oriental del Cerro de Las Mitras se identificó susceptibilidad a desprendimientos por volteo al igual que en el flanco sur poniente de la Loma Larga.

En cuanto a los peligros hidrometeorológicos, se analizaron inundaciones, anegamiento y arrastre.

Para su estudio se procedió a:

- a) Analizar imágenes SPOT multi-espectral, con píxeles de 10m y SPOT pancromática con píxeles de 2.5 m
- b) Análisis meteorológico (comportamiento pluvial, distribución geográfica, análisis histórico, cálculo de intensidad, duración y tiempo de retorno IDTR).
- c) Delimitación de micro y nanocuencas, cruces entre la red hidrológica y vialidades, perfiles, registro fotográfico y modelación.
- d) Desarrollo e integración de la información en un SIG, con Modelo Digital de Elevación, cálculo de pendientes en grados, cálculo de pendientes en porcentaje, redes hidrológicas corregidas y topológicamente verificadas con dirección de escurrimiento aguas abajo y mapa de suelos.
- e) Finalmente, los peligros y riesgos antropogénicos son producidos por actividades humanas, aunque las circunstancias naturales pueden condicionar su gravedad. Incluye los químicos, sanitario-ambientales y socio-organizativos.

Los peligros sanitario-ambientales se refieren a aquellos que pueden sufrir los seres vivos al exponerse a elementos contaminantes. Este nivel de información se realizó de forma documental, apoyado con datos y estadísticas del sector salud, así como verificaciones de sitios de interés como son: hospitales, consultorios, tanques de agua y estaciones de bombeo de agua entre otros.

Por su parte, los peligros socio-organizativos incluyen accidentes y aquellos que se derivan de grandes concentraciones de población. La cartografía de este nivel de información se realizó a través de un censo. Se ubicaron albergues, gimnasios, centros comerciales, mercados, escuelas, templos y teatros entre otros.

El Plan Rector de Desarrollo Urbano del municipio de San Pedro Garza García, N.L., deberá proveer una organización y estructura vial que además de favorecer el uso y función cotidiana de la ciudad, contemple las vías de desalojo, escape y evacuación de las áreas afectadas por diferentes situaciones de riesgo, por ejemplo para el caso de explosiones, incendios o la llegada de huracanes. En la zonificación para el crecimiento y expansión de la zona estudiada se deberán establecer áreas que, por su ubicación y sus características físicas, sean espacios protegidos que permitan el resguardo de la comunidad, construyendo ahí albergues y refugios. Se recomienda, asimismo, el desarrollo de un programa de reordenamiento urbano, que permita identificar y reubicar usos y usuarios para generar los espacios de desarrollo y seguridad que se requieren. Se concluye que el crecimiento urbano en dicho municipio, requiere una planeación bien definida por parte de las diferentes autoridades municipales, restringiendo aquellas zonas con peligro y riesgo eminente. Este instrumento, el Atlas, es una valiosa herramienta que apoyará las decisiones de la autoridad.

San Pedro Garza García, es uno de los municipios donde se presentan los escenarios más desfavorables en cuanto a inestabilidad de laderas. Los volteos se pueden presentar en 40% de su área total (Cerro de Las Mitras) y deslizamientos en 20% en el flanco Norte y Noroeste de la Sierra Madre Oriental. En el flanco suroriental del Cerro de Las Mitras se identificó susceptibilidad a desprendimientos por volteo al igual que en el flanco sur poniente de la Loma Larga.

Por otro lado, la autorización de nuevas construcciones, ya sea individuales o de fraccionamientos, deberá estar ligada a la presentación de estudios geotécnicos, en los cuales se definan las condiciones de estabilidad de laderas y taludes, no restringiendo al predio o fraccionamiento, sino al entorno de la ladera completa. Los estudios geotécnicos incluirían conclusiones y recomendaciones para la estabilización definitiva de laderas y taludes.

La identificación de diferentes tipos de erosión se basó en fichas técnicas que incluyen litología, tipo de suelo, fotografías, vegetación asociada y tipo de roca, entre otros parámetros, además se recurrió al análisis de las imágenes satelitales y su interpretación. Las sierras se encuentran rodeadas por depósitos de abanicos aluviales poco consolidados, en ellos se está deforestando y lotificando para la construcción de nuevos fraccionamientos, implicando que se altere la inestabilidad del suelo, por medio de la erosión, ya que está expuesta a los diferentes agentes naturales.

Las erosiones hídricas laminar moderada y alta son las de mayor predominio en el área con un 32 % cada una de ellas, y es donde actualmente se localizan las nuevas construcciones y, por lo tanto, próximas deforestaciones.

En la porción suroeste del área se registraron zonas de cárcavas, característica de erosión concentrada, donde existen asentamientos irregulares en los cuales se puede observar la socavación de las cárcavas en dirección a las viviendas.

El crecimiento en el municipio de San Pedro Garza García requiere planeación bien definida por parte de las autoridades municipales, restringiendo aquellas zonas con riesgo eminente de que ocurran peligros antrópicos. Es imprescindible no sólo en términos de protección civil, mantener y planear el crecimiento, sino también en culturales y sociales, ya que de éstos emanan las soluciones a la mayor parte de las amenazas y riesgos.

Los peligros y riesgos antropogénicos son producidos por actividades humanas, aunque las circunstancias naturales pueden condicionar su gravedad. Incluyen los químicos, sanitario-ambientales y socio-organizativos.

Dentro de los peligros químicos se tiene que todas las zonas detectadas como propensas a sufrir incidentes de bolas de fuego (BLEVE) o explosiones por depósitos de gaseras y gasolineras en el área norponiente del municipio en los límites con el municipio de Santa Catarina son consideradas como riesgos mitigables, esto se debe a que algunos municipios cuentan con personal capacitado para el control y manejo de este tipo de eventualidades (Monterrey, San Pedro Garza García, Santa Catarina y San Nicolás de los Garza son de los municipios mejor preparados para el control y manejo de estas contingencias).

Es complejo emitir recomendaciones generales para la diversidad de problemáticas que se han identificado para los diversos fenómenos de remoción de masas. Lo más adecuado es desarrollar estudios de riesgo geológico-geotécnico detallados por zonas, aplicando la matriz de riesgos anexa en el informe.

De los estudios que se describen de manera detallada en el CAPÍTULO VI. Técnicas de mitigación y remediación para la estabilización de taludes en zonas de riesgo geológico en diferentes sitios en el municipio de San Pedro Garza García, N.L., NIVEL V; se desprenden las siguientes recomendaciones:

En sitios definidos como de alta susceptibilidad; con pendientes fuertes y litología de intercalaciones de lutitas, areniscas y/o calizas es recomendable realizar actividades que nos permitan mitigar y reducir el nivel de riesgo mediante la aplicación de las siguientes técnicas:

- a) Reforestar con vegetación nativa en sitios con estructura masiva.
- b) En sitios con fracturamiento denso mantenerse libre de vegetación con raíces profundas, ya que facilitan la apertura de las fracturas y, con ello, se desestabiliza mayormente las laderas.
- c) Realizar un inventario detallado de bloques en las zonas de mayor riesgo por desprendimientos, sobre todo en las partes altas.
- d) Demoler aquellos que han perdido sustentabilidad. Hacerlo manualmente o mediante el uso de químicos (Dexpam, Pyroblast, Bristar) evitando explosivos.
- e) Anclar aquellos bloques que, por sus dimensiones, sea posible y exista una masa de roca razonablemente aceptable.
- f) Levantar muros de mampostería y de gaviones para dar apoyo a grandes y medianos bloques.
- g) Independientemente del grado de fracturamiento, drenar la masa de roca para evitar sub-presiones que aumenten el grado de inestabilidad de la masa de roca.

Para zonas de susceptibilidad media, se restringirá el uso de malla electrosoldada y concreto lanzado, salvo para el caso de afloramientos de material clástico (lutitas y limolitas de fuerte grosor o masivas).

El diseño de taludes con bermas mejora la estabilidad cuando se conforman de materiales de roca suave o granulares poco consolidados; siempre y cuando la masa de roca no tenga una estructura con echados a favor de la pendiente del terreno.

Los muros de contención, independientemente de su diseño, serán útiles siempre y cuando se permita el drenado de la masa de roca.

CAPÍTULO I. Antecedentes e Introducción

1.1. Introducción

El acelerado crecimiento territorial de las ciudades en áreas cuya aptitud del suelo para el asentamiento de población es considerada como inadecuada, tiende a incrementar la vulnerabilidad de las viviendas frente a amenazas de origen natural. Si a lo anterior agregamos que las condiciones socioeconómicas de las familias de escasos recursos; asentadas en áreas carentes de infraestructura, servicios y en viviendas inseguras, son de alta marginalidad, la combinación de ambos factores incrementa potencialmente las posibilidades de ocurrencia de un desastre. Las autoridades del Municipio de San Pedro Garza García, a través del IMPLAN y la Subsecretaría del Desarrollo Urbano y Ordenación del Estado y la SEDESOL, tienen como objetivo proporcionar a las autoridades locales información relevante sobre las zonas de mayor impacto por peligros naturales identificados en dicho municipio.

Con base en los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo Urbano 2000-2020 (Gaceta Municipal, San Pedro Garza García, julio 2006) se destaca la necesidad de normar los asentamientos humanos a los usos y destinos del suelo; las construcciones y el uso de edificaciones.

En materia de prevención de desastres, la Secretaría de Desarrollo Social en el marco del Programa Hábitat ha decidido fortalecer las acciones que contribuyan a reducir la vulnerabilidad de la población ante la presencia de peligros naturales, con especial énfasis en aquellas que permitan identificar zonas de alto riesgo para la población de las localidades —en particular en aquellas zonas localizadas en zonas de laderas o montañas, o en barrios y colonias marginadas— frente a una eventual situación de desastre, en el municipio de San Pedro Garza García, N.L.

La información documentada y precisa contenida en el Atlas de Riesgos Naturales del municipio de San Pedro Garza García, N. L. será clave para actuar en el plano preventivo y el fundamento de estrategias de autoprotección orientadas a reducir los costos económicos y sociales, además de pérdidas humanas que pudieran ocurrir a consecuencia de desastres naturales. Este documento hará posible, al mismo tiempo, disminuir el plazo requerido para iniciar las labores de apoyo y reconstrucción de daños, resultado en todo caso de la interacción entre autoridades, damnificados, socorristas y el resto de la sociedad.

La ubicación de las zonas de riesgos y el nivel de peligro identificado en las diferentes estructuras que conforman el área municipio de San Pedro Garza García, N.L., constituyen los primeros pasos para la consolidación de un sistema de protección civil y del proceso de gestión de riesgos en este importante municipio. Con ellos, se avanza hacia uno de los objetivos sustanciales del Gobierno municipal de San Pedro Garza García encabezado por IMPLAN y la SEDESOL: propiciar el mejoramiento de las condiciones de vida de quienes residen en zonas marginadas, mediante la modificación del plan de desarrollo urbano de construcción en zonas de cañadas, laderas y montañas.

El presente Atlas está estructurado como una base de datos de campo, (geológicos, estructurales, climatológicos, hidrológicos y antropogénicos) de peligros y riesgos de la cual; se puede analizar y extraer información de utilidad, para los futuros planes de desarrollo urbano y de construcción en zonas de cañadas, montaña, laderas y en las partes bajas del área municipal, como programas de mitigación y de riesgos. El Atlas está basado en el documento de “Guía metodológica para la elaboración de atlas de peligros naturales a nivel de ciudad, identificación y zonificación” que propone las bases para integrar, manipular, administrar y modelar la información disponible de riesgos naturales.

1.2. Antecedentes

La frecuencia e intensidad de los desastres provocados por fenómenos naturales y los accidentes de origen humano, impactan de manera directa sobre la población, economía y los ecosistemas. Tradicionalmente la ingeniería sobre el control del daño se ha limitado a responder a las calamidades ocasionadas por éstos, tomándose pocas medidas preventivas, hoy en todo se ha reconocido que la manera más eficiente y económica de manejar los desastres es la prevención y planificación de las respuestas.

La presente propuesta surge como una necesidad por parte del Municipio de San Pedro Garza García, a través del IMPLAN, de la Subsecretaría del Desarrollo Urbano y Ordenación del Estado y la SEDESOL después de las diferentes catástrofes derivados de los eventos meteorológicos ocurridos en el área metropolitana de la ciudad de Monterrey, N. L., provocados por la depresión tropical Álex en el mes de julio del 2010.

Todos los fenómenos considerados en el informe están ligados a la geodinámica externa, es decir, a procesos modeladores del relieve, mismo que están controlados por accidentes geológicos profundos, como fallas y fracturas. De acuerdo con el SGM (1987) los riesgos ligados a la geodinámica externa se asocian a inundaciones, desprendimientos, deslizamientos, subsidencias, expansividad de suelos, carsticidad, inestabilidad de taludes y erosión. En los años de 1987 y 2002, el área metropolitana de Monterrey experimentó el embate de dos de ellos: inundaciones provocadas por el huracán Gilberto 1988 y el deslizamiento de bloques en la zona residencial de Olinálá en el flanco sur oriental del Anticlinal de Los Muertos. Los eventos meteorológicos ocurridos en el 2005 dejados por el huracán Emily en el mes de julio y las lluvias torrenciales del 14 de octubre del mismo año en el área metropolitana de la ciudad de Monterrey, N. L. fueron el detonante para que la falla San Jerónimo se reactivara, el agente motor fue la sobresaturación de los paquetes arcillosos así como los errores cometidos al construir sobre rellenos no compactados, provocando deslizamiento de ladera en la zona.

Los antecedentes utilizados para la integración del Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de San Pedro Garza García, son los temas elaborados previamente por otras instituciones (SEGOB, 1994; SEGOB, 2000; SEDESOL, 2003a; SEDESOL, 2003b; SEDESOL, 2003c), mapas de riesgos de inundación y de deslizamientos así como técnicas para estabilizar, mitigar y remediar zonas de riesgo, elaborado por personal del Departamento de Geohidrología y Geofísica: Atlas de Riesgos Geológicos en el Área Metropolitana de Monterrey y Región Periférica (2009).

1.3. Objetivo general

Desarrollar el Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de San Pedro Garza García; el área correspondiente al municipio de San Pedro Garza García, N.L., en una superficie de 83 Km². El estudio incluye los fenómenos naturales (hidrometeorológicos y geológicos) y los antropogénicos sanitario-ambientales, químicos y socio-organizativos que afectan a la zona de estudio.

El Atlas es una herramienta estratégica que permite la integración de información sobre riesgos de desastres a nivel municipal, en un sistema de información geográfica, que permite establecer mejores políticas, planes y programas de planeación urbana, ordenamiento territorial sustentable y estrategias de prevención, mejorando la toma de decisiones para una efectiva planeación y gestión urbana.

1.3.1. Objetivos específicos

- Integrar, homologar y estandarizar la información existente (municipal, estatal y federal) relativa a cada uno de los fenómenos perturbadores hidrometeorológicos, geológicos, químicos, sanitario-ambientales y socio-organizativos que afectan la zona antes mencionada.
- Diseñar y construir un Sistema de Información Geográfica (SIG) en plataforma ArcGis 9.2, para la gestión de riesgos.
- Elaborar mapas de zonificación y escenarios de peligro, conjuntado con la exposición y vulnerabilidad para conformar el nivel de riesgo por municipio y por fenómeno perturbador, mediante metodologías que permitan utilizar los criterios que, a nivel nacional, han definido las instancias con atribuciones en materia de riesgo.
- Instituir un documento fundamental en la prevención, para futuros desarrollos urbanos.
- Integrar, homologar y estandarizar la información existente (municipal, estatal y federal) relativa a cada uno de los fenómenos perturbadores ya mencionados que afectan la zona de estudio.
- Elaborar mapas de zonificación y escenarios de peligro, conjuntado con la exposición y vulnerabilidad para conformar el nivel de riesgo del municipio y por fenómeno perturbador, mediante metodologías que permitan utilizar los criterios que a nivel nacional han definido las instancias con atribuciones en materia de riesgo.
- Instituir un documento fundamental en la prevención, para 41 futuros desarrollos urbanos.
- Dar una visión sintética de los peligros ocasionados por fenómenos naturales y los generados por el hombre así como su impacto sobre la población.
- Facilitar la jerarquización de las zonas de peligro para que la autoridad correspondiente pueda elegir prioridades y elaborar estudios a detalle.
- Ejecución de obras propuestas en las medidas de mitigación.
- Examinar y comparar los problemas en diferentes regiones a fin de establecer una política estatal de prevención.
- Implementación de técnicas para la estabilización de taludes, demolición de bloques, etc.

1.4. Alcances

Se pretende la integración de la información disponible para la determinación de peligros y riesgos naturales (geológicos, geomorfológicos, hidrometeorológicos y antropogénicos) que se presentan en la zona correspondiente al municipio de San Pedro Garza García y en su entorno geográfico. Dado que dicho municipio se encuentra dentro de una zona montañosa con pendientes muy pronunciadas, estas condiciones favorecen el desarrollo y la evolución de fenómenos perturbadores. Para la realización de este documento se utilizaron los métodos básicos de interpretación de los sensores remotos disponibles, como son las imágenes de satélite, ortofotos, fotografías aéreas de vuelo bajo escala 1:40,000 (2004) y 1:50,000 (2002) y el modelo digital de elevación para extraer información relativa a la expresión regional de los peligros naturales y en la definición de las zonas de riesgos en zonas urbanas o microzonificación. Se utilizaron también los criterios fotogeológicos para definir las zonas de riesgo mitigables, no mitigables y se proponen acciones al igual que programas para disminuir los efectos de desastres en las zonas mitigables.

1.5. Metodología

El Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de San Pedro Garza García, N.L. de acuerdo al marco geoestadístico de INEGI del 2000 se basa en las actividades de recopilación bibliográfica, cartográfica y en el análisis de la misma con el propósito de utilizar los datos que lleven a la identificación de los peligros naturales y antropogénicos; que son aquellos fenómenos cuya ocurrencia en el tiempo y en el espacio han sido cuantificados, cualificados y referidos con base en los desastres de vidas y actividades humanas ocurridos al menos en los últimos 20 años (Bitrán, 2001; Bitrán, et al., 2001).

Para la elaboración del presente Atlas se tomó como base la metodología vigente desarrollada a nivel nacional por la SEDESOL y el SGM denominada "Guía Metodológica para la elaboración de Atlas de Peligros Naturales a Nivel Ciudad (Identificación y

Zonificación)” edición 2004, y la desarrollada por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) “Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos”.

Se utilizaron métodos básicos de interpretación de los sensores remotos disponibles como son las imágenes de satélite, ortofotos, fotografías aéreas y el modelo digital de elevación; para extraer información relativa a la expresión regional de los peligros causados por fenómenos naturales y en la definición de las zonas de peligro en zonas urbanas o por urbanizar. Para cada uno de los tipos de peligros se siguió una metodología apropiada y adaptada para el área de estudio según las condiciones del terreno y de las necesidades propias de este proyecto.

Para los peligros geológicos, se tomaron los datos estructurales correspondientes y predominantes en cada uno de los sitios visitados, como son: azimut de la dirección de inclinación máxima del plano de discontinuidades (estratificación, fallas y fracturas) y la intensidad o ángulo de inclinación del mismo plano, para posteriormente ser analizados en este rubro. Para la identificación de cada uno de los datos que se manejan en este estudio, se crearon formatos que contienen la siguiente información: fotografía del sitio, coordenadas, datos estructurales (azimut y echado), tipo de litología, tipo de riesgo (derrumbes, deslizamientos, fallas y fracturas), rosa de fracturas y características del talud, etc.

Para la identificación de los diferentes tipos de erosión se elaboró un formato, el cual contiene la fotografía del sitio e información relacionada con su ubicación, además, tipo de vegetación asociada, cobertura en Km² y tipo de roca, entre otros parámetros. Dicho formato se llenó con datos obtenidos en campo para, posteriormente, elaborar una base de datos de cada una de las zonas en las que se dividió el área, misma que sirvió finalmente para elaborar el plano de los tipos de erosión que se encuentran en el sitio de estudio. En esta sección del proyecto del Atlas de Riesgos Naturales del municipio de San Pedro; se establecen los criterios para determinar las áreas con peligros hidrometeorológicos. La base para este trabajo es la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales del CENAPRED.

Dentro de los alcances del proyecto es importante mencionar que sólo se estudiaron los peligros de inundación y los de encharcamiento. El análisis del riesgo es un estudio más detallado que requiere más información y un mayor tiempo de trabajo. Las definiciones de estos conceptos se encuentran en el glosario (ver Capítulo IX. Anexos).

El peligro de inundación se analizó en función de las condiciones actuales de la topografía, tipo de suelo y cobertura del suelo. En una zona tan cambiante como el municipio de San Pedro, la topografía puede ser modificada al construir un puente, una carretera. La cobertura de suelo es modificada al construir en zonas que antes eran matorral o bosque. Estas propiedades del área de estudio tienen una fuerte influencia en el peligro de inundación. Por lo tanto sólo se considerarán las condiciones del presente, no del pasado ni de posibles cambios en el futuro. El presente para este proyecto queda definido para la topografía por los datos LIDAR de diciembre del 2010 y para la cobertura de suelo por las imágenes de satélite SPOT de febrero y marzo del 2010.

Los productos finales que se obtienen luego del procesamiento de los datos son:

- Una capa de información de peligro de inundación a lo largo de los cauces y áreas adyacentes a los mismos.
- Una capa de información de peligro de encharcamiento.
- La identificación de los puntos conflictivos, identificados en función del cruce de la red hidrológica y el equipamiento vial y ferroviario en la zona de estudio.
- Una capa de puntos donde aparece representada la información de salidas de verificación en campo, posibles puntos de peligro, puntos de inundaciones históricas y puntos obtenidos en trabajos previos.
- Fichas descriptivas de cada cuenca.
- En la sección de metodología de este trabajo, se explicará el proceso de obtención y los detalles de cada producto final.
- En el caso de los peligros antropogénicos, se llevó a cabo una ardua labor, tanto en campo como en gabinete, para desarrollar los temas de los peligros químicos, sanitario-ambientales y socio-organizacionales.

Para cada caso se describe con mayor detalle la metodología utilizada en los capítulos correspondientes. Finalmente la información expresada en los mapas de peligros y riesgos se integró dentro de un sistema de información geográfica o SIG para el despliegue, la consulta rápida de cada mapa tiene sus propios atributos, de acuerdo a un diccionario de datos. El arreglo ordenado de la información de los mapas y sus atributos, definen una base de datos que en ese sentido conforma un atlas digitalizado de peligros de las zonas vinculadas a montañas y laderas y zonas bajas en el área correspondiente al municipio de San Pedro Garza García, N.L.

1.6. Contenido del Atlas

Con base en los objetivos planteados, el contenido del trabajo incluye los siguientes aspectos: el análisis y diagnóstico de los agentes perturbadores y de los sistemas afectables, recursos humanos, materiales y naturales disponibles que pueden ser afectados. Establecer disposiciones, medidas y acciones en los subprogramas de prevención, auxilio, recuperación y apoyo a la población. Dicho contenido irá apoyado con el siguiente material cartográfico: riesgos hidrometeorológicos (zonas de inundación, encharcamiento, dirección de flujos superficiales, de acuerdo al orden de Strahler, 1964, geológicos (deslizamiento de ladera, pendientes, geológico, derrumbes, fallas y fracturas, hundimientos, geomorfológico y fisiográfico, riesgo geológico y antropogénicos (cartografía urbana, población, actividades económicas, socio organizativos, riesgo químico, sanitario ambiental) sísmico, tsunamis, volcánico, sequías, nevadas, heladas, ciclones etc.

CAPÍTULO II. Determinación de la zona de estudio

2.1. Determinación de la zona de estudio

El municipio de San Pedro Garza García, N.L., limita al norte, oriente y sur oriente con el municipio de Monterrey, al poniente con Santa Catarina y al norponiente con García, al sur franco con la Sierra Madre Oriental. Se encuentra entre las coordenadas: 25° 30' - 25° 45' latitud norte y 100° 20' - 100° 40' longitud oeste (hoja de INEGI G 14 A 25). En la figura 2.1 se muestran los límites geográficos de dicho municipio. Figura 2.1, 2.1a.



Figura 2.1. Límites municipales de San Pedro Garza García, N.L.

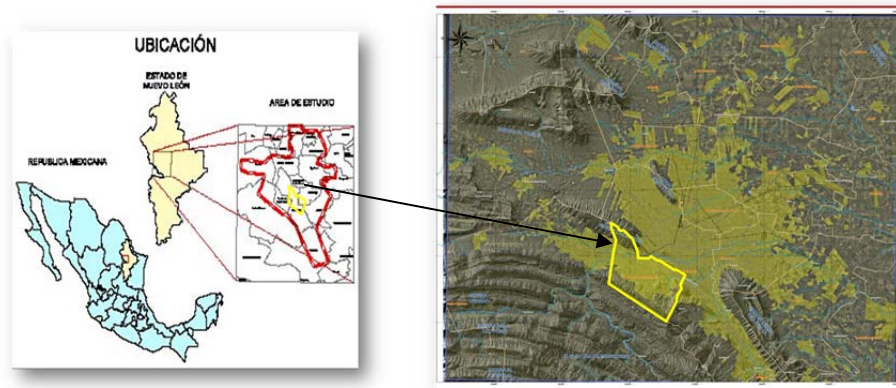


Figura 2.1a. Localización del área de estudio.

CAPÍTULO III. Caracterización de los elementos del medio natural

3.1. Fisiografía

Fisiográficamente el área correspondiente al municipio de San Pedro Garza García se encuentra en el borde de las provincias de la Sierra Madre Oriental (al Sur y Oeste) y de la Cuencas y Sierras de Coahuila (al Norte y Este) caracterizadas por altas y escarpadas montañas la primera y la segunda por más bajas pero no menos escarpadas, ambas constituidas por sedimentos marinos mesozoicos intensamente plegados por los esfuerzos tectónicos de la Orogenia Laramide. Esta región de la Sierra Madre Oriental cambia su rumbo, formando una amplia curva, de una dirección SSE-NNW a un E-W casi franco. En la figura 3.1, se muestra la ubicación del área de estudio.

El modelo geodinámico de cuña es válido tanto para la cuenca de Sabinas como para la Sierra Madre Oriental. Este modelo explica como la contracción horizontal del material, separado del sustrato, tiende a generar una cuña, la cual crece verticalmente provocada por la fuerza de gravedad. La geometría de la cuña desarrolla y refleja un equilibrio entre la tensión del material de ésta, necesaria para causar el deslizamiento a lo largo del esfuerzo principal. El desplazamiento principal fuerte, tenderá a generar acortamientos, generando escarpes muy pronunciados como los que se presentan en el flanco norte de la Sierra Madre Oriental a la altura del Cañón de La Huasteca, Cañón de Villa de García y el flanco sur del Anticlinal de las Mitras y en la Loma Larga. El desplazamiento débil tenderá a generar el acortamiento sobre una zona más amplia, y creará una cuña más suave sobre la rampa (Eguiluz. A.C., Aranda-García y Marret, 2002)

3.2.1. Cabalgaduras

Estas estructuras son producto de las máximas compresiones que dieron origen a los plegamientos, son extensos corrimientos de bajo ángulo. La cabalgadura más representativa es la Santa Catarina, ésta corre a lo largo de la conocida Curvatura de Monterrey, tiene una vergencia al NE, marca el límite de los terrenos tectonoestratigráficos Sierra Madre y Coahuila. Otras cabalgaduras menores, se localizan al costado noreste del Cerro de La Silla, Sierra El Fraile, Sierra Las Mitras, Loma Larga. En la fotografía 3.2.1, se muestran los plegamientos sobre la avenida San Francisco así como un sistema de fallas de cabalgamiento, detectándose una cavidad sobre ésta (Falla La Diana), pliegue, claramente se observa en la parte central la zona de dislocamiento así como: los pliegues próximos al área correspondiente a los edificios la Diana. En la figura 3.2.1 se muestra un esquema de la geometría de los pliegues.

Dicho fallamiento y fracturamiento está asociado a esfuerzos compresivos y de distensión provocando plegamientos y deflexión en el buzamiento de ambas estructuras, la colisión provocó en la estructura de la Loma Larga un sistema de rupturas en diferentes secciones de la sierra, prueba de ello es el plegamiento que se observa a la altura del monumento a La Diana, rumbo NW 60° SE, formando una falla-pliegue de desplazamiento lateral dextral.



Fotografía 3.2. 1 Falla La Diana.

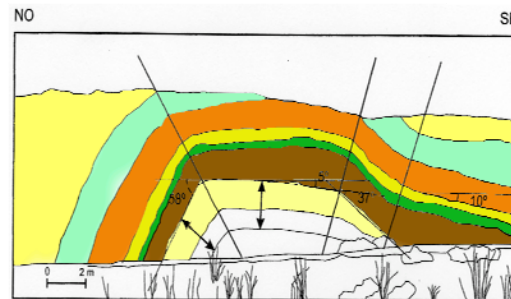


Figura 3.2.1. Esquema de la geometría de los pliegues.

3.2.2. Fallas de deslizamiento

Este tipo de estructuras son muy escasas y en su mayoría son de pequeñas dimensiones, se asocian a los plegamientos de la Curvatura de Monterrey, cortan de manera perpendicular a las estructuras mayores, las verificadas en campo son pocas y afloran gracias a los cortes que se han efectuado en las vialidades, bancos de materiales, y actualmente generan un riesgo alto a la población. Uno de los ejemplos más claros fue el derrumbe que se suscitó en el mes de septiembre del 2010; provocado por una lluvia torrencial que fue el agente detonante para que el talud fallara, afectado por el intenso fracturamiento de la roca inducido por la tectónica que dio origen a la falla y la actividad antrópica, fotografía 3.2.2.



Fotografía 3.2.2. Daños generados por deslizamiento del talud en edificio Santa Fe I, después de las lluvias torrenciales que azotaron la ciudad de Monterrey y su área metropolitana los días 24 y 25 de Septiembre del 2010.

3.2.3. Geología del sitio

El área de estudio se localiza en la parte suroeste y noreste del Valle de Monterrey, comprendiendo el flanco norponiente del Anticlinal del Mirador y el flanco sur poniente del Anticlinal Loma Larga, es importante recalcar que el valle investigado, se encuentra enmascarado por depósitos de ambientes continentales y de plataforma, reflejo de transgresiones y regresiones, con cambios laterales y verticales de facies, relacionados con sistemas fluviales, producto de avenidas, estos eventos se observan claramente en la posición de los cantos del conglomerado (imbricación), complejos correspondientes a dichos depósitos los cuales están restringidos en el hombro derecho del cauce, este depósito en algunos sitios, se muestra muy bien cementado. En la figura 3.2.3, se muestra la geología del sitio, en la tira marginal se describen de manera detallada cada uno de los atributos que conforman el plano geológico.

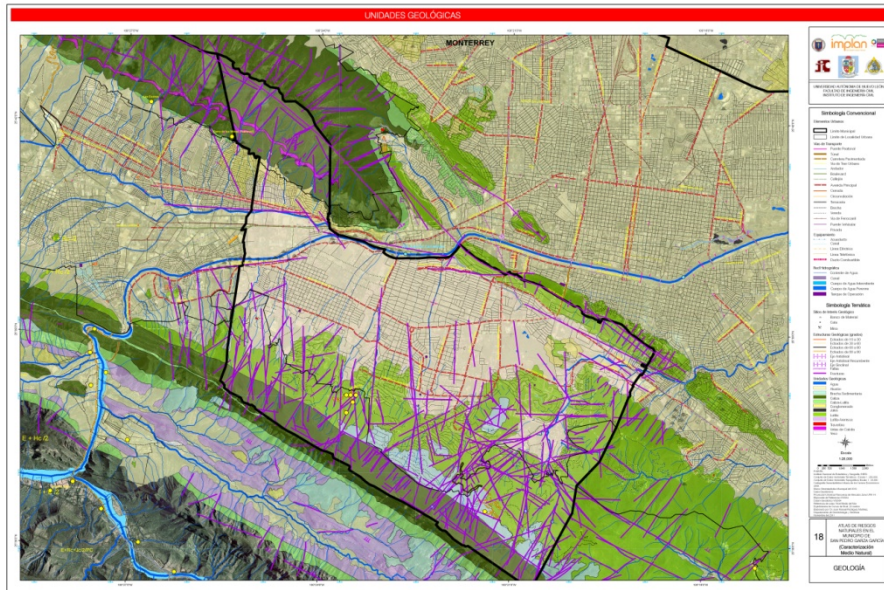


Figura 3.2.3. Geología del sitio de estudio.

3.2. 4. Estratigrafía

La estratigrafía del noreste de México está conformada por depósitos de origen marino y continental. En la figura 3.2.4, se muestra la columna litológica a nivel regional, la cual está constituida por depósitos con edades que van desde el Jurásico Inferior en la formación Minas Viejas que está conformada por rocas evaporíticas (yesos y anhidritas), la F. Zuloaga compuesta por calizas arrecifales, lutitas y areniscas correspondientes a la formación La Casita, del Jurásico Superior; los depósitos de la formación Taraises están asociados con ambientes deltaicos, la formación Cupido conformada por un banco de arrecifes de barrera, la F. La Peña constituida por lutitas, la F. Aurora son calizas de plataforma, F. Cuesta del Cura conformada por una secuencia de lutitas con intercalación de bandas de perdernal negro en espesores delgados, F. Agua Nueva, F. San Felipe y F. Méndez descansando en forma discordante los depósitos de aluvión de edad reciente. Todas estas unidades formacionales presentan características litológicas muy semejantes en comportamiento, por lo cual para los requerimientos y necesidades del trabajo se agruparon en tres grandes grupos litológicos: caliza, lutita e intercalaciones de ambas, figura 3.2.4.

3.2.4.1. Formación Minas Viejas (Oxfordiano). Humphrey y Díaz, 1956

Dicha unidad está constituida por una secuencia de depósitos evaporíticos (anhidritas, yesos, halita, etc), con intercalaciones aisladas de lutitas, calizas y areniscas que subyacen a la caliza Zuloaga en varios anticlinales en los estados de Coahuila y Nuevo León, específicamente en el Anticlinal Minas Viejas así como en el Potrero de Villa de García. En el pozo perforado por la empresa paraestatal de PEMEX Pozo Minas Viejas No 1, se penetró cerca de 3,000.00 m, en esta formación se logra atravesar totalmente la serie de calizas, el paquete de sal fue cortado en su totalidad. A partir de la información del subsuelo se puede inferir que el ancestral Golfo de México formó el elemento paleogeográfico de la Cuenca de Sabinas está subyaciendo sobre depósitos evaporíticos del Jurásico correspondiente a la formación Minas Viejas.

3.2.4.2. Formación Zuloaga (Oxfordiano - Kimmeridgiano).Burckhard, 1930; Imlay, 1938; Heim, 1940; Humphrey, 1956 en González S. F. y otros, 2004

Aflora en la zona de las minas de yeso San Genaro y Monterrey y en los núcleos de los anticlinales Potrero de García y San Miguel, los ubicados al sur del Cañón de La Huasteca constituyen el núcleo de las estructuras anticlinales mencionadas, además de la del Cerro de La Silla y en el Anticlinal de Los Muertos. Litológicamente la caracteriza una secuencia calcárea; en la base wackestone, packstone y grainstone y en la parte superior mudstone, de color gris que interperiza en gris claro y café grisáceo, de estratificación gruesa a masiva, lentes de pedernal negro y café rojizo, en su parte media se caracteriza por presentar sedimentos evaporíticos (yesos y anhidrita). Su contacto inferior es transicional con la formación Minas Viejas, el superior es transicional con la formación La Casita. Por posición estratigráfica y los fósiles que contiene se le ha asignado una edad que va del Oxfordiano tardío al Kimmeridgiano inferior. Su ambiente es marino de plataforma, epinerítico de aguas tranquilas.

3.2.4.3. Formación La Casita (Kimmeridgiano–Tithoniano) Imlay, 1936 en González S. F. y otros, 2004

Está presente en casi todas las estructuras anticlinales que conforman la Curvatura de Monterrey, así como en los anticlinales de Minas Viejas, Potrero de García y del Cerro de La Silla, aflorando en las partes erosionadas constituyendo sus flancos, bordeando el núcleo. Litológicamente consta de lutita fosilífera, gris oscuro a negro, de estratificación delgada a laminar, presentan fisilidad y son deleznales, arenisca cuarzo-arcillosa, gris claro y oscuro, de grano fino a medio, de estratificación delgada, con fracturas selladas por cuarzo, con horizontes de lutita carbonosa, arenisca conglomerática de cuarzo, gris oscuro, conglomerado e intercalación de caliza (mudstone) arcillo-arenosa del mismo color, con esporádicas laminaciones de evaporitas interestratificadas. En estudios de detalle estratigráfico se le ha medido un espesor de 430 m. La edad se les asigna por posición estratigráfica y corresponde al Tithoniano - Kimmeridgiano. Se depositó en un ambiente marino somero a litoral, en condiciones reductoras con alto contenido de materia orgánica.

3.2.4.4. Formación Taraises (Valanginiano – Hauteriviano) Imlay, 1936 en González S. F. y otros, 2004

Aflora en los flancos de las estructuras de la Curvatura de Monterrey; en la Sierra de San José de Los Nuncios, el Cañón La Escalera, en la Sierra de Arteaga y el anticlinal situado al sur del Cañón de La Huasteca, así como en los anticlinales Potrero de García, San Miguel y Minas Viejas y al sur en El Cerro de La Silla. La constituye caliza (mudstone) areno-arcillosa en capas delgadas a medianas, nodulares y caliza con fracturas rellenas por calcita gris más resistentes de estratificación delgada con lentes de pedernal, en ocasiones se observan ligeramente arenosas con horizontes biógenos, con pelecípodos y bivalvos e intercalaciones de lutita gris de estratificación delgada a laminar con escasos fragmentos biógenos y fracturas rellenas por calcita. En otros trabajos se lograron medir 175 m de espesor. Por su contenido faunístico colectado en otros trabajos se le asigna una edad de Valanginiano a Hauteriviano temprano. Por sus características litológicas y faunísticas se considera que su depósito es de mar abierto con baja energía.

3.2.4.5. Formación Cupido (Barremiano - Bedouliano) Imlay, 1937 en González S. F. y otros, 2004

Aflora en los flancos de las estructuras de la Curvatura de Monterrey en la Sierra de San José de Los Nuncios, el Cañón La Escalera, la Sierra de Arteaga y el anticlinal situado al sur del Cañón de La Huasteca, así como en los anticlinales Potrero de García, San Miguel y Minas Viejas, en la Sierra de Las Mitras y al sur en el Cerro de La Silla. Litológicamente la integran mudstone, wackestone y packstone, ocasionalmente dolomitizados, gris claro a café claro, con miliólidos (foraminíferos plantónicos) y bioclastos con escasos peletoides e intraclastos con nódulos de óxido de hierro, en capas gruesas a masivas, esporádicamente presentan ligera dolomitización gris a café claro con vetillas y fracturas selladas por calcita (grietas de tensión) y abundantes oquedades de disolución. A esta unidad se le han medido 750 m de espesor en trabajos de detalle estratigráfico realizados para otros fines. Su contacto inferior es concordante cubriendo a la formación Taraises y le sobreyace la Formación La Peña en igual forma. Con base en asociación faunística colectada en otros trabajos se le asigna una edad Barremiano - Bedouliano. Las rocas de la formación Cupido son características de un ambiente de plataforma.

3.2.4.6. Formación La Peña (Aptiano “Gargaciano”) Imlay, 1936 en González S. F. y otros, 2004

Aflora en los flancos de las estructuras de la Curvatura de Monterrey; en la Sierra de San José de Los Nuncios, el Cañón de La Escalera y en la Sierra de Arteaga y el anticlinal situado al sur del Cañón de La Huasteca, Potrero de García, San Miguel y Minas Viejas, en la Sierra de Las Mitras y al sur en el Cerro de la Silla. Presentan dos miembros, el inferior es caracterizado por caliza arcillosa en capas delgadas a medianas ocasionalmente intercaladas con lutita y limolita calcárea con bandas de pedernal. El miembro superior lo conforman intercalaciones de caliza y lutita con abundantes amonitas del género Dufrenoya sp. Posteriormente Humphrey 1946, propuso que la formación La Peña se restringiera exclusivamente a la porción superior de la secuencia descrita originalmente. Litológicamente está constituida por intercalaciones de mudstone arcilloso color gris a gris claro, con escasos fragmentos de amonitas. La base presenta cuerpos de lutita de estratificación laminar gris claro a violáceo, con esporádicas intercalaciones de estratos delgados de mudstone arcilloso de gris claro, con abundantes fragmentos de amonitas. El espesor promedio de esta unidad es de 25 m en el área estudiada. Sobreyace en forma concordante a la formación Cupido y de igual forma subyace a la formación Tamaulipas superior. Durante el trabajo de campo solo se encontraron fragmentos de amonitas, en otras áreas se ha reportado otras especies que en conjunto determinan una edad de Aptiano superior. Se considera de un ambiente de depósito marino de mar abierto somero con abundante materia orgánica.

3.2.4.7. Formación Aurora (Albiano inferior medio) Burrows, 1910 en González S. F. y otros, 2004

Aflora en los flancos de las estructuras de la Curvatura de Monterrey en la Sierra de San José de Los Nuncios, el Cañón de La Escalera y en la Sierra de Arteaga y el anticlinal situado al sur del Cañón de La Huasteca, Potrero de García, San Miguel y Minas Viejas, en la Sierra de Las Mitras, y en el anticlinal Topo Chico y al sur en del Cerro de La Silla. Consiste litológicamente de una secuencia de caliza; wackestone, packstone y grainstone de estratificación masiva, con nódulos y bandas de pedernal gris, con macrofauna de rudistas (caprínidos y toucacias) y microfauna de miliólidos así como fragmentos de algas. Su espesor en el área es aproximado de 300 m. Su contacto inferior es concordante con la cima de la formación La Peña, al igual que el superior bajo la formación Cuesta del Cura. Por el conjunto faunístico que se le ha encontrado en otros trabajos y por posición estratigráfica se le asigna una edad de Albiano inferior a medio. Esta formación se depositó en ambiente marino de plataforma externa.

3.2.4.8. Formación Cuesta del Cura (Albiano Superior – Cenomaniano) Imlay, 1936

Aflora en los flancos de las estructuras de la Curvatura de Monterrey en: la Sierra de San José de Los Nuncios, el Cañón de La Escalera y la Sierra de Arteaga y en el anticlinal situado al sur del Cañón de La Huasteca, así como en los anticlinales Potrero de García, San Miguel y Minas Viejas, en la Sierra de Las Mitras y al sur en el Cerro de La Silla. Litológicamente está representada por caliza; mudstone con bandas y lentes de pedernal negro, dispuestas en capas delgadas a medianas, con estratificación ondulante “boudinage” con intercalaciones de mudstone arcilloso con microfósiles pelágicos, en el área los espesores varían de 75 a 175 m. Las rocas de la formación Cuesta del Cura descansan sobre las rocas de la formación Aurora en contacto concordante transicional, una relación similar presenta en la cima donde sus sedimentos pasan a la formación Indidura o Agua Nueva. Por su contenido faunístico detectado en otros trabajos y su posición estratigráfica se le ha asignado una edad de Albiano superior - Cenomaniano. Por las características descritas se considera que se depositó en un ambiente de mar abierto, en condiciones de baja energía.

3.2.4.9. Formación Agua Nueva (Turoniano) Stephenson, 1921 y Muir, 1934 en González S. F. y otros, 2004

Está distribuida en la parte nororiental de la curvatura de Monterrey hacia el poniente cambia de facies a la Formación Indidura, en el Cañón de La Huasteca, al sur de Garza García, en la Sierra del Cerro de La Silla, en El Álcali, al sur de las sierras de las Mitras y San Miguel, y en el anticlinal de Topo Chico. Está constituida por caliza; mudstone y wackestone arcillosos, gris oscuro, que intemperiza a pardo amarillento, en capas de estratificación delgada, con nódulos y bandas de pedernal, lutita calcárea y carbonosa gris oscuro laminares con cuerpos de marga bentonítica y capa de bentonita. Se han reportado espesores hasta de 200 m para esta unidad. Se encuentra descansando en contacto transicional sobre las rocas de la formación Cuesta del Cura su cima guarda la misma relación pero cubierta por la formación San Felipe. Con base en la asociación faunística, que en ella se ha colectado en otros trabajos, se le atribuye una edad de Turoniano. Sus características litológicas sugieren que su depósito se llevó a cabo en un ambiente de cuenca.

3.2.3.10. Formación San Felipe (Senoniano “Coniaciano – Santoniano”) Jeffrey, 1910 en Muir, 1936 en González S. F. y otros, 2004

Se encuentra distribuida en una mínima parte hacia el extremo noroccidental del área, pero a partir del en el flanco norte del Anticlinal de Los Muertos cerca del poblado de Garza García al NE aparece en los flancos de las estructuras sobre todo en la armada en la Sierra del Cerro de La Silla y su prolongación al NW, así como en el Anticlinal Higueras. Litológicamente es muy homogénea la caracterizan caliza; mudstone y wackestone arcillosos con horizontes bentoníticos gris claro y gris verdoso, en capas de espesor delgado, con escasos nódulos de pedernal. Son abundantes las intercalaciones de bentonita y de lutita bentonítica. Su espesor es variable se le han medido un poco más de 300 m. Los contactos inferior y superior de esta formación son concordantes transicionales sobre la formación Agua Nueva y bajo la formación Méndez, respectivamente. Por posición estratigráfica y contenido faunístico colectado en otros trabajos, se le ubica en el Coniaciano – Santoniano. Los sedimentos de esta formación, evidencian un ambiente de depósito de mar abierto.

3.2.4.11. Formación Méndez (Senoniano “Campaniano – Maastrichtiano”) Jeffreys, 1910 en Muir, 1936 en González S. F. y otros, 2004

Distribuida a partir del flanco noreste del Anticlinal de Los Muertos hacia el NW, está aflorando en todo el sector central y noreste del área. Litológicamente está representada por una secuencia homogénea de lutita calcárea gris oscuro que intemperizan en gris pardo amarillento y bentonita, marga gris, gris verdoso y rojizo, con intercalaciones de lutita en partes bentonítica y de capas delgadas de bentonita, así como de algunas areniscas y mudstone gris oscuro. El contacto inferior de esta unidad es, en general, normal transicional sobre la formación San Felipe; el contacto superior no fue observado. Su edad está bien controlada por posición estratigráfica y la asociación faunística colectada y reportada en otros trabajos corresponde al Campaniano - Maastrichtiano. El ambiente sedimentario de esta formación es marino de cuenca.

3.2.4.12. Conglomerado (Terciario Neógeno)

Con esta nomenclatura se está definiendo las unidades denominadas Conglomerado Reynosa y Conglomerado Neógeno, los afloramientos en la carta están en la porción sureste, sur y noreste. Es un conglomerado constituido por fragmentos de caliza, arenisca, los fragmentos varían de angulosos y subredondeados, incluidos en una matriz arcillo – arenosa. El espesor de la unidad varía entre 10 y 20 metros. La unidad se encuentra sobreyaciendo en forma discordante a la formación Méndez y a la vez se encuentra cubierta por limo y arcilla, con base a su posición estratigráfica se le asigna una edad Plioceno. El origen de estos sedimentos es continental, depositados por ríos y arroyos caudalosos, sobre la superficie del Mioceno en forma de abanicos deltaicos.

3.2.4.13. Travertino (Cuaternario Pleistoceno)

Son depósitos continentales lacustres, están localizadas en las zonas de San José Patagalana, Cola de Caballo, Rayones, es una roca carbonatada depositada en un medio lacustre, el espesor varía de 0.40 m hasta 8.0 m, otras veces constituye cuerpos irregulares cavernosos. Se le asigna una edad del Pleistoceno, se correlaciona con la parte superior del Conglomerado Mayran. Los depósitos de travertino son debido a procesos de precipitación de la calcita por evaporación del agua de manantiales, ríos o arroyos. La caliza lacustre es originada por precipitación química en cuencas lacustres sedimentarias continentales, dichas cuencas rejuvenecieron por efectos de fallamiento y plegamientos suaves posterior a su depósito.

3.2.4.14. Depósitos no consolidados (Cuaternario Holoceno)

Estos depósitos se encuentran llenando los valles y se originaron por la acción de los agentes erosivos sobre las estructuras plegadas y están compuestos por gravas, arenas, limos, arcillas y material lacustre, este último son depósitos de sales.

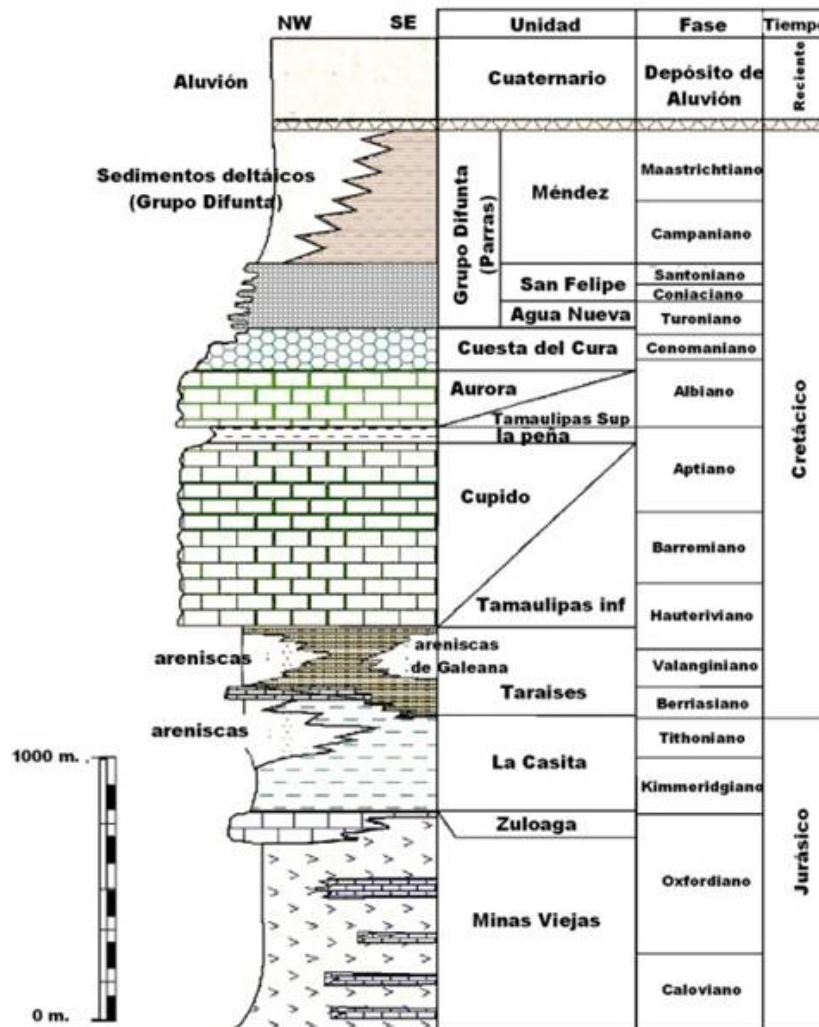


Figura 3.2.4. Columna litológica del noreste de México (Michalzik, 1988).

3.3. Geomorfología

La morfología del municipio de San Pedro Garza García está principalmente constituida por la Sierra Madre Oriental fundamentalmente es un conjunto de sierras menores de estratos plegados. En estas estructuras el plegamiento se manifiesta de múltiples maneras, pero su forma más notable es la que produce una topografía de fuertes ondulados paralelos, semejantes a la superficie de una lámina acanalada. Las altitudes de las cumbres en el área correspondiente al municipio en cuestión varían desde los 600.00 msnm en el Cerro de la Corona hasta los 2000.00 msnm en el Pico de la " M " correspondiente a la Sierra Madre Oriental, otros picos de interés son Ventanas, Las Antenas, etc. El Cerro del Mirador es otra topomorfa de interés en San Pedro Garza García, cubre una pequeña porción de ésta. En la figura 3.3 se muestra la morfología del área de estudio. En los límites con el municipio de Monterrey en la parte norte y nororiente se encuentra la Loma Larga cuyo flanco sur corresponde a San Pedro Garza García al igual que el flanco sur poniente del Cerro de Las Mitras.

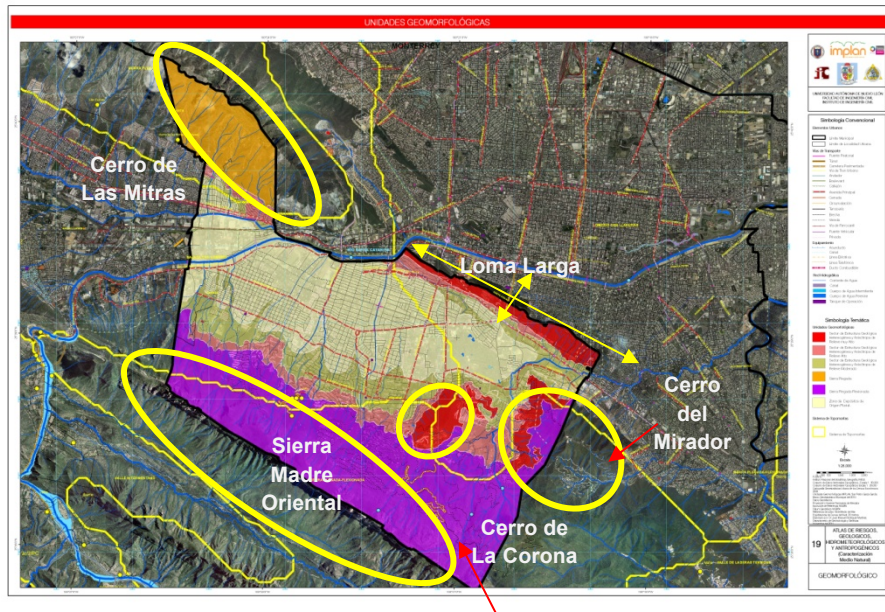


Figura 3. 3. Geomorfología del área de estudio.

3.3.1. Sierra Madre Oriental

Se localiza al sur del municipio de San Pedro Garza García, cubre una gran extensión, el comportamiento estructural de dicha sierra es muy abrupto; su flanco norte esta cabalgando sobre depósitos del Cretácico superior, el levantamiento actuó en la deformación de las estructuras, generando una geometría de pliegues, producto de un anticlinal recumbente, el cual, fue cabalgado al norte. Localmente se presentan estructuras complejas tales como salientes y vergencias en sentidos diferentes a la dirección general del transporte tectónico (Eguiluz. A.C., Aranda-García 1991). El macizo rocoso que conforma dicha estructura está constituido por rocas calizas de edad cretácica, dicha unidad presenta fracturamiento intenso como cavidades por disolución, lo que la convierten en un acuífero importante. La elevación en dicha sierra oscila desde 1700m – 2000m.

3.3.2. Flanco sur poniente del Cerro de Las Mitras

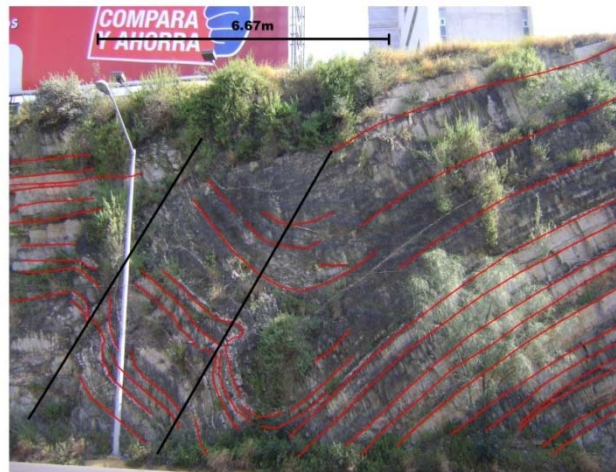
Correspondiente al municipio de San Pedro Garza García está conformado por una estructura curvada de aproximadamente 14 kilómetros de largo, con una anchura de 3.5 Km, volcada hacia el SW en su parte central se vuelve más asimétrica con pendientes muy pronunciadas en sus flancos, dicha estructura tiene una orientación NW 65° SE. En la figura 3.3.2, se muestra dicha estructura. El elipsoide de color amarillo muestra el área correspondiente a San Pedro Garza García, N.L.



Fotografía 3.3. 2. Cerro de Las Mitras.

3.3.3. Anticlinal Loma Larga

Es un estructura alargada buzando NW-SE, tiene un longitud aproximada de 12 Km, la parte que corresponde al municipio de San Pedro Garza García es el flanco sur oriental, se formó como resultado de plegamientos y cabalgamientos hacia el norte el cual chocó con el Alto de Coahuila, generando una serie de pliegues de propagación de fallas similares a los que se muestran sobre el corte de la avenida San Francisco (fotografía 3.3.3), eventos posteriores generaron fallas de desplazamiento lateral. En la figura anexa se muestran la presencia de un sistema de fallas pliegue, las cuales se desplazan por debajo del complejo de edificios la Diana; el sistema de fracturas presentes en el sitio, están directamente vinculados con los esfuerzos que provocaron los plegamientos. La altura promedio de esta estructura es de aproximadamente 600.00msnm, figura 3.3.3.



Fotografía 3.3.3. Zona de plegamientos sobre el corte en la avenida San Francisco, al fondo se observan los edificios de La Diana.

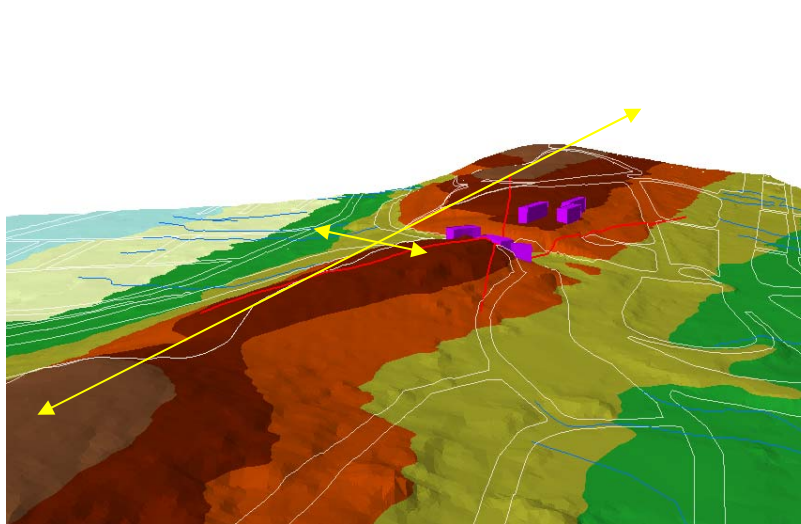


Figura 3.3.3. Anticinal Loma Larga.

3.3.4. Cerro de La Corona

El Cerro de La Corona es un relicto de brecha sedimentaria que se deslizó del frente de la Sierra Madre Oriental, producto de fallas escalonadas en la zona de contacto de rocas carentes de competencia como son las lutitas correspondientes a la formación Méndez; la constante erosión de las rocas constituye básicamente un talud en vías de erosión, fenómeno natural que se ha visto acentuado por acciones antropogénicas, así como por eventos meteorológicos. La altura sobre el nivel del mar de dicha geoforma es del orden de 800.00m. En la figura 3.3.4, se muestra la estructura correspondiente al Cerro de La Corona.

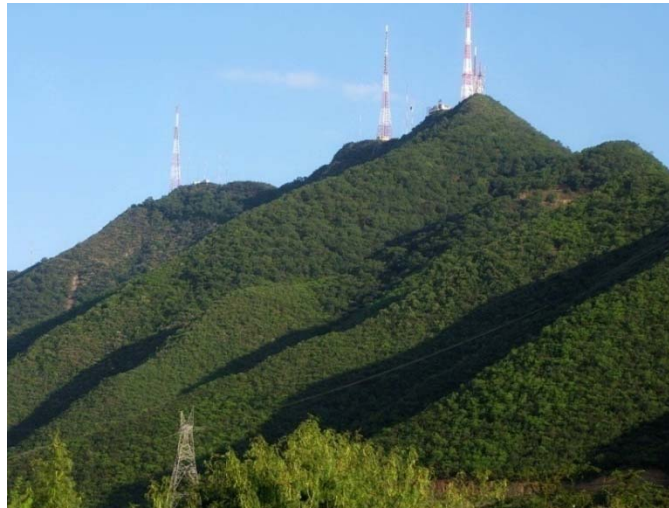
El cerro, con un potente espesor de rocas calcáreas que constituyen una brecha sedimentaria, representa un riesgo para todas las zonas habitacionales que se encuentran en la parte baja alrededor del cerro. Si bien el desprendimiento de rocas y su peligroso movimiento hacia la base puede suceder en forma circunstancial cada cierto tiempo, las lluvias asociadas con los desmontes y los cortes realizados en las inmediaciones del cerro pueden incrementar la frecuencia de eventos indeseados.



Figura 3.3.4. Cerro de La Corona. Exposición de pendientes con peligrosidad muy alta (> de 45°).

3.3.5. Cerro del Mirador

El Cerro del Mirador se localiza en el flanco suroriental del Municipio de San Pedro Garza García, cubre una pequeña extensión, el comportamiento estructural de dicha sierra es muy abrupto; en su flanco poniente producto de una falla normal, el bloque poniente fue levantado mientras que el labio oriental fue deslizado. El macizo rocoso que conforma dicha estructura está constituido por rocas lutíticas correspondientes a la Formación Méndez de edad Cretácica, dicha unidad presenta fracturamiento intenso generando fallamiento planar como el que se observa en el fraccionamiento Bosques de San Agustín (fotografía 3.3.5). La elevación en dicha sierra oscila desde 800m hasta 1220m, fotografía3.3.5a.



Fotografía 3.3.5. Geofoma correspondiente al Cerro del Mirador.



Fotografía 3.3.5a. Fallamiento planar en el Cerro del Mirador, fraccionamiento Bosques de San Agustín.

3.4. Edafología

El tipo de suelos que predominan en la parte correspondientes a la Sierra Madre Oriental están asociados a litosol con regasol calcáreo, rendizina, feozem calcárico, feozom hápico, litosol, fluvisol calcárico, castañozem hápico, luvisol órtico, vertisol crómico, xerosol hápico y xerosol lúvico, redezina con luvisol crómico. y castañozem cálcico en fase lítica. En la figura 3.4, se muestran los diferentes tipos de suelo presentes en el área de estudio.

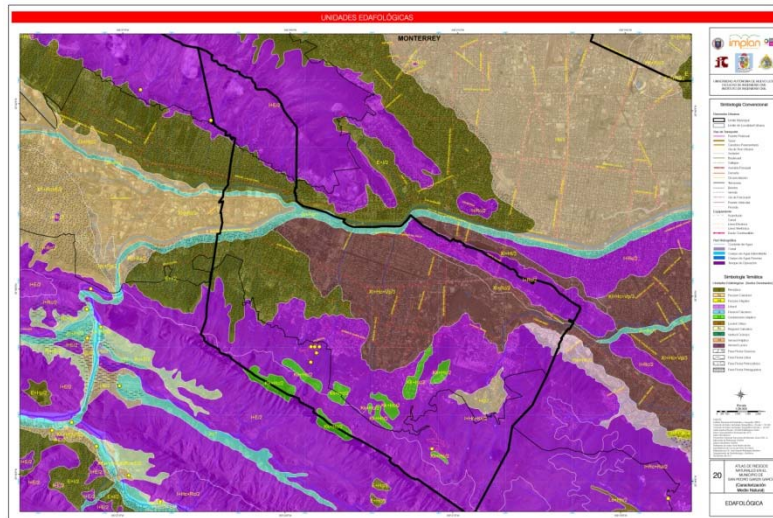


Figura 3.4. Tipos de suelo predominantes en el municipio de San Pedro Garza García, N.L.

3.5. Hidrología

En el municipio de San Pedro Garza García y su área de influencia, comprendida por la ladera de la Sierra Madre Oriental, se ha observado que una gran cantidad de cañadas han sido interrumpidas por el trazo de avenidas, 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 el manejo adecuado de los escurrimientos pluviales. 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. Este plano contiene el siguiente tema principal: ríos y arroyos localizados en el área de estudio, clasificados de acuerdo a su orden de corriente, además se agrega los temas de canevá, cuadrícula ITRF92, cuadrícula NAD 27, gradícula, líneas de conducción de agua, localidades y poblados, líneas eléctricas, tanques de agua, traza urbana del año de 1993 (calles), carreteras, terracería, ferrocarril, curvas de nivel, estaciones eléctricas, lagos y cuerpos de agua, límite geoestadístico municipal y límite de zona urbana del año de 1993. Los principales arroyos intermitentes que drenan la zona de estudio son El Capitán y el Arroyo San Agustín, el cual al ingresar a la ciudad de Monterrey, cambia su nombre a Arroyo Seco, figura 3.5.

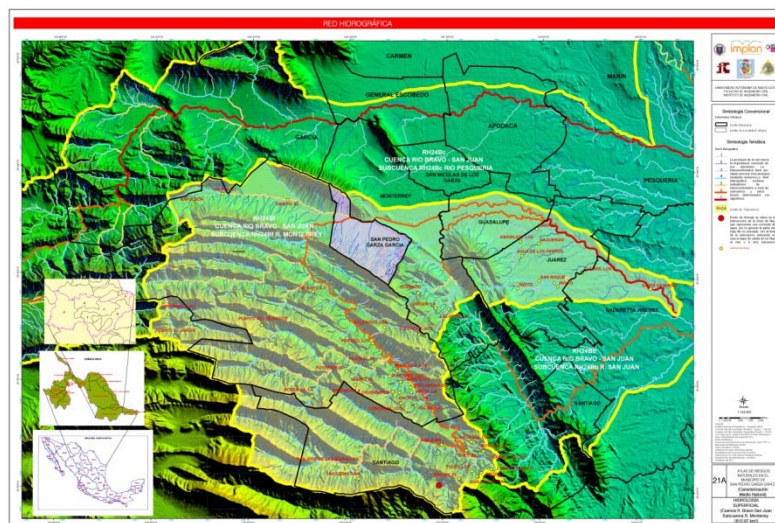


Figura 3.5. Hidrología superficial del municipio de San Pedro Garza García, N.L.

3.6. Climatología

El municipio de San Pedro Garza García presenta una distribución climática muy compleja, ya que se encuentran aquí diversos tipos de climas: seco semicálido, semiseco cálido, seco cálido y semiseco - semicálido. Esto se debe principalmente a la marcada diferencia de altitudes en la sierra. Las diferencias de temperaturas ocasionadas por la existencia de cadenas montañosas, producen un efecto de condensación que, a la vez, genera lluvias orográficas que se concentran en la vertiente este de la sierra, mientras que en la vertiente oeste se presenta un fenómeno que se conoce como sombra orográfica. En la figura 3.6, se describen los diferentes tipos de clima que predominan en el municipio de San Pedro Garza García, N.L. La precipitación media anual en la zona de estudio oscila entre 800-1200 mm/año.

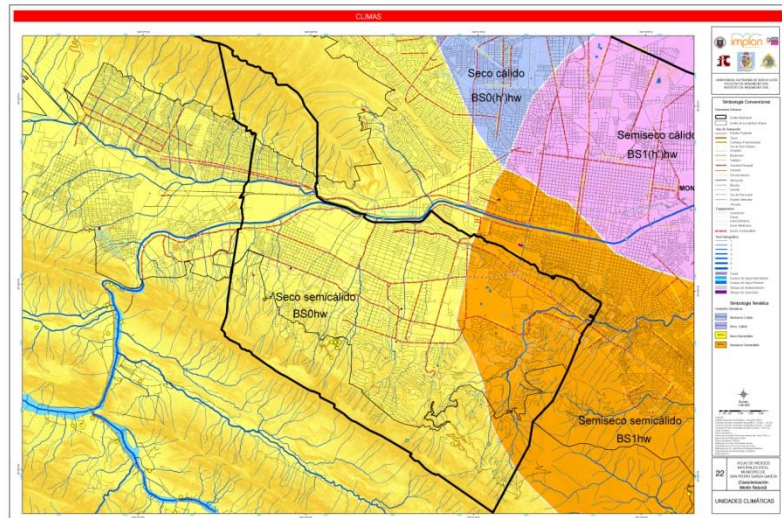


Figura 3.6. Climas predominantes en el municipio de San Pedro Garza García, N.L.

3.7. Uso de suelo y vegetación

El tipo de vegetación dominante en este tipo de suelos son: bosques de encinos, bosques de encino-pino, bosque de pino-encino, bosque de pino, bosque de juniperos, matorral desértico rosetófilo, matorral submontano, chaparral, pastizal natural y pastizal inducido. En la figura 3.7, se describen de forma detallada cada uno de los tipos de vegetación presentes en el área de estudio.

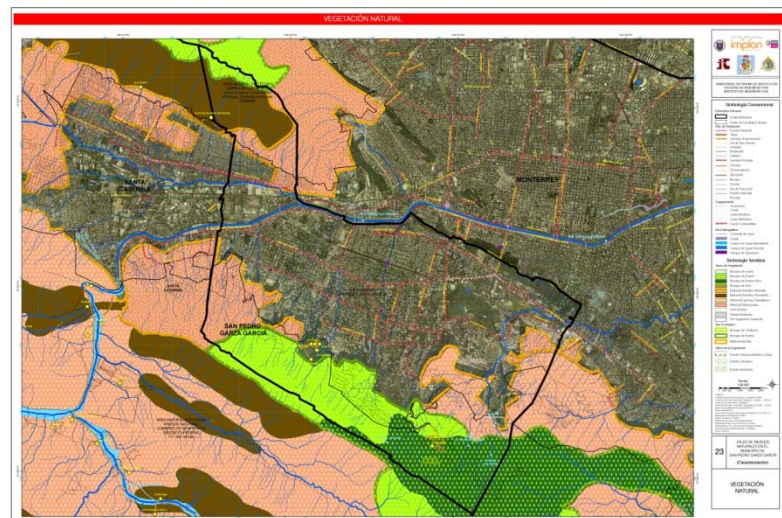


Figura 3.7. Uso del suelo y vegetación en el municipio de San Pedro Garza García, N.L.

3.8. Áreas naturales protegidas

El Parque Ecológico Chipinque está ubicado en la Sierra Madre Oriental, en los municipios de San Pedro Garza García y Monterrey del estado de Nuevo León. Es un de los parajes naturales más importantes de la región por su cercanía a la ciudad, es un área natural de 1,815 hectáreas y su altitud varía de los 660 a 2200 msnm. Cuenta con flora y fauna representativa, desde el matorral submontano hasta bosques de pino - encino. El Parque Ecológico Chipinque funciona como un pulmón natural, purificando el aire proveniente de la ciudad, es fuente importante en la recarga de los acuíferos así como un sitio regulador del clima en la zona. El parque provee de abrigo y alimento a más de 1000 especies de fauna silvestre de las cuales 30 se encuentran en peligro de extinción como el oso negro, gato montés, etc., figura 3.8.

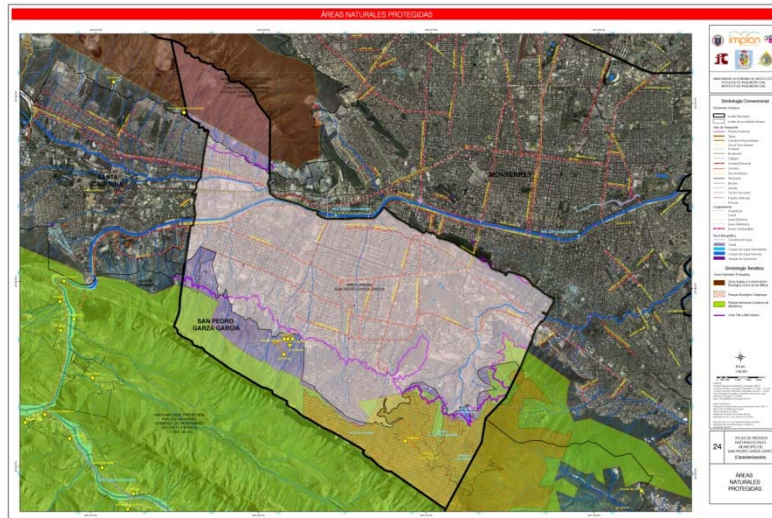


Figura 3.8. Áreas naturales protegidas San Pedro Garza García, N.L.

3.9. Problemática ambiental

El acelerado crecimiento territorial de las ciudades, en áreas cuya aptitud del suelo para el asentamiento de población es considerada como inadecuada, tiende a incrementar la vulnerabilidad de las viviendas frente a amenazas de origen natural y antrópico. Si a lo anterior, agregamos que las condiciones socioeconómicas de las familias de escasos recursos asentadas en áreas carentes de infraestructura, servicios y en viviendas inseguras, son de alta marginalidad, la combinación de ambos factores incrementa potencialmente las posibilidades de ocurrencia de un desastre. El Gobierno del Municipio de San Pedro Garza García, Nuevo León e IMPLAN, en colaboración con la Universidad Autónoma de Nuevo León a través del Departamento de Geohidrología y Geofísica presentan el Atlas de Riesgos Naturales del municipio de San Pedro Garza García. La finalidad de dicho documento es la de proporcionar a las autoridades locales información relevante sobre las zonas de mayor impacto por peligros Naturales identificados en la ciudad.

Con base en los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo 2001-2020 en materia de prevención de desastres, la Secretaría de Desarrollo Social en el marco del Programa Hábitat ha decidido fortalecer las acciones que contribuyan a reducir la vulnerabilidad de la población ante la presencia de peligros Naturales con especial énfasis en aquellas que permitan identificar zonas de alto riesgo para la población de las localidades, en particular en aquellas zonas localizadas en barrios y colonias marginadas; frente a una eventual situación de desastre, en el municipio de San Pedro Garza García, Nuevo León.

La información documentada y precisa contenida en el Atlas de riesgos Naturales del municipio de San Pedro Garza García, N.L., será clave para actuar en el plano preventivo y el fundamento de estrategias de autoprotección orientadas a reducir los costos económicos y sociales, además de pérdidas humanas que pudieran ocurrir a consecuencia de desastres naturales y antrópicos. Este documento hará posible, al mismo tiempo, disminuir el plazo requerido para iniciar las labores de apoyo y reconstrucción de daños, resultado de la interacción entre autoridades, damnificados, socorristas y el resto de la sociedad.

La ubicación de las zonas de riesgos y el nivel de peligro identificado en las diferentes estructuras que conforman el área correspondiente a San Pedro Garza García, constituyen los primeros pasos para la consolidación de un sistema de protección civil y del proceso de gestión de riesgos en esta importante metrópoli. Con ellos se avanza hacia uno de los objetivos sustanciales por parte del IMPLAN y la SEDESOL: propiciar el mejoramiento de las condiciones de vida de quienes residen en las áreas marginadas de dicho municipio, mediante la modificación del plan de desarrollo urbano de construcción en zonas de laderas y montañas.

El tema del riesgo dentro de la prevención de desastres ha sido tratado y desarrollado por diversas disciplinas que han conceptualizado sus componentes de manera diferente, aunque en la mayoría de los casos de manera similar. Un punto de partida es que los riesgos están ligados a actividades humanas. La existencia de un riesgo implica la presencia de un **agente perturbador** (fenómeno natural o generado por el hombre) que tenga la probabilidad de ocasionar **daños** a un **sistema afectable** (asentamientos humanos, infraestructura, planta productiva, etc.) en un grado tal, que constituye un **desastre**, figura 3.9. Así, un movimiento del terreno provocado por un sismo no constituye un riesgo por sí mismo. Si se produjo en una zona deshabitada, no afectaría ningún asentamiento humano y por tanto, no produciría un desastre.

En términos cualitativos, se entiende por **riesgo** la probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por personas, comunidades o sus bienes, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos perturbadores. La probabilidad de ocurrencia de tales eventos en un cierto sitio o región constituye una **amenaza**, entendida como una condición latente de posible generación de eventos perturbadores. En el esquema siguiente se muestran las diferentes fases del riesgo. En la figura 3.9 se muestra la información de campo relacionada con cada una de las variables que intervienen en el Atlas de Riesgos Naturales en el municipio de San Pedro Garza García, N.L.



Figura 3.9. Esquema del riesgo.

Un atlas de riesgo es una herramienta para la prevención y atención tanto de accidentes como de desastres naturales que debe ser desarrollado en cada comunidad del país. El principal resultado del atlas de riesgo es un programa de manejo y estimación de riesgos (geológicos, hidrológicos, químicos, volcánicos, sísmicos, entre otros) que será implementado por las autoridades estatales y municipales en coordinación con la autoridad correspondiente de Protección Civil. Para desarrollar los mapas de riesgo es necesario identificar y ubicar los peligros, así como determinar la población expuesta.

El peligro se puede definir como cualquier situación que tenga el potencial de causar lesiones a la vida o daños a la propiedad y al ambiente. En la identificación de peligros a nivel municipal o local se deben determinar las actividades peligrosas que existen, tal como las instalaciones industriales que manejan o almacenan sustancias peligrosas en grandes volúmenes, las carreteras, vías férreas y los ductos por donde se transportan sustancias peligrosas, las sustancias o materiales peligrosos, dónde se ubican, qué tipo de accidente pueden ocasionar y las posibles consecuencias a la población. El propósito de la identificación de peligros es obtener información como la que a continuación se enumera:

1. Localizar las instalaciones industriales que manejan sustancias peligrosas.
2. Identificar las instalaciones de servicios que usan o almacenan materiales peligrosos.
3. Tipo y cantidad de sustancias peligrosas que se manejan.
4. Identificar las propiedades físicas y químicas de las sustancias peligrosas.
5. Identificar las condiciones de almacenamiento y los sistemas de seguridad.
6. Identificar la trayectoria, longitud y diámetro de las tuberías que transportan sustancias peligrosas.
7. Identificar las rutas de transporte y distribución de sustancias y materiales peligrosos.
8. Identificar y evaluar la naturaleza de los peligros asociados.
9. Conocer la naturaleza de los efectos más probables de acompañar a una liberación de material peligroso: incendio, explosión, nube tóxica, etcétera.

San Pedro Garza García, N.L.		
Tipo de riesgo	Prioridad	Total
Químicos (RQ - ##)		21
Gasolineras	1	12
Gaseras y tortillerías	1	3
Ductos	1	3
Industrias	1	3
Sanitario-ambientales (RSA - ##)		15
Hospitales, clínicas y sanatorios	1	6
Tanques de almacenamiento de agua	2	4
Estaciones de bombeo	2	5
Socio-organizativos (RSO - ##)		28
Teatros	2	1
Templos	1	3
Centros comerciales	1	3
Centros culturales	1	3
Escuelas especializadas	1	3
Educación preescolar	1	5
Escuelas primarias	1	4
Escuelas secundarias	1	2
Escuelas preparatorias	1	3
Universidades	1	1
Total		64

Tabla 3.9. Datos de campo correspondientes a riesgos antropogénicos en el municipio de San Pedro Garza García, N. L.

CAPÍTULO IV. Características de los elementos sociales, económicos y demográficos

4.1. Elementos demográficos: dinámica demográfica, distribución de población, mortalidad, densidad de población

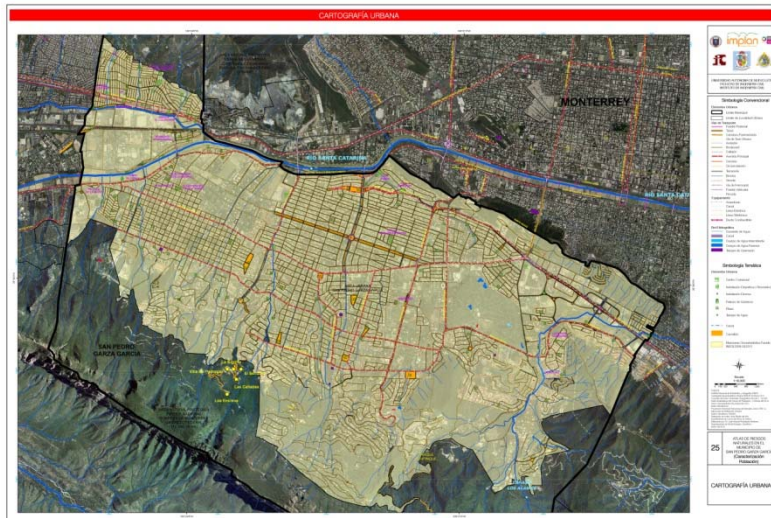
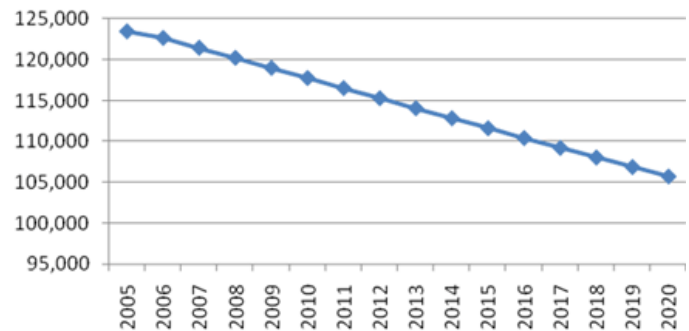


Figura 4.1. Mapa urbano del municipio de San Pedro Garza García, N.L.

4.1.1. Dinámica demográfica

- Proyección de población (CONAPO) 2005 – 2020

2005	2006	2007	2008	2009	2010
123,501	122,696	121,480	120,252	119,017	117,778
2011	2012	2013	2014	2015	2016
116,538	115,299	114,063	112,834	111,614	110,406
2017	2018	2019	2020		
109,209	108,025	106,854	105,696		



Las gráficas muestran una proyección de la población del año 2005 al año 2020, en donde se puede observar que la población disminuye actualmente hasta llegar a un total de 105,696 habitantes en el último año proyectado de acuerdo a los datos del CONAPO.

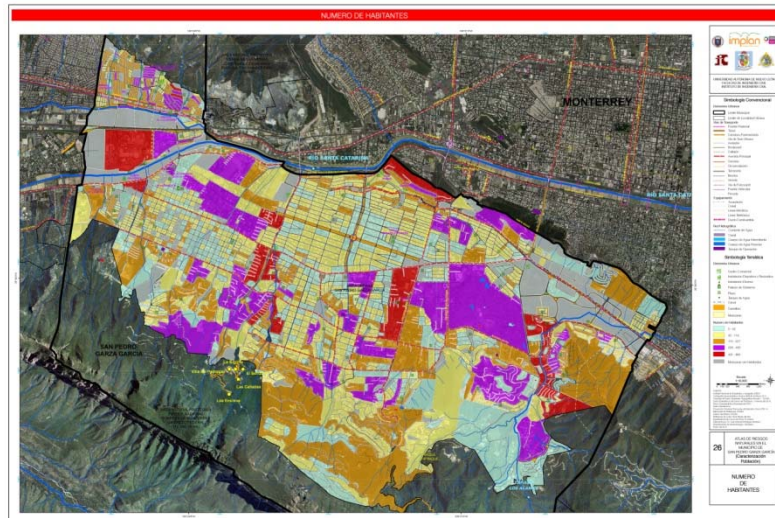
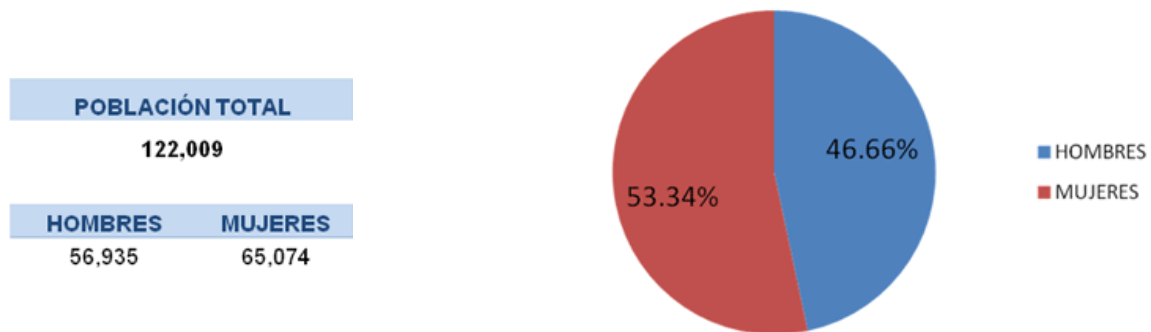


Figura 4.1.1. Número de habitantes en el municipio de San Pedro Garza García, N.L.

4.1.2. Distribución de la población

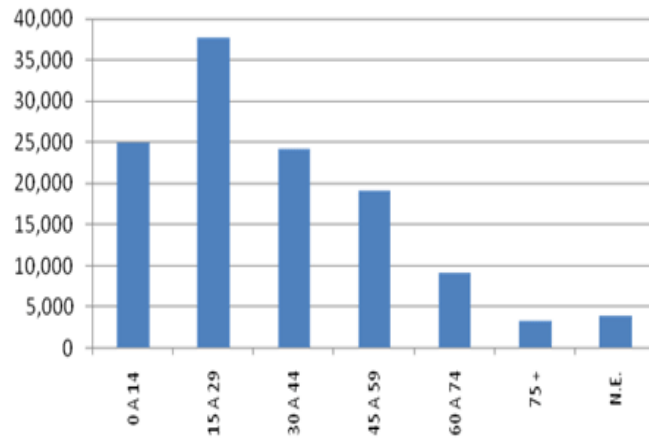
- Población por género



Las gráficas muestran la distribución de la población total de habitantes de acuerdo al género.

- Población por edad (quinquenal)**

0 A 14	24,908
15 A 29	37,691
30 A 44	24,211
45 A 59	19,036
60 A 74	9,067
75 Y MÁS	3,215
NO ESPECIFICADO	3,881
TOTAL	122,009



4.1.3. Mortalidad

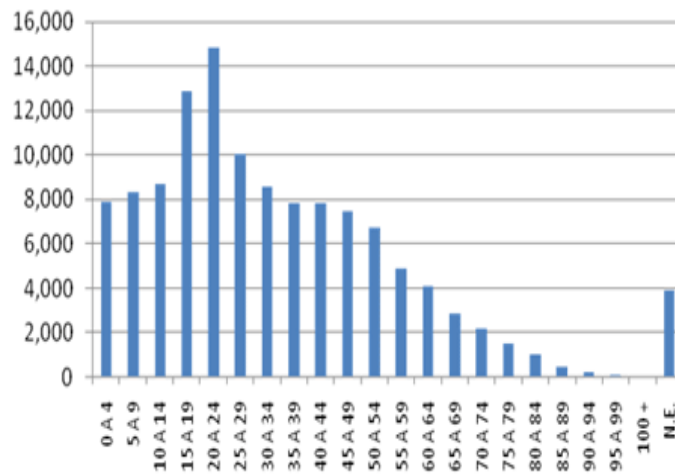
- Tasa de mortalidad infantil**

Tasa: 18.4

Nivel: Bajo

Rango: Menor a 25.18

Decesos de menores de un año de edad por cada mil nacidos vivos: 3.1



Las gráficas muestran la tasa de mortalidad de acuerdo a las edades de los habitantes.

4.1.4. Densidad de población

El municipio de San Pedro Garza García cuenta con 122,009 habitantes en 83 Km².

- **Población por grupos de edad**

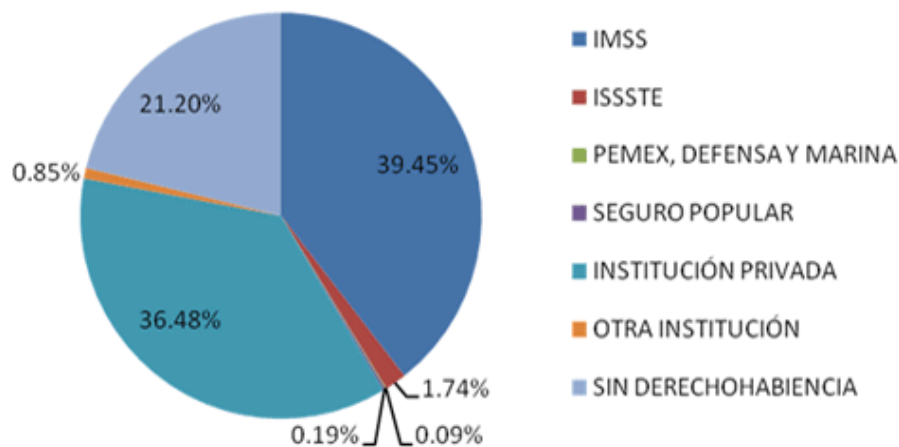
0 A 4	7,870	40 A 44	7,792	80 A 84	974
5 A 9	8,341	45 A 49	7,461	85 A 89	457
10 A 14	8,697	50 A 54	6,723	90 A 94	208
15 A 19	12,857	55 A 59	4,852	95 A 99	97
20 A 24	14,823	60 A 64	4,097	100 Y MÁS	13
25 A 29	10,011	65 A 69	2,815	NO ESPECIFICADO	3,881
30 A 34	8,576	70 A 74	2,155	TOTAL	122,009
35 A 39	7,843	75 A 79	1,466		

La gráfica muestra la distribución poblacional de la cantidad total de habitantes de acuerdo sus edades.

4.2. Características sociales

- **Derechohabiencia a servicios de salud**

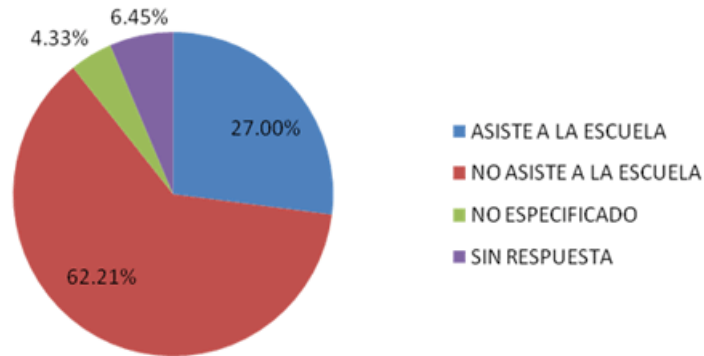
DERECHOHABIENTE AL IMSS	47,614
DERECHOHABIENTE AL ISSSTE	2,105
DERECHOHABIENTE A PEMEX, DEFENSA Y MARINA	110
DERECHOHABIENTE AL SEGURO POPULAR	227
DERECHOHABIENTE A INSTITUCIÓN PRIVADA	44,026
DERECHOHABIENTE A OTRA INSTITUCIÓN	1,028
SIN DERECHOHABIENTA A SERVICIOS DE SALUD	25,588



La gráfica muestra la distribución porcentual de los derechohabientes de acuerdo a las diferentes instituciones a las que pertenecen.

- **Nivel de asistencia escolar**

ASISTE A LA ESCUELA	32,946
NO ASISTE A LA ESCUELA	75,905
NO ESPECIFICADO	5,288
SIN RESPUESTA	7,870
TOTAL	122,009



La gráfica muestra de manera porcentual el nivel de asistencia escolar que existe en el municipio

- **Condición de alfabetismo**

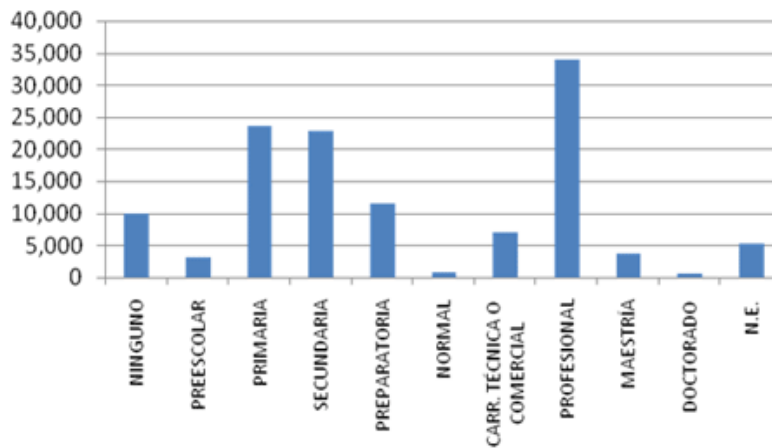
SABE LEER Y ESCRIBIR UN RECADO	106,021
NO SABE LEER Y ESCRIBIR UN RECADO	3,806
NO ESPECIFICADO	4,312
SIN RESPUESTA	7,870
TOTAL	122,009



En las gráficas se muestra la distribución porcentual del grado del alfabetismo de la población municipal.

• **Nivel de escolaridad**

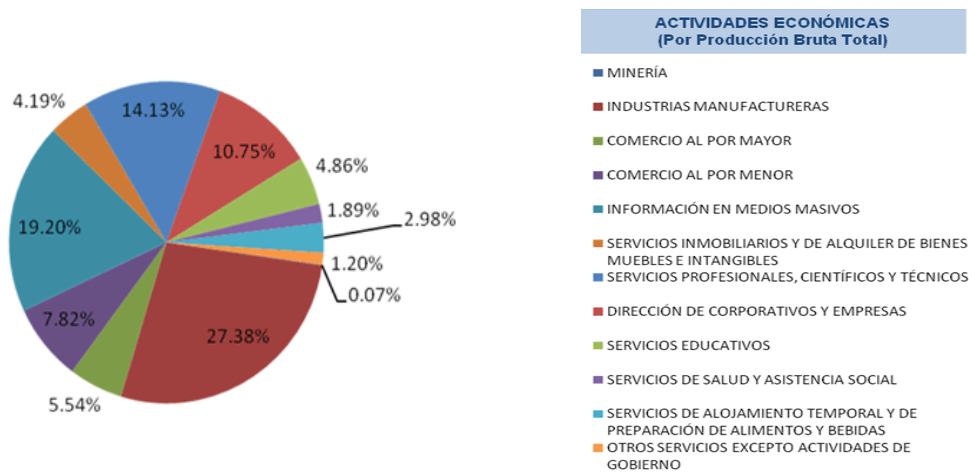
NINGUNO	9,926	CARR. TÉCNICA O COMERCIAL	6,945
PREESCOLAR	3,133	PROFESIONAL	33,868
PRIMARIA	23,569	MAESTRÍA	3,617
SECUNDARIA	22,803	DOCTORADO	531
PREPARATORIA	11,605	NO ESPECIFICADO	5,188
NORMAL	824	TOTAL	122,009



La gráfica muestra la distribución porcentual del grado del alfabetismo de la población municipal.

4.3. Principales actividades económicas en la zona

En los planos 30,31, 32, 33 y 33A -de las figuras 4.3, 4.3a, 4.3b, 4.3c y 4.3d, respectivamente- se presentan las principales actividades económicas en el municipio de San Pedro Garza García, N.L.



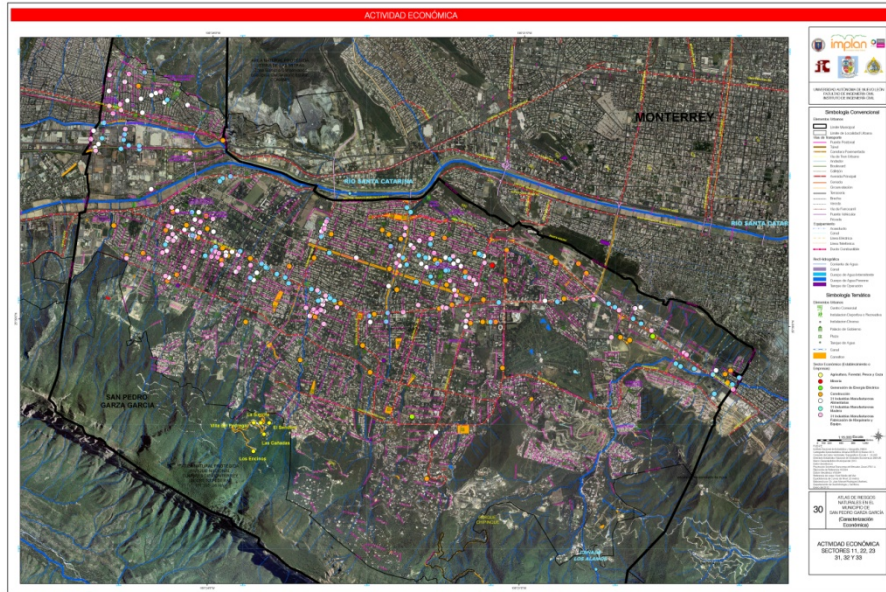


Figura 4.3. Principales actividades económicas en el municipio de San Pedro Garza García, N.L.

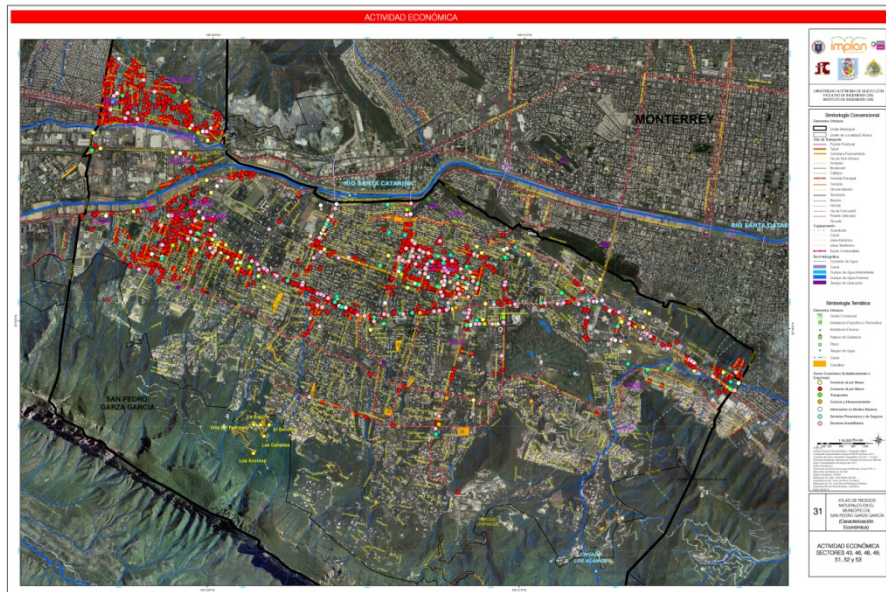


Figura 4.3a. Actividades económicas correspondientes a los sectores 43, 46, 48, 49, 51, 52 y 53.

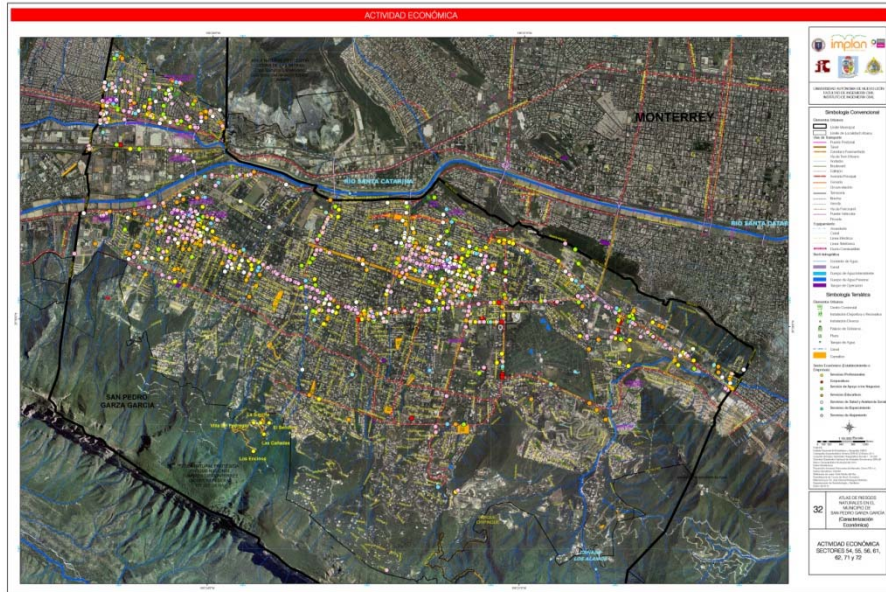


Figura 4.3b. Actividades económicas correspondientes a los sectores 54, 55, 56, 61, 62, 71 y 72.

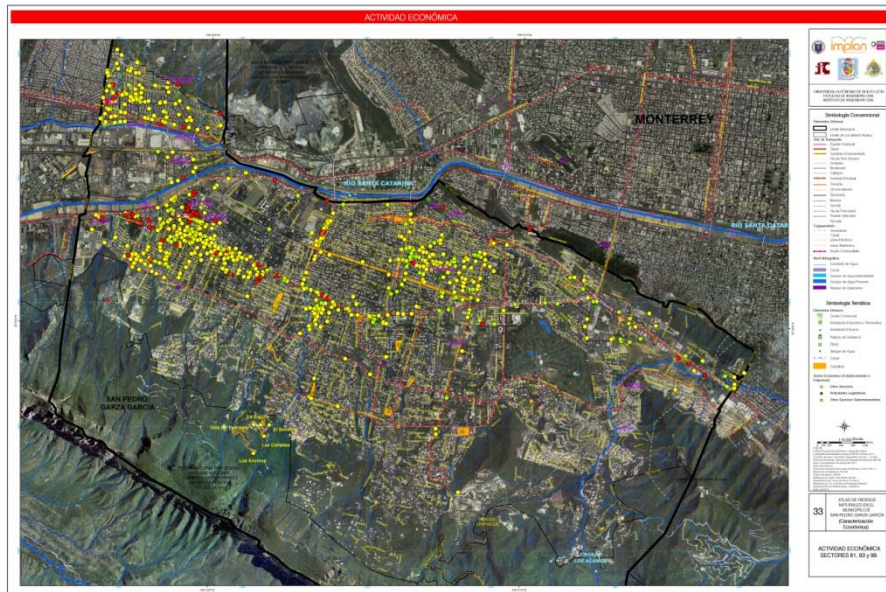


Figura 4.3c. Actividades económicas correspondientes a los sectores 81, 93 y 99.

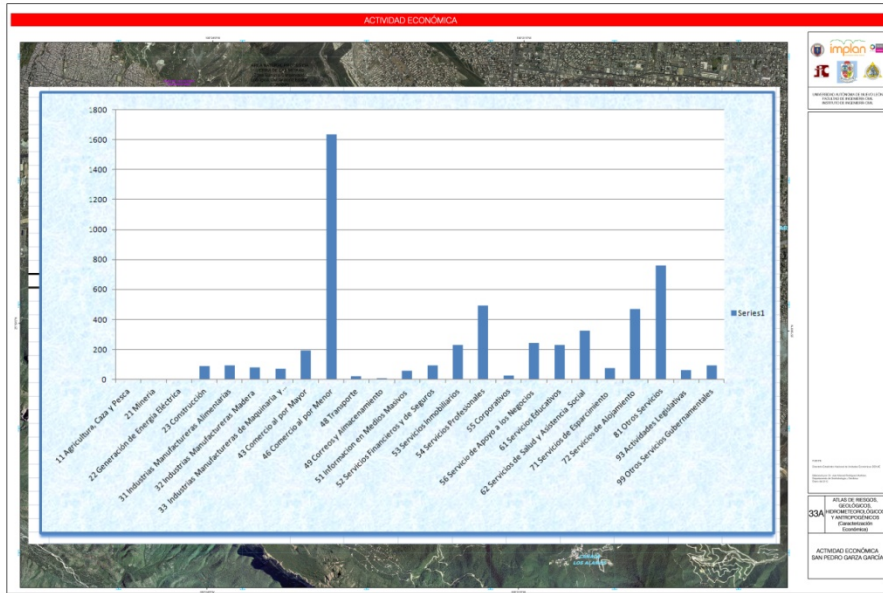
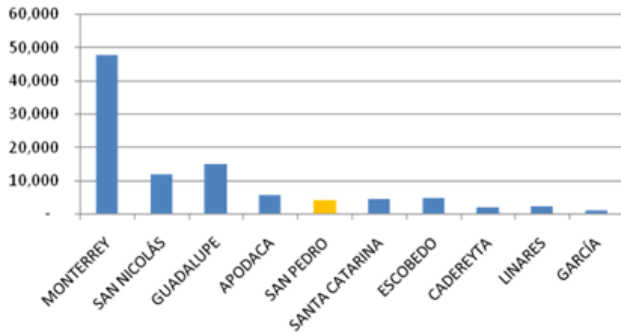


Figura 4.3d. Actividad económica en municipio de San Pedro Garza García, N.L.

4.4. Características de la población económicamente activa

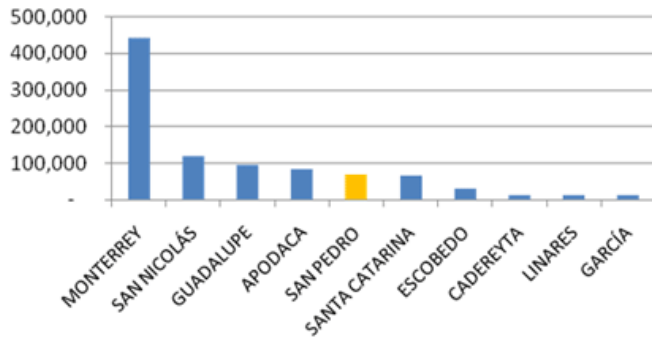
- Unidades económicas



MUNICIPIOS	UNIDADES ECONÓMICAS
TOTAL NUEVO LEÓN	110,163
MONTERREY	47,736
SAN NICOLÁS	11,629
GUADALUPE	14,966
APODACA	5,664
SAN PEDRO	4,087
SANTA CATARINA	4,276
ESCOBEDO	4,723
CADEREYTA	1,904
LINARES	2,165
GARCÍA	778
SUBTOTAL	97,928
RESTO DE MUNICIPIOS	12,235

Las gráficas muestran la relación que tiene el municipio de San Pedro con otros municipios del área metropolitana y sus alrededores con respecto a sus unidades económicas.

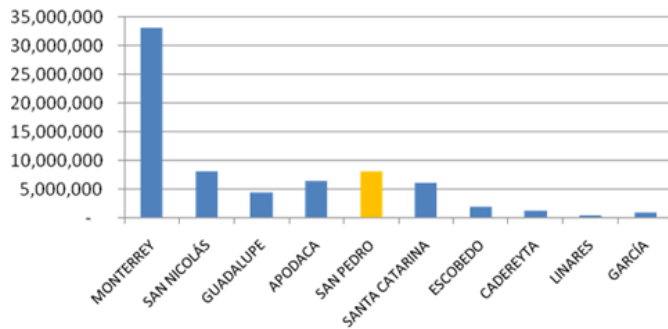
• **Personal ocupado total**



MUNICIPIOS	PERSONAL OCUPADO TOTAL
TOTAL NUEVO LEÓN	1,008,854
MONTERREY	442,650
SAN NICOLÁS	118,420
GUADALUPE	96,587
APODACA	83,518
SAN PEDRO	70,394
SANTA CATARINA	65,268
ESCOBEDO	30,843
CADEREYTA	12,990
LINARES	12,236
GARCÍA	12,176
SUBTOTAL	945,082
RESTO DE MUNICIPIOS	63,772

Las gráficas muestran la relación del municipio de San Pedro con otros municipios del área metropolitana y sus alrededores con respecto al personal ocupado de acuerdo al número de habitantes.

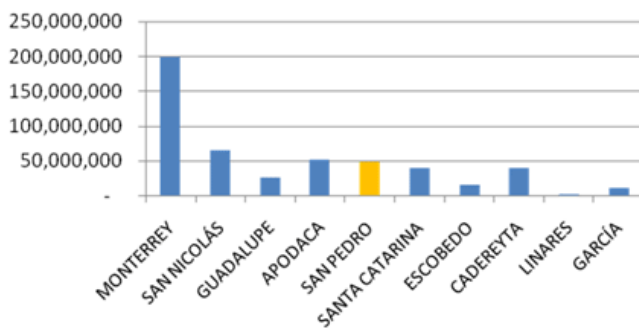
• **Remuneraciones**



MUNICIPIOS	REMUNERACION ES (Miles de Pesos)
TOTAL NUEVO LEÓN	74,441,924
MONTERREY	33,192,104
SAN NICOLÁS	8,246,661
GUADALUPE	4,438,114
APODACA	6,537,776
SAN PEDRO	8,173,696
SANTA CATARINA	6,085,821
ESCOBEDO	1,929,143
CADEREYTA	1,332,636
LINARES	435,746
GARCÍA	1,026,610
SUBTOTAL	71,398,307
RESTO DE MUNICIPIOS	3,043,617

Las gráficas muestran la relación del municipio de San Pedro con otros municipios del área metropolitana y sus alrededores con respecto a las remuneraciones en miles de pesos.

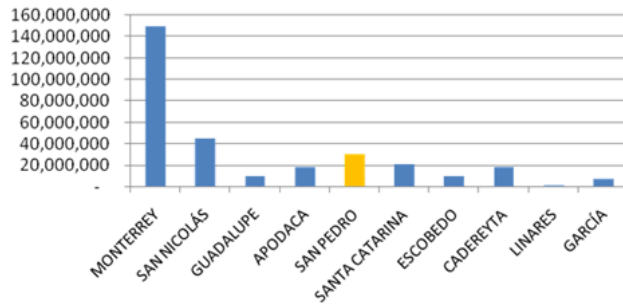
• **Producción bruta total**



MUNICIPIOS	PRODUCCIÓN BRUTA TOTAL (Miles de Pesos)
TOTAL NUEVO LEÓN	528,069,974
MONTERREY	198,652,556
SAN NICOLÁS	66,616,620
GUADALUPE	26,270,454
APODACA	51,716,669
SAN PEDRO	48,211,494
SANTA CATARINA	40,614,972
ESCOBEDO	15,823,080
CADEREYTA	40,947,520
LINARES	2,370,639
GARCÍA	11,377,413
SUBTOTAL	502,511,417
RESTO DE MUNICIPIOS	25,558,557

Las gráficas muestran la relación del municipio de San Pedro con otros municipios del área metropolitana y sus alrededores con respecto a la producción bruta total en miles de pesos.

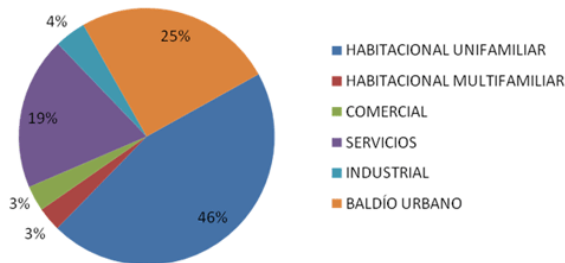
• **Total de activos fijos**



MUNICIPIOS	TOTAL DE ACTIVOS FIJOS (Miles de Pesos)
TOTAL NUEVO LEÓN	330,733,822
MONTERREY	149,792,387
SAN NICOLÁS	45,501,156
GUADALUPE	10,130,067
APODACA	19,204,053
SAN PEDRO	30,696,668
SANTA CATARINA	21,220,658
ESCOBEDO	10,165,859
CADEREYTA	18,511,552
LINARES	1,309,772
GARCÍA	7,858,054
SUBTOTAL	314,390,226
RESTO DE MUNICIPIOS	16,343,596

Las gráficas muestran la relación del municipio de San Pedro con otros municipios del área metropolitana y sus alrededores con respecto total de activos fijos en miles de pesos.

4.5 Estructura urbana



USOS Y DESTINOS DEL SUELO 2005 (Superficie en Hectáreas)	
USOS DE SUELO	
HABITACIONAL UNIFAMILIAR	1450.53
HABITACIONAL MULTIFAMILIAR	96.35
COMERCIAL	103.01
SERVICIOS	614.3
INDUSTRIAL	126.22
BALDÍO URBANO	804.79
DESTINOS DEL SUELO	
VIALIDAD	957.51
INFRAESTRUCTURA	9
ESPACIO ABIERTO	342.16
TOTAL ÁREA URBANA	4503.87
USOS DEL SUELO	
BALDÍO NO URBANO	234.64
DESTINOS DEL SUELO	
NO URBANIZABLE (PARQUE NACIONAL)	2247.79
RÍO	105.16
TOTAL ÁREA NO URBANA	2587.59
TOTAL ÁREA URBANA Y NO URBANA	7091.46

Las gráficas muestran la relación porcentual del municipio de San Pedro con respecto a la estructura urbana municipal.

CAPÍTULO V. Identificación de riesgos, peligros y vulnerabilidad ante fenómenos perturbadores de origen natural

5.1. Riesgos, peligros o vulnerabilidad ante fenómenos de origen geológico

El municipio de San Pedro Garza García, por su ubicación geográfica, distribución morfológica y geología asociada a las diferentes unidades litoestratigráficas que afloran, presentan características propias que lo hacen ser vulnerable a los peligros por fenómenos geológicos. Estos se presentan de manera natural pero, en parte, son acelerados por factores antropogénicos.

Esta área en particular puede presentar problemas de volteos y deslizamientos, sobre todo porque existen grandes concentraciones de población asociadas a sitios de alto riesgo, los volteos constituyen el 40 % del área total y un 20% se asocia a los deslizamientos predominando estos, en el flanco sureste en la Sierra de Las Mitras y los volteos en la porción noreste de la Sierra de Santa Catarina. En cuanto a los escenarios, se refiere al 60 % que corresponden a aquellos que requieren atención inmediata sobre todo en el área de Las Mitras, Chipinque, Cerro de La Corona, Loma Larga y el flanco norte del Cerro del Mirador, fig. 5.1.1.

5.1.1. Fallas y fracturas

Para la elaboración del plano de fallas y fracturas fueron realizados 259 puntos de verificación, donde se tomaron datos estructurales a discontinuidades de fracturamiento y estratificación, los cuales forman bloques tabulares de dimensiones considerables ubicados al pie de la carretera que conduce a Chipinque, así como a casas residenciales (parte sur del cerro La Corona). La pendiente del terreno va de los 15° a 85°, además existen diversos cortes o taludes realizados en las faldas de la sierras que circundan a dicho municipio (Loma Larga, Las Mitras Cerro La Corona y Mirador), dichos cortes presentan alturas que van de 5 a 25 m e inclinaciones de talud de 65° a 75° para construir viviendas o vías de comunicación. Por lo anterior de los sitios verificados se consideran de importancia para monitoreo continuo los siguientes: (FFF01, FFF04, FFF09, FFF14, FFF26, FFF34 y FFF39) entre otros. Como resultado de la integración de todo lo anterior, enseguida se mencionan los tipos de mecanismos así como escenarios relevantes para este municipio, figura 5.1.1.

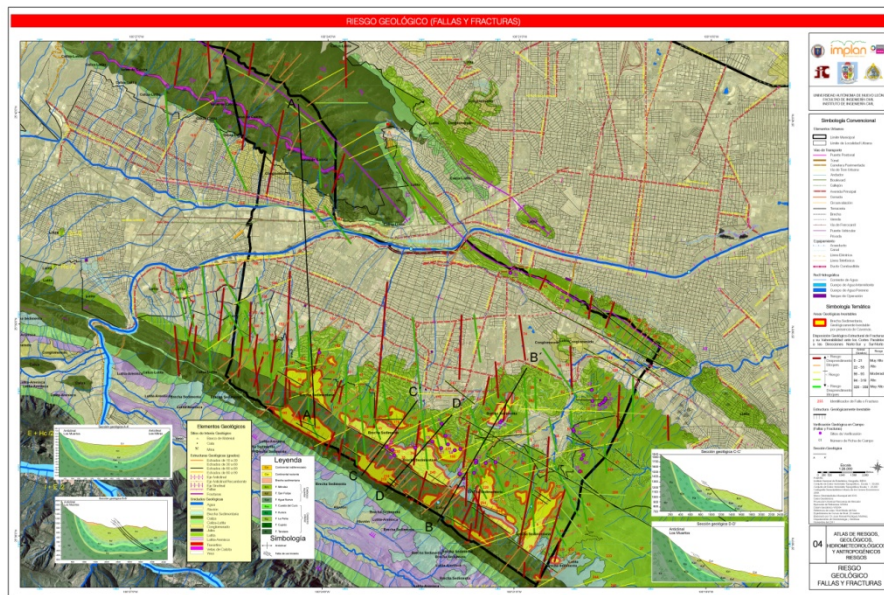


Figura 5.1.1. Plano de fallas y fracturas.

El patrón de fracturamiento predominante en el área de estudio, tiene un rumbo preferencial NW-SE y SW-NE. Las brecha sedimentaria está estrechamente asociada a fallas de tipo normal con rumbo NW-SE, dando lugar a fallas escalonadas, en dicho plano se muestra una densidad muy grande de sitios verificados en campo relacionadas con las siguientes topomorfas: Cerro de la Corona, El Mirador y el flanco norponiente de la Sierra Madre Oriental. La disposición geológico estructural de fracturas con rumbo Norte- Sur y Sur- Norte ante los cortes paralelos a estos rumbos son vulnerables a las vialidades, cada vialidad que hayan trastocado el rumbo de la capa con valores de azimut 0°- 21°, genera valores en los ángulos diferenciales menores lo que hace que estos cortes estén expuestos a un mayor riesgo de deslizamiento.

A medida que los valores del ángulo diferencial se acercan a 90° la situación tiende a ser más estable que cuando éstos tienden a cero, sin embargo cuando el valor del ángulo diferencial es cero la situación recupera su estabilidad ya que no existe diferencia entre la inclinación de la ladera y la estratificación.

La pendiente del talud es de suma importancia, sobre todo en zonas abruptas, mayores a 30°, donde los efectos gravitatorios se intensifican propiciando situaciones inestables de los macizos rocosos involucrados en una ladera (figuras 5.1.1a, 5.1.1b, 5.1.1c), desde luego, no todas las áreas con pendientes fuertes son susceptibles a los desprendimientos.

Enmarcada la zona de pendiente, donde los desprendimientos son más factibles, así como la disposición de estratos. El ángulo diferencial es la relación angular existente entre la inclinación del talud (pendiente) y la inclinación de la principal discontinuidad (estratificación, falla, fractura, etc.), en este caso la estratificación. Este factor, junto con el ángulo entre rumbo de ladera y rumbo de echado de la capa, ayudan a conocer el arreglo geométrico de una ladera, facilitando la evaluación de susceptibilidad de ésta a los peligros de remoción de masas (PRM).

En el área de estudio ocurren dos tipos de desprendimientos: falla por volteo y falla plana. Para obtener mejores resultados en el modelado del mapa de susceptibilidad se evaluaron por separado la condiciones que representan situaciones estables o inestables para cada caso.

El riesgo geológico deriva de la acción habitual de los procesos naturales, los cuales pueden ocurrir con distintas magnitudes. En su ocupación el ser humano ha creado estructuras y estrategias para evitar o, al menos, minimizar el impacto de estos procesos, de manera que solamente haya pérdidas cuando éstos se manifiesten con magnitudes extraordinarias. El concepto de riesgo se refiere a la cantidad de pérdidas potenciales debidas a procesos naturales. Cuantitativamente, el riesgo (R) viene dado por el producto entre la peligrosidad (P), la vulnerabilidad (V) de los elementos (bienes) expuestos y el costo de los mismos (C).

$$R = P \times V \times C$$

Los parámetros de ponderación para la elaboración del Mapa de Riesgo se realizaron de acuerdo a la normativa que establece el CENAPRED. Con base en la matriz de riesgos Naturales que se muestra en la tabla No 5.1.1 se describen los tipos de riesgos partiendo de la zonificación del municipio en microcuencas en San Pedro Garza García, N.L. Cada una de estas microcuencas es, a su vez, dividida en: zonas de montaña, lomeríos y planicie. A partir de la evaluación obtenida del manejo de 34 variables se logró determinar los tipos de riesgos naturales que se muestran en el plano 42 siendo clasificada la zona de montaña como riesgo crítico con una valoración > 92 puntos, como riesgo alto de 86- 92 puntos, el riesgo medio de 85-69 puntos, el riesgo bajo de 68-46 puntos y riesgo nulo < 45 puntos, figura 5.1.1a.

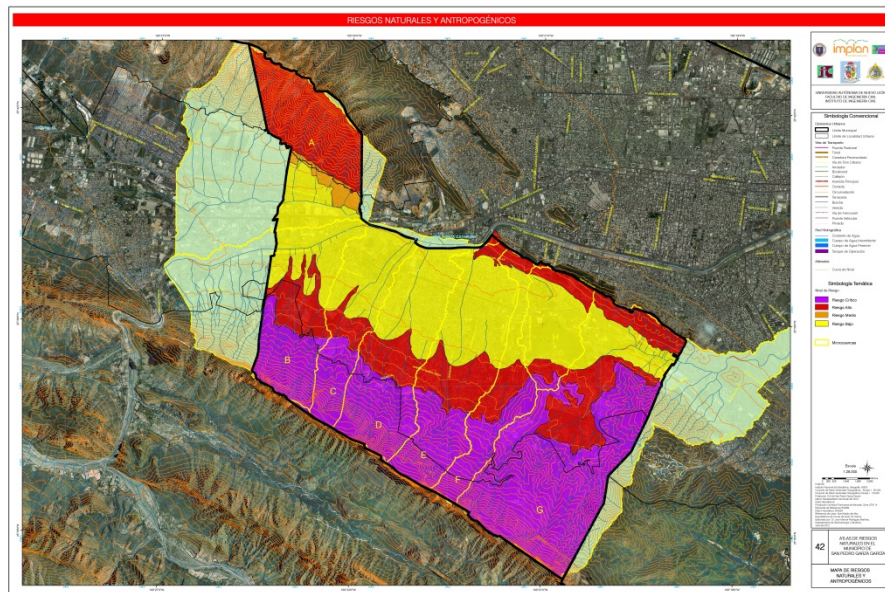


Figura 5.1.1a. Mapa de riesgos naturales y antropogénicos.

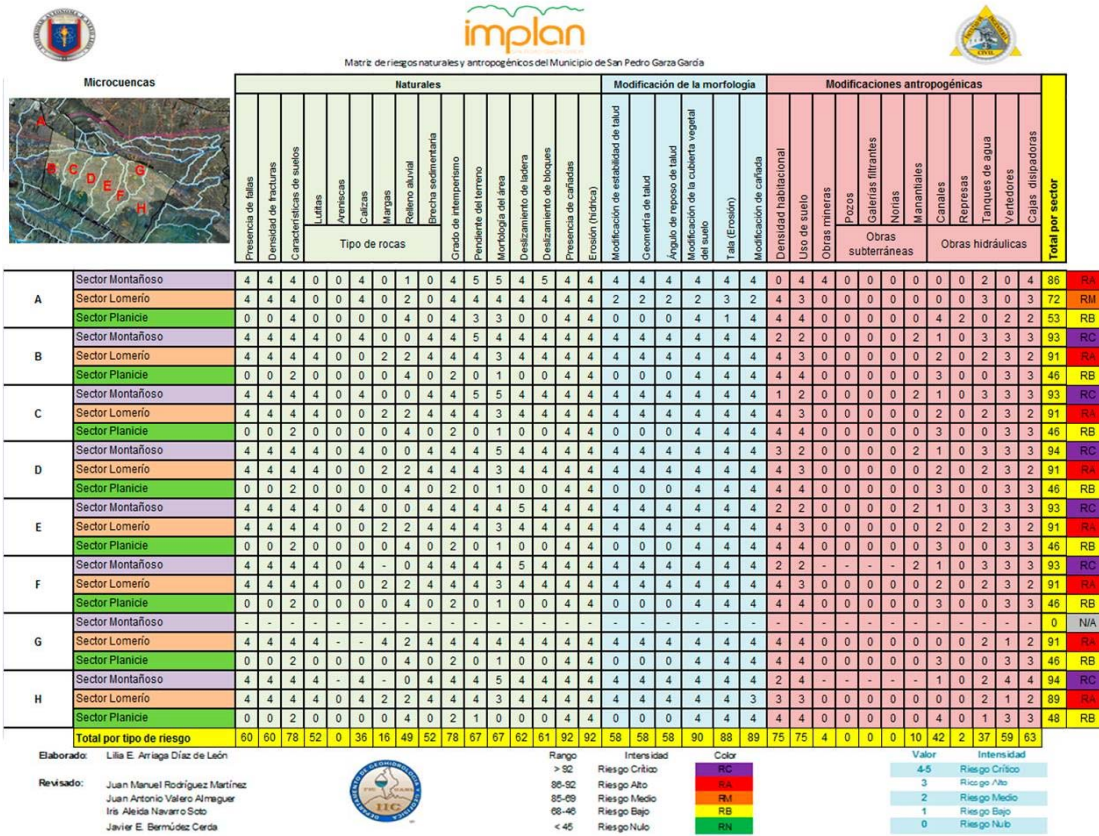


Tabla 5.1.1. Matriz de riesgos Naturales del Municipio de San Pedro Garza García.

En el área de estudio ocurren dos tipos de desprendimientos: falla por volteo y falla plana. Para obtener mejores resultados en el modelado del mapa de susceptibilidad se evaluaron por separado la condiciones que representan situaciones estables o inestables para cada caso.

Para los desprendimientos por falla plana, el ángulo diferencial será obtenido a partir de la diferencia entre el valor en grados de la pendiente del talud y la discontinuidad. De esta forma el rango de valores de ángulo diferencial a considerar es de 0° a -90°, esto significa que el ángulo de la pendiente es mayor que el ángulo del echado de la discontinuidad, lo que favorece la ocurrencia de este tipo de desprendimiento. Para efectuar esta interpretación se considera el echado de la capa 47° NE y los 72° NE de la pendiente de talud o ladera según sea el caso, se realiza la diferencia considerando como principal el dato de la capa o discontinuidad a la que se refiera, en el caso que se muestra se trata de un dato de estratificación en una secuencia de arenisca y caliza delgada, el resultado final es de -15°, lo que demuestra la existencia de deslizamientos por falla plana (figura 5.1.1b), la característica principal de este tipo de deslizamiento es que siempre se van a encontrar en la misma dirección tanto de la capa como del talud.

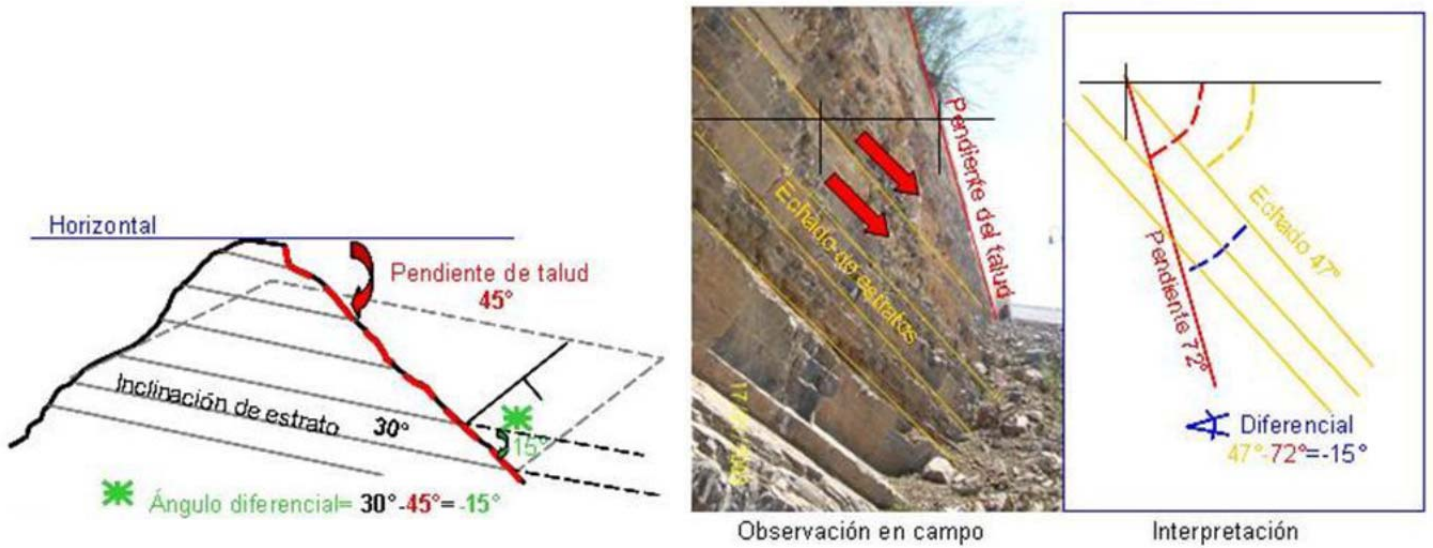
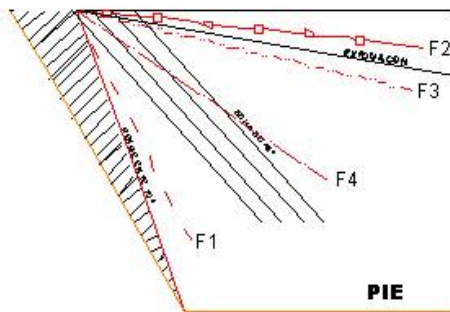


Figura 5.1.1b. A la izquierda, esquema del manejo de datos para determinar el ángulo diferencial; al centro, discontinuidades (amarillo) y pendiente de ladera (rojo); al lado derecho, en la interpretación, ángulos de cada una de ellas, para la obtención del ángulo diferencial que determina la inestabilidad por falla plana.

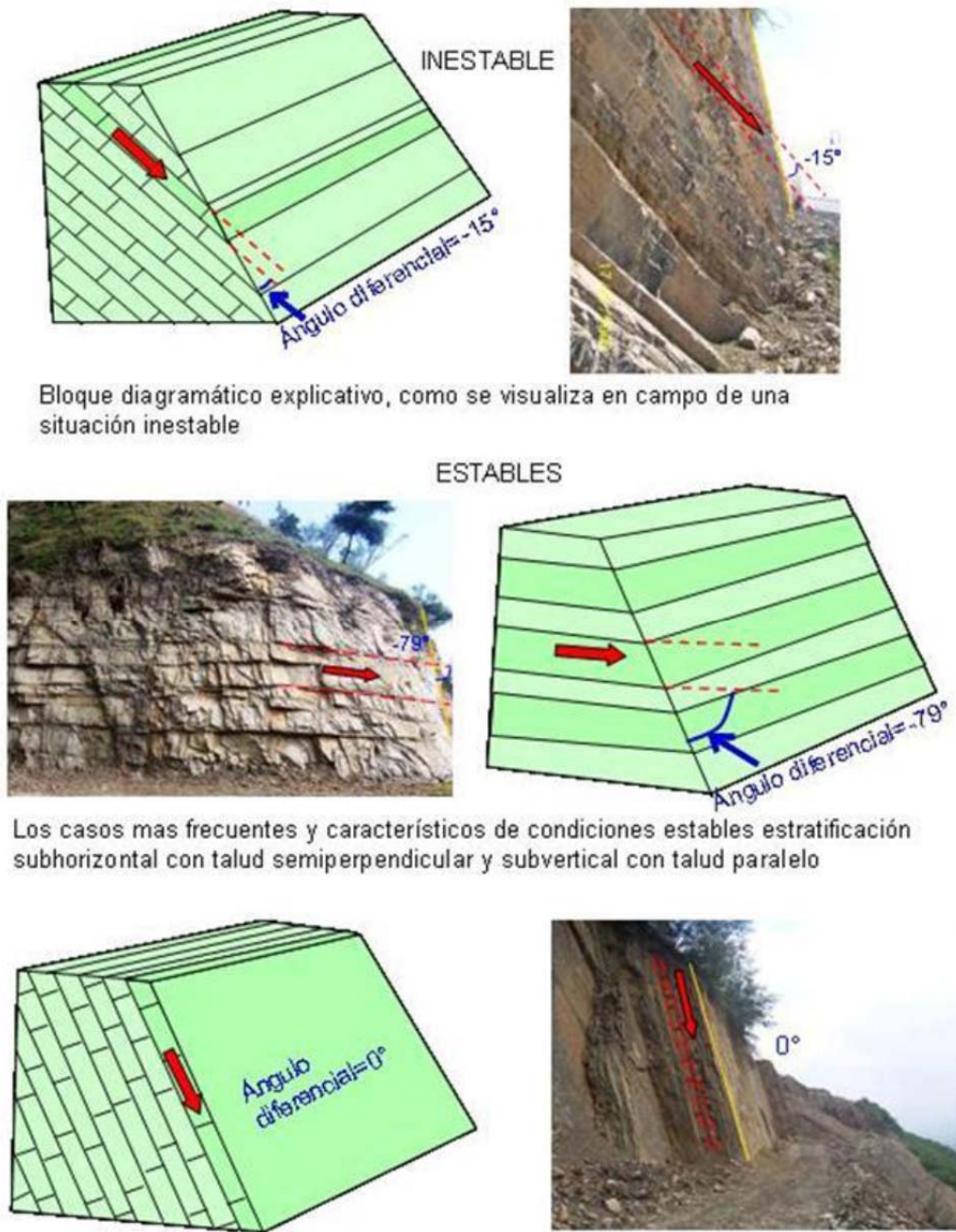
CABEZA



Talud 1 El cálculo de la diferencia de ángulos es igual al ángulo del echado – ángulo de la pendiente del talud: $48^\circ - 70^\circ = -22^\circ$.

Conclusión: A partir de dicho análisis se logra determinar que, el nivel de riesgo geológico en el Talud No. 1 por fallas planares, es moderado controlable. La técnica para mitigar y remediar el riesgo es el recostamiento del talud con un $<$ ángulo de 60° .

Figura 5.1.1c. Taludes afectados por fallas en el fraccionamiento Joya del Venado, San Pedro Garza García, N.L.



Bloque diagramático explicativo, como se visualiza en campo de una situación inestable

Los casos mas frecuentes y característicos de condiciones estables estratificación subhorizontal con talud semiperpendicular y subvertical con talud paralelo

Figura 5.1.1d. Ejemplos esquemáticos e imágenes de las situaciones inestables y estables de la zona.

Para los desprendimientos por volteo, el ángulo diferencial se determina considerando tanto el ángulo de pendiente de talud como de la discontinuidad, los valores se suman para, posteriormente, restarlo a 180 grados. Para que pueda suceder un desprendimiento de este tipo se necesita tener el ángulo de la discontinuidad en contra del corte de la pendiente de talud, figura 5.1.1e.

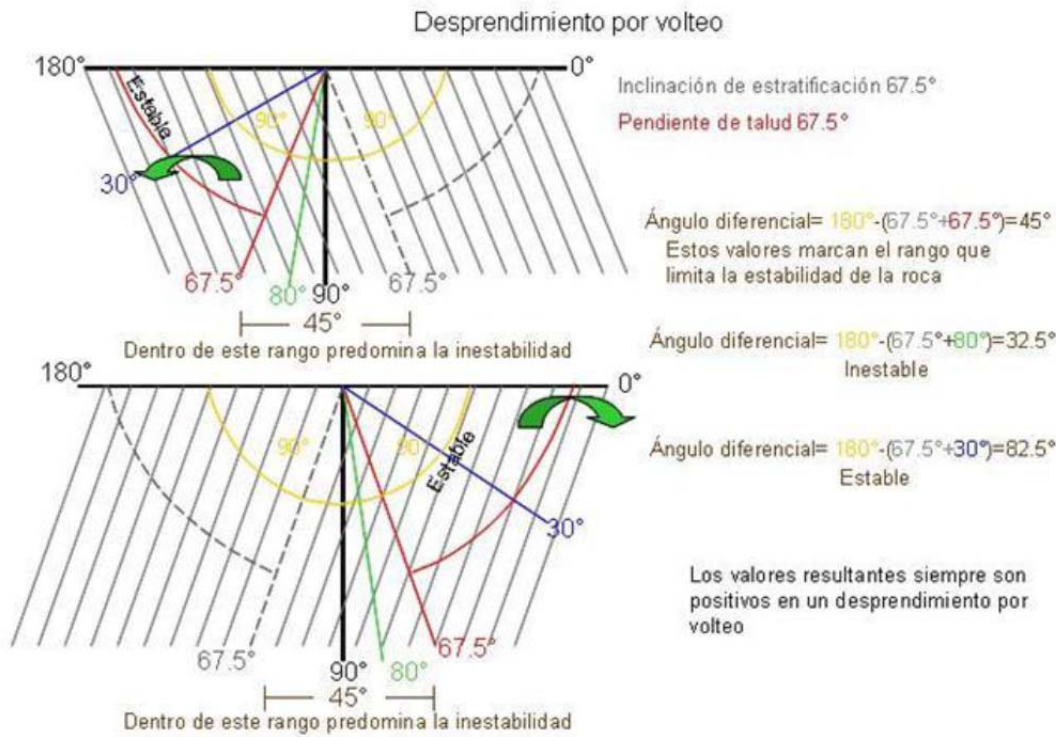
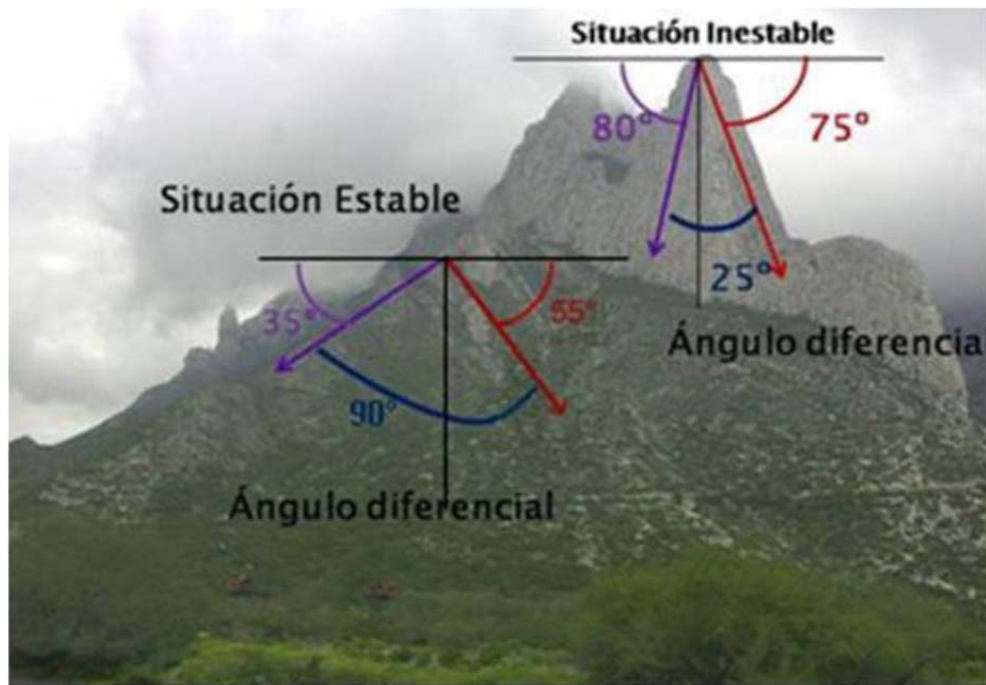


Figura 5.1.1e. Explicación de la obtención del ángulo diferencial para los desprendimientos por volteo.

De esta forma, el rango de valores a considerar para el desprendimiento por volteo es de 0° a 90°, en el que, cuando los valores se acercan a cero la situación es más inestable y puede ocurrir el desprendimiento, a medida que los valores son cercanos a 90° la situación se vuelve más estable, fotografía 5.1.1.



Fotografía 5.1.1. Cañón de La Huasteca. A la derecha, situación inestable para desprendimientos por volteo, tanto la pendiente, como la estratificación tienen una fuerte inclinación, lo que hace que el ángulo diferencial; sea pequeño hacia la izquierda, el ángulo diferencial se vuelve estable si su valor es de 90°.

El ángulo entre rumbo de ladera y rumbo de echado de la discontinuidad es un factor de suma importancia para conocer el arreglo geométrico de los elementos que conforman una ladera y la probabilidad de que estos generen un PRM. A diferencia del ángulo diferencial, el cual es un ángulo vertical, el ángulo entre rumbo de ladera y rumbo del echado, es un ángulo horizontal que se mide con respecto al norte geográfico.

El ángulo entre rumbos es entonces, la relación angular que existe entre la dirección de buzamiento de ladera y la dirección de buzamiento de estratos, de esta forma, el ángulo ente rumbos puede adoptar valores desde 0° hasta 360° , en donde las situaciones que estos valores reflejan pueden o no influir en la ocurrencia de un desprendimiento.

La dirección del buzamiento de ladera se mide con respecto al norte geográfico y puede ser de 0° a 360° o utilizando los cuadrantes generales NE, SW, NW y SE, este dato siempre va a corresponder a la horizontal, en el siguiente ejemplo (figura 5.1.1f), se está considerando 15° o 15° NE, según se aplique. El caso de la intensidad del buzamiento de ladera en general está referido a la vertical.

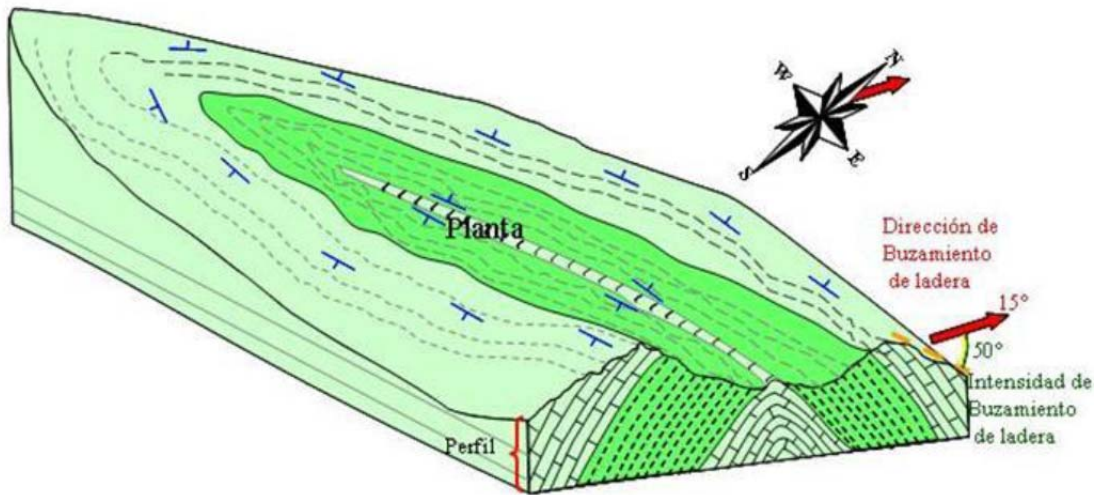


Figura 5.1.1f. Bloque diagramático que representa la dirección e intensidad de buzamiento de la ladera.

Para la evaluación del ángulo entre rumbos es necesario agrupar los valores azimutales de las direcciones de buzamiento de ambos, ladera y estratos, en intervalos de 45° , de esta forma se obtienen ocho direcciones preferenciales que pueden ser comparadas entre sí con la finalidad de conocer su comportamiento y la influencia de éste en los PRM. Luego, la relación angular entre la ladera y los estratos puede ser: 1) Paralelos a favor, esto es, que tanto la ladera como los estratos se inclinan en la misma dirección y sin diferencia angular, 2) Oblicuos a favor, donde ambos elementos buzán con direcciones a 45° entre sí, 3) Perpendiculares, situación en la que existe un ángulo horizontal de 90° entre ambos, 4) Oblicuos en contra, donde la diferencia angular de dirección de buzamiento es de 135° y 5) Paralelos en contra, donde la diferencia de direcciones de buzamiento es de 180° , figura 5.1.1f.

5.1.2. Sismos

Los sismos no son un fenómeno frecuente en el área, al menos con magnitudes que pudieran afectar, por sí mismos a la población o a la infraestructura. Sin embargo, se ha documentado su existencia, cabe mencionar que la primera estación sismológica de la región se instaló en el Cerro del Obispado el 7 de julio de 1913, aunque la información que se generó no se ha podido rescatar y hasta hoy no se cuentan con esos registros históricos, pero existen reportes de sismos en 1795, 1831 1838 y 1911 (figura 5.1.2). En el marco de la geología estructural y de la inestabilidad de laderas descritos anteriormente, la actividad sísmica, por mínima que sea, cobra gran relevancia, ya que estos pueden desencadenar problemas mayores al afectar macizos rocosos inestables en zonas designadas como de alto riesgo. De aquí la necesidad de que se realice un trabajo de mayor detalle en este rubro y que se considere como un elemento clave para el diseño de obras de mitigación.

A pesar de que el estado de Nuevo León se encuentra en una zona asísmica se puede observar que la mayoría de los sismos están localizados en la placa del Pacífico, Placa de Cocos y el Cinturón Volcánico Mexicano, en el Plano No. 5 se muestra que el municipio de San Pedro Garza García, N.L. se encuentra dentro de una zona asísmica.

Los microsismos reportados los días 20 y 21 de mayo en el municipio de Montemorelos, N.L., están asociados con eventos antropogénicos provocados por una sobreexplotación de los acuíferos en rocas calcáreas, los que, al dejar espacios vacíos generan un reacondo de las capas provocando asentamientos diferenciales similares a los que se presentan en el Valle de México.

La profundidad de los focos, según el Sistema Sismológico Mexicano, oscila entre 10 y 5 kilómetros, este parámetro responde al espesor total de los diferentes depósitos que conforman la secuencia sedimentaria en el noreste de México, el cual es de aproximadamente 7.5 Km.

Según el reporte de la red Sísmica Mexicana, el fenómeno se comportó como un movimiento de tipo trepidatorio, el cual responde a eventos de subsidencia, posiblemente asociado con los disolución de los yesos y anhidritas correspondientes a la formación Minas Viejas del Jurásico Inferior. (Milenio 24 de mayo de 2012), figura 5.1.2a.

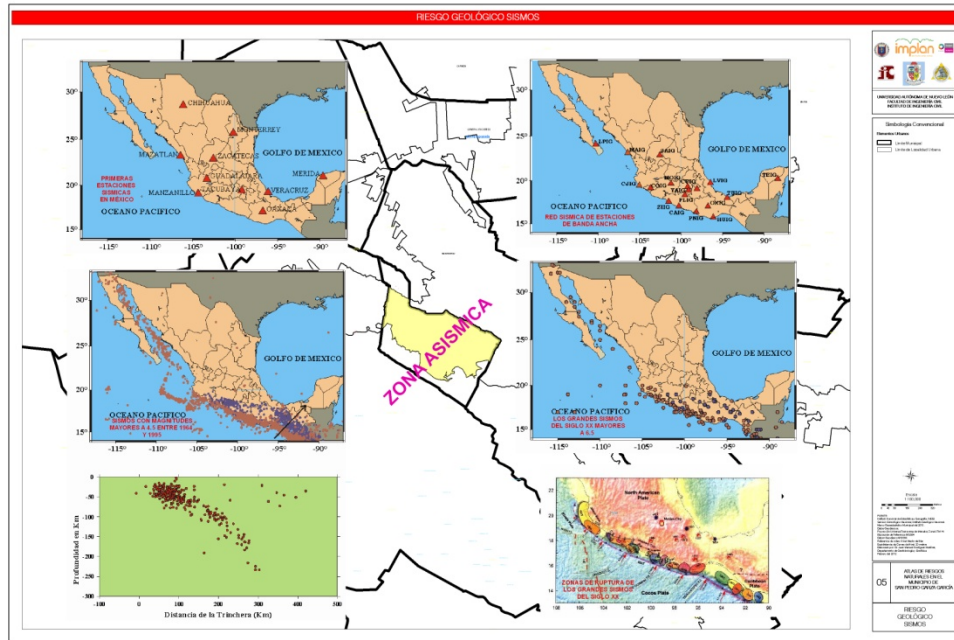


Figura 5.1.2. Sismicidad en el noreste de México y sur de Texas de 1928-2004 (Montalvo- Arrieta).

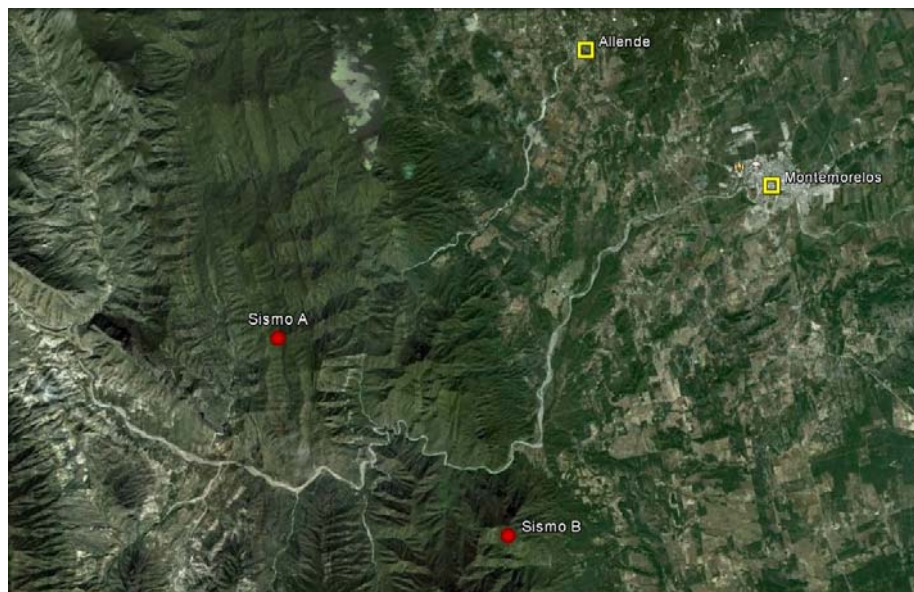


Figura 5.1.2a. Localización de microsismos reportados en el Municipio de Montemorelos, N.L., los días 22 y 23 de mayo del 2012.

5.1.3. Tsunamis o maremotos

Los maremotos son generados tanto por erupciones volcánicas submarinas como por masivos deslizamientos de tierra que caen al mar. Si se produce un gran deslizamiento en la tierra bajo el océano, se crea una columna de agua que gana velocidad y altura a medida que se acerca a la costa. En aguas profundas, un maremoto puede tener hasta 200 kilómetros de ancho, pero sólo 0,5 metros de altura. A medida que viaja en dirección a la costa y las aguas menos profundas, puede alcanzar más de 700 Km/h de velocidad, tan rápido como un avión jet, figura 5.1.3.

Tsunami es una palabra japonesa -*tsu* (津): 'puerto' o 'bahía', y *nami* (波): 'ola', literalmente significa 'ola de puerto- que se refiere a maremoto -del latín *mare* 'mar' y *motus* 'movimiento'-. El uso de este vocablo en los medios de comunicación se generalizó cuando los corresponsales de habla inglesa emitían sus informes acerca del maremoto que se produjo frente a las costas de Asia el 25 de diciembre de 2004 en el océano Índico. La razón es que en inglés no existe una palabra para referirse a este fenómeno, por lo cual los anglohablantes adoptaron *tsunami* como parte de su lenguaje pero la denominación correcta en castellano no es *tsunami*.

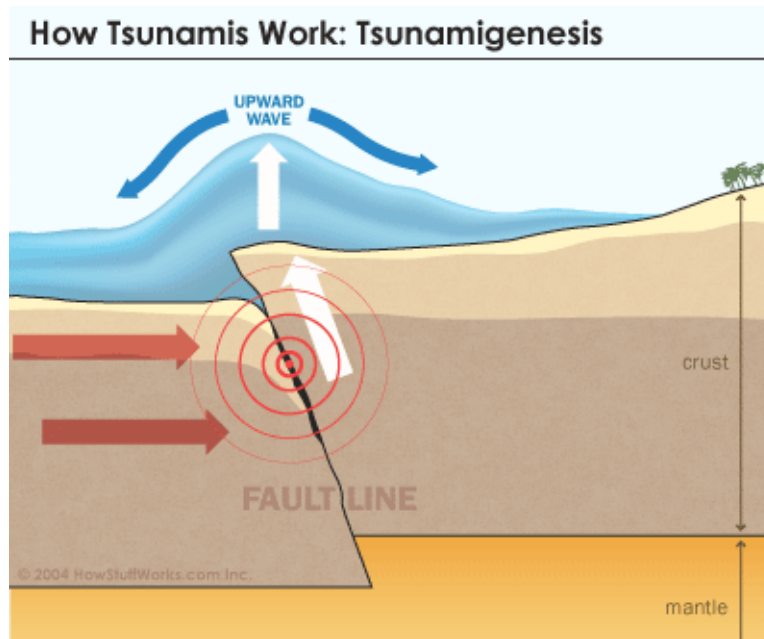


Figura 5.1.3. Origen de un tsunami.

Maremoto es un evento complejo que involucra un grupo de olas de gran energía y de tamaño variable que se producen cuando algún fenómeno extraordinario desplaza verticalmente una gran masa de agua. Este tipo de olas remueven una cantidad de agua muy superior a las olas superficiales producidas por el viento. Se calcula que el 90% de estos fenómenos son provocados por terremotos, en cuyo caso reciben el nombre más correcto y preciso de "maremotos tectónicos", figura 5.1.3a.

La energía de un maremoto depende de su altura (amplitud de la onda) y de su velocidad. La energía total descargada sobre una zona costera también dependerá de la cantidad de picos que lleve el tren de ondas -en el maremoto del océano Índico de 2004 hubo 7 picos enormes, gigantes y muy anchos-. Es frecuente que un *tsunami* que viaja grandes distancias disminuya la altura de sus olas, pero mantenga su velocidad, siendo una masa de agua de poca altura que arrasa con todo a su paso hacia el interior.

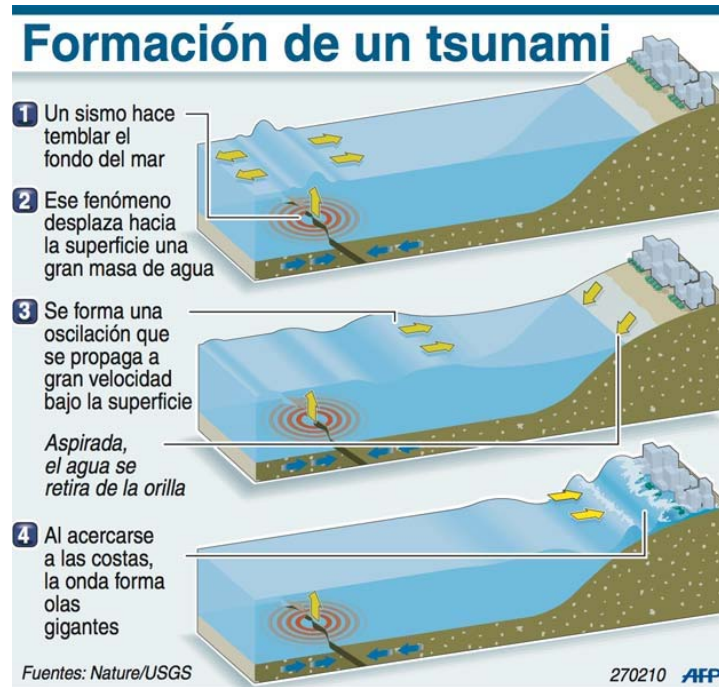


Figura 5.1.3a. Etapas que dan lugar a la formación de un tsunami.

A partir de los esquemas mostrados en el documento correspondiente al párrafo 5.1.3. (tsunamis o maremotos) del contenido del Atlas de Riesgos Naturales del municipio de San Pedro Garza García, N.L., es posible aseverar que dicho municipio está lejos de las líneas de conjunción de placas que son las causantes de la generación de este tipo de eventos.

5.1.4. Vulcanismo

Uno de los fenómenos naturales más espectaculares es la actividad volcánica, proceso global presente en grandes zonas lineales del piso oceánico y de la tierra firme. En el caso de tierra firme se tiene un registro veraz de las erupciones que se producen todos los años, pero al igual que los sismos, la gran mayoría son de pequeña magnitud o solo son exhalaciones. Incluso las erupciones de mediana intensidad, como las del Popocatepetl (1994-2012), las de Pacaya (Guatemala) de los últimos 20 años y otros volcanes, no han sido causa de desastres.

Existen reportes de tragedias como las del Vesubio, que destruyó Pompeya y Herculano (79 D.C.) y la del Pelée en Martinica (1902). El Santa Helena (1980), en el noroeste de los Estados Unidos, representa una de las erupciones más poderosas del siglo XX, sin embargo, ocasionó muy pocas víctimas.

El riesgo por erupciones volcánicas en el estado de Nuevo León, específicamente en el municipio de San Pedro Garza García, son muy remotas. El último evento volcanogénico ocurrido en el noreste de México sucedió hace aproximadamente 50 millones de años, testigos de este evento se localizan al norte de la ciudad de Monterrey, Cerro Picachos, Cerro del Imán, Cerro Candela ambos ubicados en el municipio de Candela, Coahuila y Cerros Colorados en el municipio de Lampazos de Naranjo, N.L.

En el plano No. 12 se muestra que el municipio de San Pedro Garza García se encuentra muy distante del Cinturón Volcánico Mexicano por lo que se puede aseverar; que no presenta riesgo por erupciones volcánicas, figura 5.1.4.

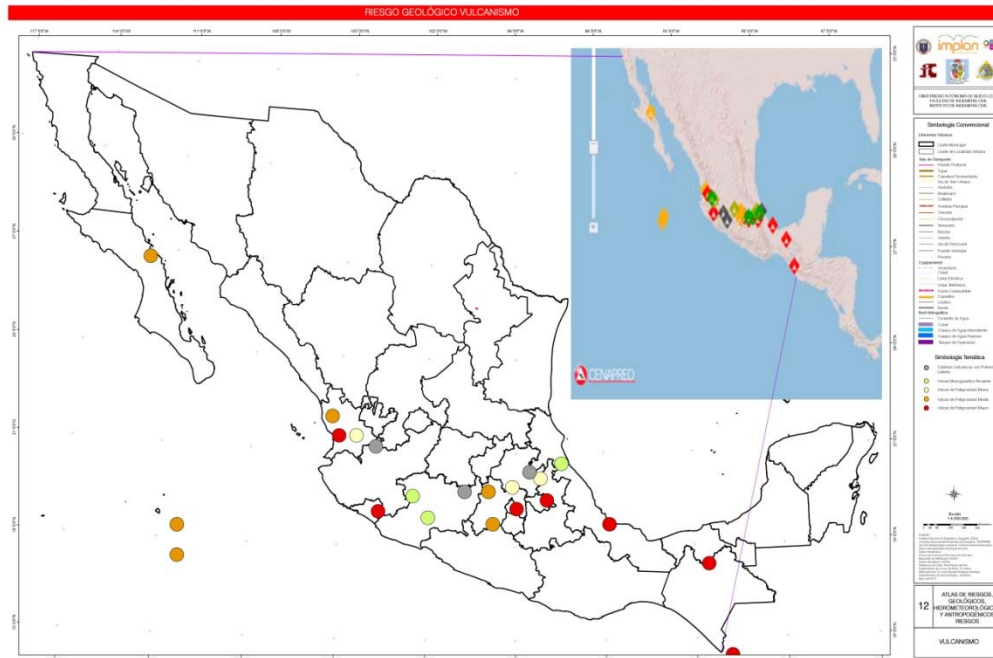
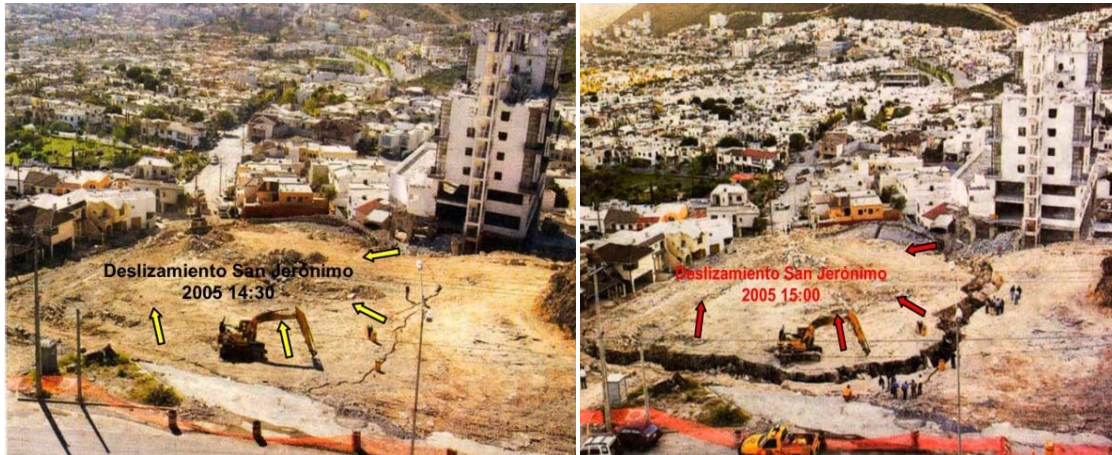


Figura 5.1.4. Localización de aparatos volcánicos en la República Mexicana.

5.1.5. Deslizamientos

Los factores que propician los problemas de inestabilidad de laderas se dividen en internos y externos y tienen que ver de forma directa o indirecta con los esfuerzos cortantes actuantes y resistentes que se desarrollan en la superficie del deslizamiento. En pocas ocasiones dichos factores se combinan, resultando difícil distinguir la influencia de cada uno de ellos. Los cambios en el ambiente y las perturbaciones al entorno natural por actividades humanas son causas que también pueden desencadenar inestabilidad de laderas. El peligro por inestabilidad se clasifica como deslizamientos de laderas en tres grandes grupos: caídos o derrumbes, deslizamientos y flujos (CENAPRED, 2006). Los deslizamientos de laderas definidos en la guía de CENAPRED (2006), enriquecidos con la clasificación de EPOCH, 1993 (en Alcántara, 2000), se subdividen de acuerdo con los materiales formadores, los cuales pueden ser rocas, detritos o derrubios y suelos, desprendimientos, vuelcos, derrumbes, deslizamientos, expansiones laterales, flujos y movimientos complejos (Alcántara, 2005).

Los procesos de remoción en masa, son peligros derivados de la inestabilidad de laderas, su clasificación es vasta y puede ser muy compleja. Es uno de los fenómenos más frecuentes en la naturaleza, debido a la escala de su ocurrencia y al no restringirse a un material o causa específica. Principalmente se registra en sitios donde hay pendientes en el terreno y actúa al conjugarse con otros factores naturales o inducidos. El elemento mecanismo primordial de estos peligros es la gravedad, en orden de importancia el siguiente elemento a considerar es el tipo de material involucrado y posteriormente las condiciones del terreno (morfología, cubierta vegetal, agua, etc.). En la fotografía 5.1.5 se muestran eventos relacionados con remoción de masas provocadas por el Huracán Gilberto en 1988. Para los propósitos y alcances de este estudio, se utiliza una clasificación simplificada, que permite un manejo de los conceptos, toda vez que a partir de estos es que se llevará a cabo el modelado detallado de estos peligros en el área de interés. De la siguiente tabla se resaltan los peligros específicos que existen en la zona de estudio. Dichos fenómenos están asociados con diferentes parámetros como son: tipo de roca, pendiente, tipo de vegetación, erosión, grado de cohesión del material, fracturamiento de la roca y nivel de saturación del estrato deslizante. (FTDES01, FTDES10, FTDES14, FTDES15, FTDES18).



Fotografía 5.1.5. Remoción de masas provocada por el Huracán Emily en 2005.

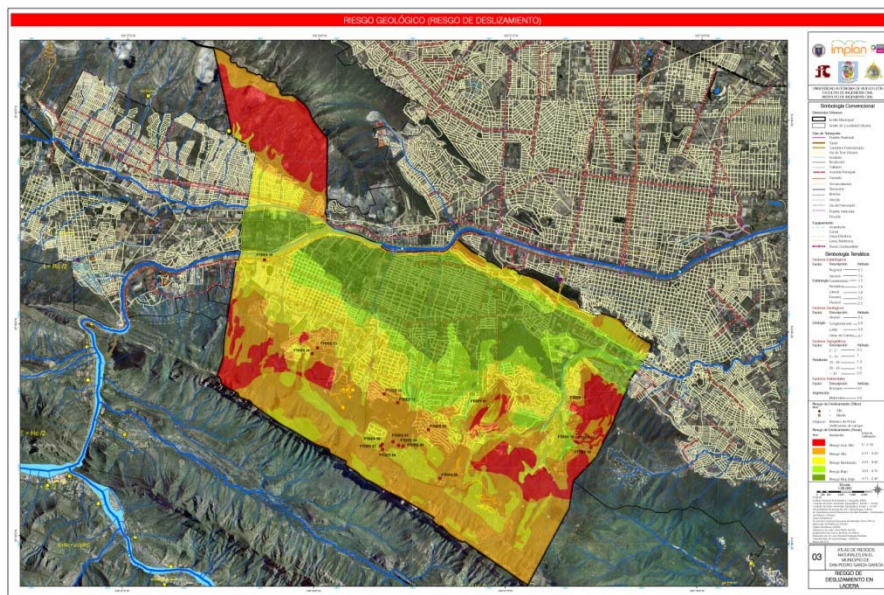
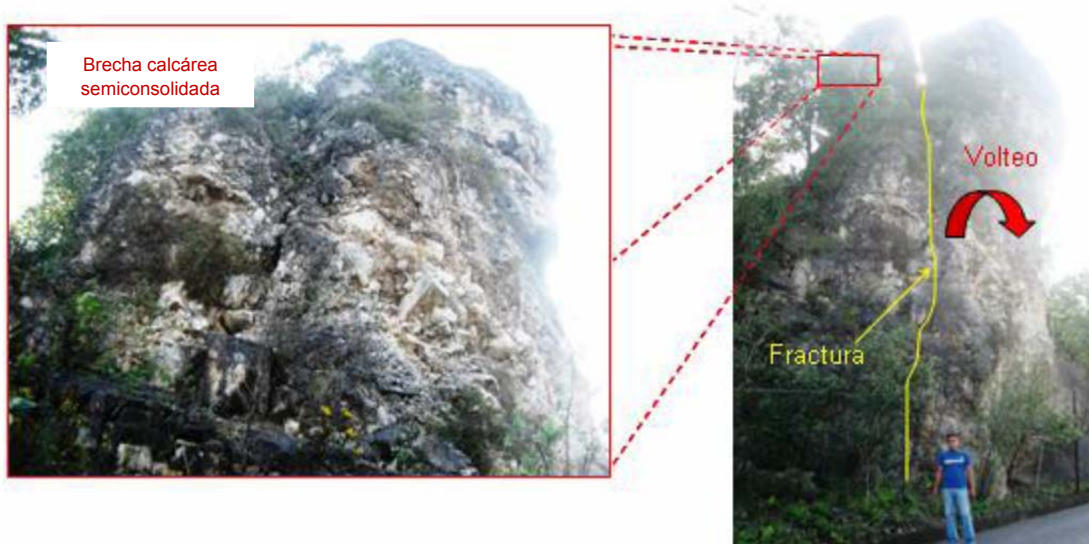


Figura 5.1.5. Plano de deslizamientos.

5.1.6. Derrumbes

Los derrumbes se generan por la presencia de materiales sueltos alojados en sitios de pendientes mayores a los 45°, pueden estar constituidos por fragmentos del tamaño de arenas a bloques de hasta 2 ó 3 metros, figura 5.1.6. El volteo se trata de un desprendimiento de material rocoso con pendientes sub-verticales, los volteos pueden ser por gravedad y flexión, fotografía 5.1.6.



Fotografía 5.1.6. El fracturamiento separa un bloque con alta posibilidad de deslizamiento. Los materiales compuestos por sedimentos finos como lo son la secuencia de lutita y arenisca, tienen la característica de ser muy susceptibles al intemperismo y a la erosión por lo tanto es factible a los deslizamientos e incluso a los derrumbes. (FTDR01, FTDR04, FTDR13, FTDR21, FTDR23, FTDR26)

El área del Cerro La Corona ha sido interpretada como un bloque alóctono, transportado por una cabalgadura, en la zona se han visto evidencias como la brecha de falla e intenso fracturamiento en el bloque transportado, el cual está propenso a generar deslizamientos y caídas de bloques, fotografía 5.1.6a.



Fotografía 5.1.6a. La posición vertical, dimensión y fracturamiento del bloque, así como el grado de erosión e intemperismo en la base y la inclinación del talud son clara evidencia de la inestabilidad y alto riesgo.

En la colonia San Agustín las rocas han respondido en gran parte a los fenómenos de erosión y actuado de alguna manera para propiciar los desprendimientos de bloques por falla plana, el mayor problema es la ubicación de torres de alta tensión en las lomas construidas con este tipo de rocas, fotografía 5.1.6b.



Fotografía 5.1.6b. Ejemplo de un desprendimiento de bloque por falla plana.

5.1.7. Flujos

Las características de este tipo de deslizamiento es que se registran en época de lluvia, en zonas donde se encuentran almacenamientos de agua o jales mineros. Por las condiciones de este terreno es poco factible que se presente este tipo de deslizamiento en el municipio de San Pedro Garza García, Nuevo León.

5.1.8. Hundimientos

Se caracteriza por depresiones en el terreno, originados principalmente por colapso producto de la disolución de carbonatos, componente principal de las rocas que afloran en la región las cuales al contacto con el agua tienden a disolverse formando cavidades en la superficie (dolinas, uvalas y poljés) y en interior de las estructuras plegadas llegan a formar cavidades, la más famosa por estos lugares son las Grutas de García, también hay innumerables cuevas y oquedades que patentan este hecho, éstas cavidades son importantes porque en ocasiones generan hundimientos por el desplome de sus techos. En el Plano 6 se muestra el área correspondiente a un relleno sanitario, el cual se encuentra mal compactado y sobre de él se construyó un desarrollo habitacional por parte del Infonavit, las casas presentan agrietamientos y asentamientos diferenciales, figura 5.1.8. (FI01,FI02,FI03)



Figura 5.1.8. Plano de hundimientos en el municipio de San Pedro Garza García, N.L.

5.1.9. Erosión

La erosión consiste de un conjunto de procesos naturales -hídricos, eólicos, cársticos, marinos o glaciares-y antropogénicos -urbanización, deforestación- en el cual se producen desgastes tanto del suelo como de la roca que causa deformaciones en el relieve terrestre, provocando remoción paulatina del suelo o rocas y materiales sin consolidar (CENAPRED, 2001).

La erosión se define como la remoción de partículas de suelo, debido a la acción de fenómenos climatológicos como son: lluvia, viento, magnitud del material removido, así como del grado de intemperismo del suelo y la roca. El fenómeno de erosión, se considera como un proceso lento, cuando es en forma natural y sus manifestaciones no se identifican a corto plazo, sino cuando se encuentra en una fase final. Desgraciadamente, cuando se ha perdido la mayor cantidad de suelo fértil, al intervenir el hombre para abrir caminos, desmontar áreas como ampliación de su frontera agrícola y/o pecuaria, o bien para ampliar la zona urbana, entonces se altera el equilibrio natural y se acelera el proceso de erosión.

Este fenómeno implica dos problemas importantes, por un lado la pérdida de suelo, sobre todo la de suelo fértil en los campos de cultivo con cierta inclinación, y por otro lado el depósito de sedimentos en embalses o en sitios donde es indeseable. La importancia del fenómeno radica en que el suelo se considera un recurso natural no renovable, debido a que su formación requiere de mucho tiempo. En este apartado, se tratan diferentes factores que contribuyen al proceso de erosión, tanto en la extensión de la zona de estudio, como a una escala mayor en la zona urbana y suburbana de San Pedro Garza García, tales como deforestación, pendientes pronunciadas asociadas a las diferentes unidades geológicas, etc.

Para la explicación y representación de los tipos de erosión que se encuentran en el área de estudio, se eligieron las imágenes más representativas que se localizan a lo largo y ancho del área investigada, así mismo, se describe la localidad de la misma, para mayor entendimiento, éstas se organizaron por tipo de erosión, con la clave utilizada en los recorridos de campo (MER), agregando el número que le fue asignado por la persona que efectuó el recorrido y verificación.

Para la realización del plano de peligros por erosión, se efectuaron recorridos a la zona en los cuales se clasificaron los diferentes tipos y grados de erosión que afectan el área en estudio, dentro de la cartografía realizada se determinaron ocho tipos de erosión esto se explica en la descripción de cada uno de los tipos y grados. Es importante señalar que cada región o zona tiene tipos característicos y específicos de erosión. El área de estudio cuenta topográficamente con sierras y extensos valles.

Los procesos de erosión no se producen de manera aislada, es parte del conjunto de transformación erosión – sedimentación. En los arroyos se observa con mayor claridad los efectos de la erosión, se dice que existe equilibrio cuando el perfil medio y las márgenes no descienden, caso contrario ya presenta efectos de desequilibrio, ejemplo, en las curvas de los ríos y arroyos de llanura, normalmente en la margen cóncava o exterior de la curva se encuentra sujeto a un proceso erosivo, mientras que en la orilla convexa o interior ocurren procesos de sedimentación, la combinación de ambos procesos induce el desplazamiento lento y continuo de las curvas de los ríos, y el desarrollo y evolución de los meandros.

Resulta necesario para el análisis del proceso erosivo, tener en cuenta algunos aspectos básicos hidráulicos como son los arrastres hidráulicos denominados a las partículas sólidas transportadas por las corrientes, dichas partículas de suelo pueden desplazarse por el fondo o por el seno de la corriente en función de la velocidad y profundidad.

Los factores que intervienen en la erosión son: los fenómenos climatológicos que influyen en la erosión del área de estudio, el más importante es la lluvia, que genera erosión hídrica en diferentes facetas, desde el golpe de la lluvia sobre el suelo hasta los escurrimientos superficiales tanto en laderas como en los cauces. La erosión en las laderas es de tipo laminar y redundante en el mayor aporte de sedimento fino que se transporta a los cauces; en cambio el flujo en los cauces transporta gran variedad de material, desde partículas muy finas hasta rocas de gran tamaño.

La pendiente del terreno también influye de forma directa con la erosión, conforme aumentan la pendiente y longitud, se incrementan velocidad y el volumen de escorrentía superficial; mientras en una superficie plana el golpeteo de las gotas de lluvia arroja las partículas de suelo al azar en todas direcciones, en condiciones de pendiente inclinada, el suelo es salpicado debajo de ella hacia arriba, incrementándose la proporción conforme al grado de la pendiente.

El uso de cambio de suelo es un factor que acelera la erosión del suelo en el municipio de San Pedro Garza García, esencialmente en las zonas donde se está deforestando sin control, como la tala de los pocos bosques con los que se cuenta en esta entidad. La cubierta vegetal se desempeña como agente regulador en los fenómenos erosivos, controlando los excesos de agua en el perfil del suelo, disminuyendo la velocidad en el flujo de escurrimiento e integrando el suelo como una masa unitaria entre otros beneficios, sin embargo, el papel es variable de acuerdo a las características de porte, enraizamiento, hábito y velocidad de crecimiento, incluso puede favorecer las condiciones de inestabilidad de laderas.

Al sur-poniente del área en estudio, se localiza la estructura geológica (tectónica) denominada Curvatura de Monterrey, está constituida por una serie de sierras con alturas que van de 500 a 1980 msnm, tiene pendientes que varían de 35° hasta 80° conformadas por rocas sedimentarias calcáreas de diferentes unidades litológicas que son agrupadas en formaciones con edades que varían desde el Jurásico superior al Cuaternario.

El Cretácico inferior es el que se encuentra mejor expuesto por un mayor número de formaciones de origen calcáreo, dentro de las cuales se citan: Cupido, La Peña, Aurora, Cuesta del Cura. El Cretácico superior está representado por rocas calcáreas y margas con mayor influencia de terrígenos en secuencias rítmicas de intercalación de lutitas y areniscas, las formaciones que se han registrado son: Agua Nueva, San Felipe, Méndez, El Terciario Paleógeno (Paleoceno) está conformado por materiales escasamente consolidados y cementados, como aluviones y coluviones.

En el área que ocupa el municipio de San Pedro Garza García y zona que la circunda, misma que es de importancia para este trabajo, afloran las formaciones: Cupido, La Peña, Aurora, Cuesta del Cura, Agua Nueva, San Felipe, Méndez y depósitos aluviales y coluviones, principalmente.

Otro factor importante en los procesos erosivos es el clima y la vegetación, en el área de trabajo, los cambios climáticos son muy abruptos lo que ocasiona que las rocas sean quebradizas; la variedad en la vegetación es escasa y muy pobre, la mayor parte son matorrales y cactáceas, en general se han localizado lechuguillas, mezquites, huizaches, candelillas, cactus de diferentes especies, muy escasamente se encuentran algunos bosques de encino y encino-pino.

5.1.10. Tipos de erosión

5.1.10.1. Erosión hídrica

La erosión hídrica, de manera general, se define como la remoción de suelo por efecto de agua, principalmente el agua de lluvia, debido a que el constante golpeteo de las gotas al suelo alteran el equilibrio del mismo, todo el material que se desprende es transportado por corrientes superficiales, el cual a su vez produce el arrastre de suelo, ocasionalmente llega a formar pequeños canales por el cual se transportan enormes cantidades de sedimentos. Los parámetros que se utilizaron para la determinación de los diferentes tipos de erosión fueron: ángulo de pendiente, vegetación, así como otros parámetros de peligros antropogénicos que pudieron identificarse, figura 5.1.10.1. La pendiente asociada con este tipo de erosión oscila entre 0°- 3° es más común en la zona plana del municipio de San Pedro Garza García. (FEH01, FEH02, FEH03, FEH04).

5.1.10.2. Erosión hídrica laminar moderada (Eh2)

Esta erosión por lo general viene asociada con erosión concentrada (Ec1), ya que afecta a macizos rocosos desprovistos de suelo y vegetación, es uno de los tipos y grados de erosión predominantes en la zona de estudio, fue determinada y clasificada utilizando los parámetros inclinación del terreno, la cual varía entre los 3° a los 15°, presenta vegetación abundante, en este estudio se detalló este nivel de información separando los dos tipos, el primero se forma en los abanicos aluviales y con pendientes que varían de 15° a 30° o más, éstos son de suma importancia ya que en esos sitios actualmente hay nuevos asentamientos humanos esto se ubica en las partes altas llegando hasta la cota 700, sitio en el que aún se están edificando construcciones; estas características se aprecian en el flanco norte del Cerro del Mirador, en los fraccionamientos Privanzas, Colorines, etc.

5.1.10.3. Erosión hídrica laminar alta (Eh3)

Se cartografió en terrenos con pendientes mayores a los 11° asociados a sobreexplotación forestal y accidentes topográficos que permiten el arrastre de suelos fértiles, para esta zona fue mucho más severa la determinación del Eh3, ya que este tipo de erosión se asocia a sierras con pendientes pronunciadas de 50° a 80°, donde solamente tienen roca aflorando, no existe una capa de suelo definida, aunque sí hay en ellas vegetación que suele ser en muchas ocasiones espesa, conformada por matorrales, lechuguillas, cactus, entre otros, creciendo en las fracturas y cavidades de la roca, donde se tiene arcilla que hace el papel de suelo fértil, en el fraccionamiento Vereda alta y en el área del Las Mitras.

5.1.10.4. Erosión antropogénica asociada a construcción de obras civiles (Ea)

Las zonas donde se localiza este tipo de erosión tienen que ver con las obras civiles, considerando dentro de ellas áreas de excavación y donde existen bancos de materiales, por todo lo que esto significa, en la mayoría de los sitios donde se ha extraído material se altera notablemente la estabilidad de las laderas ocasionando de esta manera el cambio del uso de suelo y por lo tanto acelerando el proceso de erosión. (FC01, FC07, FC10, FC18, FC27, FC29).

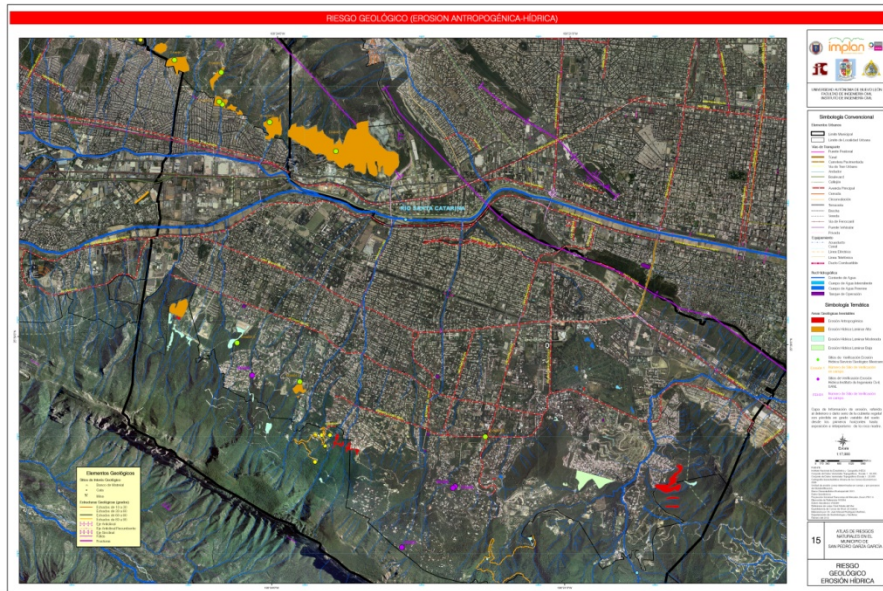


Figura 5.1.10.1. Plano de de erosión.

5.2. Riesgos, peligros o vulnerabilidad de origen hidrometeorológico

Este tipo de peligro se relaciona con la acción del agua y ocasiona daños al ser humano, materiales y pérdidas cuantiosas en infraestructura, así como en zonas agrícolas y que es provocado por un fenómeno relacionado con el agua atmosférica. Para la identificación de los peligros naturales, particularmente los hidrometeorológicos, se requiere emplear la Guía para la Elaboración de Mapas de Riesgo por Inundaciones y Avenidas Súbitas, documento elaborado por CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres) 2006.

5.2.1. Ciclones (Huracanes y ondas tropicales)

Los huracanes son sistemas de baja presión que se originan en las regiones tropicales de los océanos, normalmente están acompañados por tormentas muy fuertes y en el hemisferio norte tiene una rotación en contra de las manecillas del reloj. El Estado de Nuevo León se encuentra en la trayectoria de los huracanes que penetran al Golfo de México, figura 5.2.1. La Tabla 5.2.1 enlista los principales huracanes que han afectado al Estado, con base en los datos recabados por el NOAA Coastal Services Center (NOAA, 2007). A esta lista se agrega el huracán Álex en el 2010.



Figura 5.2.1. Trayectoria de huracanes que han afectado al estado de Nuevo León.

Huracán	Fecha	Categoría al llegar a NL
Sin Nombre	1854	Tormenta Tropical
Sin Nombre	1880	Tormenta Tropical
Sin Nombre	1887	Tormenta Tropical
Sin Nombre	1895	Tormenta Tropical
Sin Nombre	1909	Tormenta Tropical
Sin Nombre	1916	Tormenta Tropical
Sin Nombre	1922	Tormenta Tropical
Sin Nombre	1933	Tormenta Tropical
Sin Nombre	1944	Tormenta Tropical
Alma	1958	Depresión Tropical
Beulah	1967	Tormenta Tropical
Ella	1970	1
Fern	1971	Depresión Tropical
Carolina	1975	Depresión Tropical
Barry	1983	Depresión Tropical
Gilberto	1988	1
Keith	2000	Depresión Tropical
Beryl	2000	Depresión Tropical
Fay	2002	Baja Presión (L)
Erika	2003	Tormenta Tropical
Emily	2005	1

Tabla 5.2.1. Principales fenómenos hidrometeorológicos que han afectado al Estado de Nuevo León al 2007.

Como se puede observar, la mayoría de los huracanes arriban al territorio de Nuevo León con categoría de tormenta tropical, éstos son sistemas que pueden tener velocidades del viento entre 63 Km/h hasta 119 Km/h; el segundo grupo lo forman las depresiones tropicales, las cuales son sistemas que pueden llegar a alcanzar vientos de hasta 61 Km/h. Desde que se ha mantenido el registro de los arribos de huracanes a las costas del Norteamérica, únicamente tres de ellos han arribado a Nuevo León con la fuerza de un huracán de categoría 1, esto es con vientos entre 119 y 153 Km/h.



Fotografía 5.2.1. Daños ocasionados por huracán Gilberto 1988.

5.2.2. Tormentas eléctricas

Las tormentas convectivas se producen cuando el fuerte calentamiento de la atmósfera provoca el efecto de disparo de movimiento de masas de aire. Existen dos circunstancias necesarias para que una tormenta se forme: humedad e inestabilidad. Estas condiciones existen bajo una variedad de situaciones dando origen a distintos tipos de tormentas. Su comportamiento depende del ambiente en el cual se desarrollan, incluyendo las condiciones de estabilidad, la variación del viento en la vertical y la influencia de otros mecanismos de forzamiento (Doswell, C.A. III 2000. Foro de Meteorología, Naturaleza y Senderismo de Cazatormentas.net y Mirabosques.com, 2008).

Las tormentas convectivas se clasifican en frontales y de masas de aire. Las frontales son causadas por el aire caliente y húmedo que es forzado a ascender sobre una cuña de aire frío. Las de tipo de masas de aire no son afectadas por la actividad frontal, sino que ocurren en forma dispersa y aislada (Campo Aranda, 1998). Estas tormentas comienzan generalmente a media tarde, al alcanzarse la temperatura de disparo persistiendo hasta la medianoche; y al amanecer no queda rastro alguno de ellas. Pueden presentarse aisladas o agrupadas en células, una de las características más distintivas de las tormentas convectivas es su limitada distribución geográfica (Fotografía 53), las lluvias de tormentas convectivas, pueden llegar a producir escurrimientos muy grandes en un periodo de tiempo relativamente corto afectando sobre un área muy pequeña a personas y bienes al causar inundaciones repentinas.

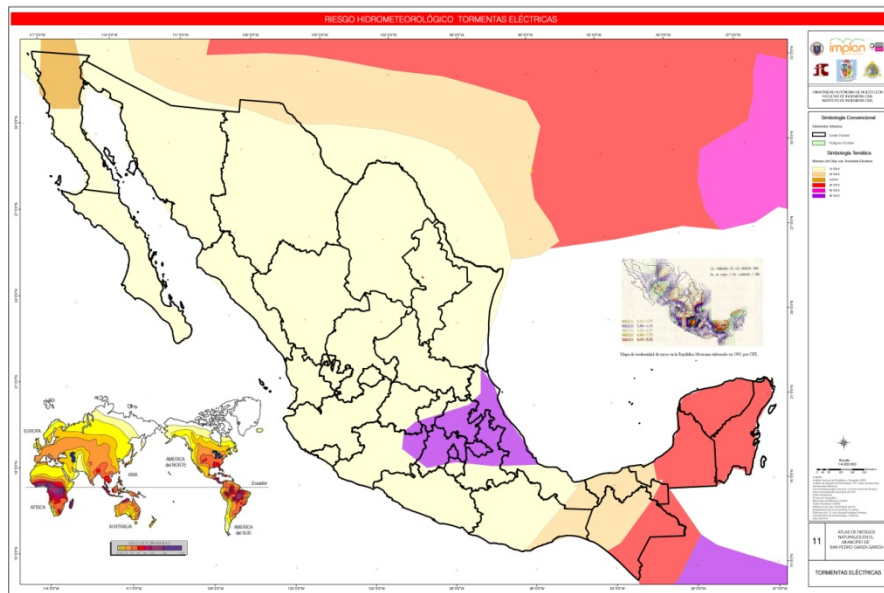


Figura 5.2.2. Tormentas eléctricas.

5.2.3. Sequías

Son procesos climáticos prolongados en el tiempo, que evolucionan lentamente dominando un territorio cada vez mayor. A diferencia de otros desastres naturales repentinos y violentos, son más dañinos. Han sido comunes en Brasil, Chile y México. En la figura 5.2.3 se muestra la distribución geográfica de las zonas áridas y semiáridas en la República Mexicana. Los efectos más graves son la escasez de agua y alimentos, que favorecen epidemias y mayor mortalidad infantil; se producen migraciones masivas y la mortalidad de miles de cabezas de ganado, fotografías 5.2.3, lo que conduce a problemas sociales, incluso guerras civiles y entre países.

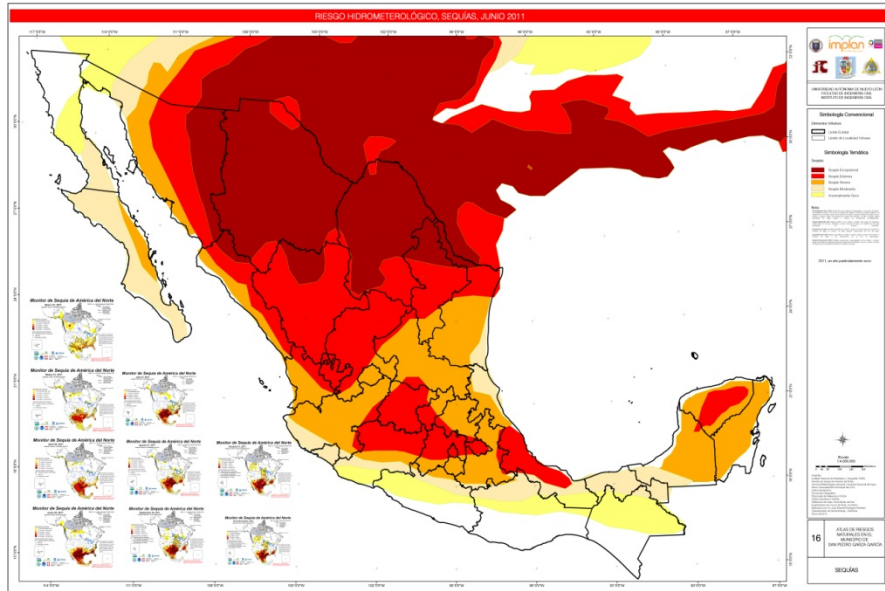


Figura 5.2.3. Distribución de zonas áridas y semiáridas en la República Mexicana.



Fotografías 5.2.3. Estragos de la sequía que azota el norte de México en el año 2011.

5.2.4. Temperaturas máximas extremas

La diferencia de temperaturas ocasionadas por la existencia de cadenas montañosas, producen un efecto de condensación que a su vez, genera lluvias que se concentran en la vertiente este de la sierra, mientras que en la vertiente oeste se desarrolla un fenómeno conocido como sombra orográfica que da lugar a llanos o bolsones con clima seco o semiseco en las zonas de transición de la sierra al altiplano, así como a algunas porciones asiladas en las cumbres con clima templado y semicálido. En 41 años de observación en el estado de Nuevo León se tienen los siguientes valores para temperaturas máximas, mínimas y media, dicha información se puede observar en el plano 41. correspondiente a temperaturas máximas extremas para el municipio de San Pedro Garza García, N.L., figura 5.2.4.

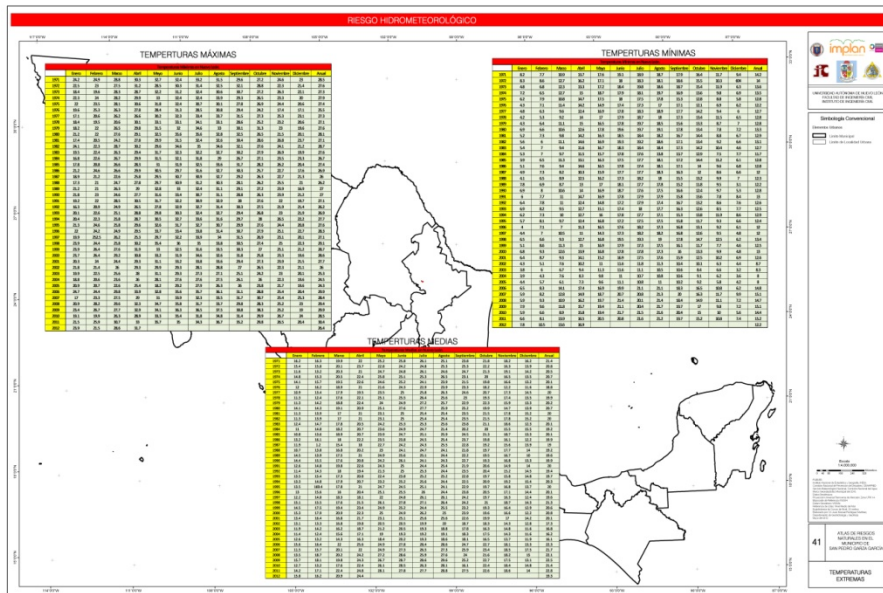


Figura 5.2.4. Mapa de temperaturas máximas extremas en el municipio de San Pedro Garza García, N.L.

5.2.5. Vientos fuertes

La atmósfera se considera como un sistema sumamente complejo, regulado por múltiples fuerzas que, reaccionando entre sí, se influyen recíprocamente y hacen todavía más complicado el cuadro general. La causa básica de los fenómenos atmosféricos debe buscarse en el exceso de calor de las regiones del planeta, o en un déficit del mismo en otras; aunque en conjunto el sistema esté bien equilibrado, las regiones ecuatoriales reciben mayor cantidad de irradiación solar que las regiones polares. Por consiguiente, en teoría la temperatura debería aumentar gradualmente en los trópicos y disminuir en los círculos polares.

El viento real está formado por una rápida sucesión de ráfagas e intervalos de calma (movimiento turbulento), pero en meteorología se considera por lo general el flujo medio, que solo pone de manifiesto el tránsito de sistemas de dimensiones grandes y medianas (ciclones y anticiclones), mientras que las fluctuaciones de menor entidad quedan eliminadas en el cálculo de las medias referidas, al intervalo de tiempo que se considera. En los meses de septiembre a diciembre, se tiene el dominio de vientos provenientes del norte, mientras que en los meses de verano se tiene un dominio de vientos alisios en la figura 5.2.5., se muestra claramente la dirección de los vientos dominantes en el área de estudio.

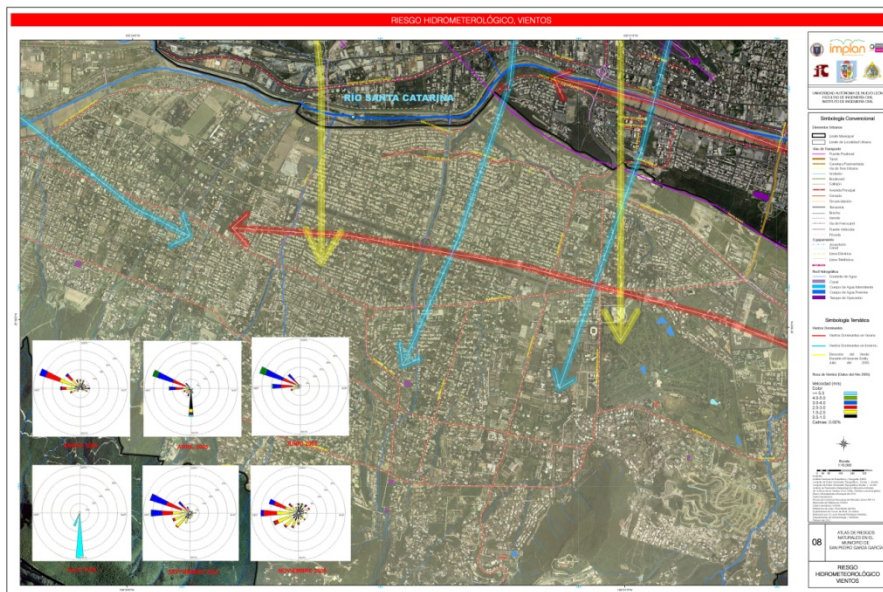


Figura 5.2.5. Plano de vientos fuertes.

cuando una presa llega a su máxima capacidad y el exceso de agua provoca el rompimiento de la cortina o simplemente el agua es liberada bruscamente.

- En zonas urbanas, la insuficiente capacidad y obstrucción de las redes de drenaje, superficies asfaltadas, urbanización en los cauces naturales de los ríos y arroyos.
- La pérdida de la cobertura forestal (tala de árboles) es otro factor que puede contribuir a que se presenten las inundaciones, ya que con dicha actividad se debilita el suelo provocando desgajamientos y arrastre de sólidos que azolvan los cuerpos superficiales de agua (Hernández y Carrasco, 2001) (Oropeza y Reyes, 2001).

Los tiempos de concentración de los escurrimientos dependen de las características fisiográficas de cada cuenca (Aparicio F., 1999), debiéndose considerar los siguientes factores:

- Precipitación: proceso por el cual el vapor de agua forma las nubes se condensa, formando gotas de agua que al alcanzar el tamaño suficiente se precipitan, en estado líquido como lluvia o sólido como nieve o granizo, hacia la superficie terrestre. La precipitación pluvial se mide en milímetros dentro de un volumen y superficie conocidos (Ahrens, 2000).
- Intensidad de precipitación: es la cantidad de lluvia que se precipita en cierto tiempo (altura de precipitación por unidad de tiempo). Sus unidades son mm/h, mm/día, etc.
- Pendiente: cuesta o declive de un cauce, medida de inclinación de un cauce. La pendiente principal del cauce es uno de los indicadores más importantes del grado de respuesta hidrológica de una cuenca a una tormenta.
- Capacidad hidráulica permisible de los ríos o arroyos: el área hidráulica permisible es el área necesaria para que el flujo de escurrimientos o el gasto pico pase por una sección de un arroyo sin presentar desbordamiento en sus márgenes.
- Longitud del cauce: es la distancia horizontal que recorre la corriente de mayor orden desde su inicio hasta el sitio de interés.

Los siguientes factores permiten determinar si las inundaciones se van a presentar de manera súbita o en un proceso lento:

- Súbita natural: generalmente se presentan en cuencas con pendientes considerables, barrancas, valles y áreas montañosas.
- Súbita antropogénica: se debe al rompimiento de un bordo, cortina de presa o represa; y en el caso específico de las zonas urbanas la poca capacidad de las redes de drenaje, así como el azolvamiento de las mismas.
- Proceso lento: en estos casos se puede pronosticar una posible inundación y prevenir pérdidas humanas principalmente.

5.2.6.1 Encharcamiento

El encharcamiento o anegamiento, es un fenómeno causado por la saturación del suelo, caracterizado por la presencia de láminas delgadas de agua sobre la superficie del suelo en pequeñas extensiones y por lo general, presente en zonas moderadamente onduladas a planas.

5.2.7. Masas de aire (heladas, granizo y nevadas)

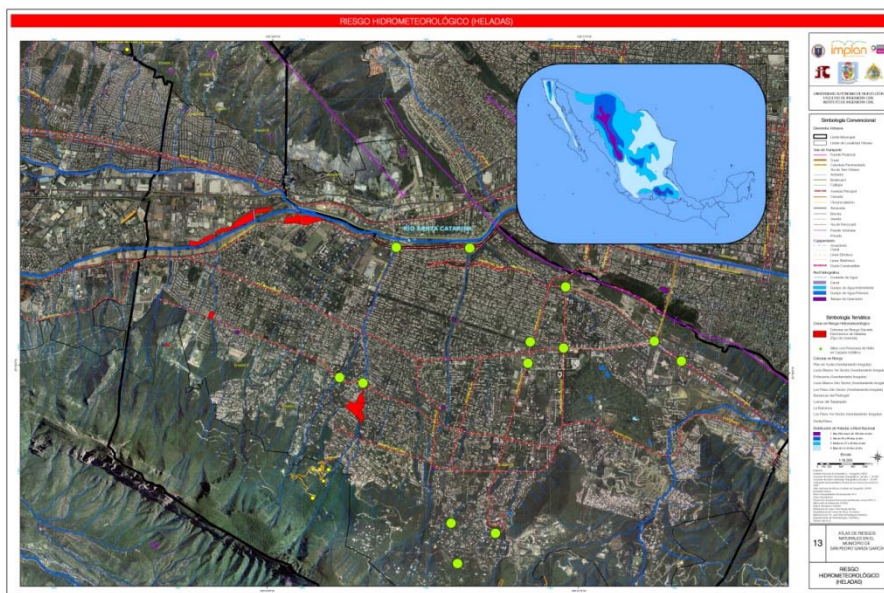


Figura 5.2.7. Plano de masas de aire (heladas, granizo y nevadas).

CAPÍTULO VI. Riesgos antropogénicos

6.1 Introducción

El acelerado crecimiento territorial de las ciudades en áreas cuya aptitud del suelo para el asentamiento de población es considerada como inadecuada, tiende a incrementar la vulnerabilidad de las viviendas frente a amenazas de origen natural y antrópico. Si a lo anterior, agregamos que las condiciones socioeconómicas de las familias de escasos recursos; asentadas en áreas carentes de infraestructura, servicios y en viviendas inseguras, son de alta marginalidad, la combinación de ambos factores incrementa potencialmente las posibilidades de ocurrencia de un desastre. La finalidad del Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de San Pedro Garza García es la de proporcionar a las autoridades locales información relevante sobre las zonas de mayor impacto por peligros Naturales identificados en la ciudad y región periférica.

Con base en los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo 2001-2020 en materia de prevención de desastres, la Secretaría de Desarrollo Social en el marco del Programa Hábitat ha decidido fortalecer las acciones que contribuyan a reducir la vulnerabilidad de la población ante la presencia de peligros Naturales con especial énfasis en aquellas que permitan identificar zonas de alto riesgo para la población de las localidades —en particular en aquellas zonas localizadas en barrios y colonias marginadas; frente a una eventual situación de desastre del municipio de San Pedro Garza García.

La información documentada y precisa contenida en el Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de San Pedro Garza García, será clave para actuar en el plano preventivo y el fundamento de estrategias de autoprotección orientadas a reducir los costos económicos y sociales, además de pérdidas humanas que pudieran ocurrir a consecuencia de desastres naturales y antrópicos. Este documento hará posible, al mismo tiempo, disminuir el plazo requerido para iniciar las labores de apoyo y reconstrucción de daños, resultado en todo caso de la interacción entre autoridades, damnificados, socorristas y el resto de la sociedad.

La ubicación de las zonas de riesgos y el nivel de peligro identificado en las diferentes estructuras que conforman el municipio de San Pedro Garza García, constituyen los primeros pasos para la consolidación de un sistema de protección civil y del proceso de gestión de riesgos en esta importante metrópoli.

El Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de San Pedro Garza García es más que una compilación, porque está estructurado como una base de datos de campo, (químicos, sanitarios ambientales y socio-organizativos) de peligros y riesgos de la cual; se puede analizar y extraer información de utilidad, para los futuros planes de desarrollo urbano y de construcción en el municipio, implementando programas de mitigación y de riesgos. Se basa en el documento de “Guía metodológica para la elaboración de Atlas de peligros Naturales a nivel de ciudad, identificación y zonificación” que propone las bases para integrar, manipular, administrar y modelar la información disponible de riesgos naturales y antropogénicos.

Para municipio como San Pedro Garza García, en proceso de cambio, cuyo objetivo es lograr un desarrollo humano integral, equitativo y sustentable, las cifras anuales de pérdidas provocadas por el embate de los fenómenos Naturales constituyen una condición inaceptable. Sin duda alguna se ha avanzado, sin embargo; son aún insuficientes los logros y es necesario por lo tanto, invertir mayores esfuerzos y recursos para transitar de un esquema reactivo a uno preventivo. Por ello es indispensable establecer estrategias, políticas y programas de largo alcance enfocados a prevenir y reducir el efecto de los fenómenos perturbadores con la coparticipación y corresponsabilidad de los diferentes niveles de gobierno, sectores social y privado.

Este cambio de estrategia debe lograr que la sociedad sea capaz de afrontar los peligros naturales y los antrópicos asegurando, al mismo tiempo que el desarrollo no incremente su vulnerabilidad y por ende el riesgo. Sólo así se podrá garantizar una ciudad menos vulnerable y una población más preparada y segura.

Como se verá más adelante, el punto de partida y un requisito esencial para la puesta en práctica de las acciones de protección civil y políticas de prevención y mitigación del impacto de los desastres, es contar con un diagnóstico de riesgos, es decir, conocer las características de los eventos que pueden tener consecuencias desastrosas y determinar la forma en que estos eventos inciden en los asentamientos humanos, en la infraestructura y en el entorno. Una manera efectiva para integrar esta información y hacerla disponible a un amplio número de usuarios, es a través de un Atlas de Riesgos Naturales y Antropogénicos. La cartografía digital y los sistemas informáticos modernos ofrecen una herramienta de gran utilidad para la representación de peligros y riesgos a diferentes escalas y detalles, así como la generación de diferentes escenarios a través de modelos y simulaciones.

De acuerdo con la Ley General de Protección Civil (LGPC) en su artículo 12, fracción XVI, es atribución de la Secretaría de Gobernación desarrollar y actualizar el Atlas Nacional de Riesgos. Para tal efecto, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), como apoyo técnico del Sistema Nacional de Protección Civil, se ha dado a la tarea de emprender el desarrollo del mismo.

El reto que se ha establecido, es la integración de un sistema de información sobre el riesgo de desastres detallado a nivel municipal y de comunidades en zonas de riesgo. La integración de este Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de San Pedro Garza García demandará un enorme esfuerzo de investigación, recopilación de datos, trabajo de campo, y sobre todo de coordinación multi-institucional, siendo indispensable la participación de los tres niveles de gobierno, las autoridades de Protección Civil, organizaciones públicas y privadas, así como la población en general.

Para la implementación del Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de San Pedro Garza García es importante contar con diagnósticos a nivel local, partiendo de criterios homogéneos y siguiendo una metodología común. Es por esta razón que el CENAPRED ha encaminado sus esfuerzos para proponer lineamientos generales y criterios uniformes para identificar y cuantificar los peligros, establecer las funciones de vulnerabilidad y estimar el grado de exposición.

6.1.1 Antecedentes

Las herramientas actuales para el manejo de información, así como los avances logrados en la identificación del peligro y el desarrollo de modelos para su representación, han permitido cambiar el enfoque tradicional de un Atlas de Riesgos Antropogénicos, de ser una colección de mapas, **a un sistema integral de información que permita evaluar el riesgo de desastres a diferentes niveles y escalas, que permita la realización de simulaciones y escenarios, y muy importante, que pueda ser actualizado fácilmente y se mantenga vigente.**

Existen fenómenos como los incendios forestales, marea roja, y las actividades humanas relacionadas con la industria y el manejo de materiales peligrosos, que afectan año con año al país.

Por sus efectos, los desastres pueden tener importantes consecuencias en el ámbito económico y social, en el desarrollo de una región e inclusive llegar a comprometer la seguridad nacional. Por tanto, su impacto puede incidir significativamente en el bienestar y calidad de vida de sus habitantes. Así, en las últimas dos décadas (1980-1999), los efectos causados por los desastres en México significaron, en promedio anual, pérdidas de 500 vidas humanas y daños materiales por 700 millones de dólares. [Bitrán D., 2001].

6.1.2. Justificación

Para poder llevar a cabo un diagnóstico de riesgos fue necesario conocer las características de los eventos que pueden tener consecuencias desastrosas; para ello, fue necesario identificar las posibles fuentes de peligro, georeferenciándolas mediante posicionadores globales y ubicándolas en un plano base como posibles fuentes de peligro para el ser humano y el entorno ambiental.

La información recopilada en campo y en gabinete sobre los diferentes riesgos antropogénicos (químicos, sanitarios ambientales y socio-organizativos) en el municipio, fue representada en mapas de peligro a fin de identificar aquellos sitios susceptibles de ser afectados por un fenómeno no deseado. La elaboración de este documento puede ser aprovechado para diferentes dependencias del Gobierno a fin de implementar planes de contingencia contra este tipo de eventualidades.

Un aspecto muy importante que se contempla en este documento es el de reducir el posible impacto generado por un fenómeno antrópico (ej. exposición de la población a sustancias nocivas) implementando una buena estrategia para prevenir y mitigar el riesgo. Una vez que se haya identificado el peligro, se podrá pasar a la siguiente etapa de evaluación del riesgo la cual consiste en identificar el impacto de este, e implementar programas para mitigar y reducir el impacto del desastre antes de que este ocurra. Dentro de las acciones a implementar están las siguientes:

- Planeación del uso del suelo.
- Aplicación de códigos de construcción.
- Obras de protección.
- Educación y capacitación a la población.
- Elaboración de planes de contingencia por parte de protección civil.
- Manuales de procedimientos.
- Implementación de sistemas de monitoreo y de alerta temprana.
- Preparación para la atención de emergencias.

6.1.3. Objetivo general

El objetivo de este documento es proporcionar una guía metodológica general para la utilización del Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de San Pedro Garza García; a fin de reducir el posible impacto generado por un fenómeno natural o antrópico, implementando estrategias para prevenir y mitigar el riesgo.

6.1.4. Metodología

La metodología que se aplicó para la elaboración del Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de San Pedro Garza García, se describe a continuación: se identificaron en campo las industrias que manejan sustancias químicas o materiales peligrosos, se obtuvo su dirección, ubicación geográfica (latitud y longitud), croquis de localización, toma de fotografía de cada sitio censado, nombre del producto químico, fórmula, nombre común, número de CAS, máximo volumen almacenado, volumen utilizado, anual, mensual, semanal, volumen total, frecuencia de llenado de tanques, tipo y cantidad de tanques, etc. estos datos son indispensables para georeferenciar las industrias en un Sistema de Información Geográfica (SIG), esto se realizó con el apoyo de posicionadores globales: Magellan Mobile Mapper y Garmin GPS Map 60Cx.

En el área metropolitana de la ciudad de Monterrey y región periférica deberán considerarse a las industrias químicas, de alimentos, farmacéutica y metalmeccánica así como incluir instalaciones de Petróleos Mexicanos (PEMEX), Comisión Federal de Electricidad (CFE), distribuidores de productos agroquímicos, gaseras, gasolineras, plantas de tratamiento de agua potable, plantas de tratamiento de agua residual, estaciones de carburación, centros educativos, hospitales, asilos, orfanatorios, confinamientos de desechos domésticos, centros recreativos y otras instalaciones de interés, las cuales se describen en la tabla 5.1. Anexo 1

Dentro de la metodología se aplicó el software SCRI 1.3 Modelos de simulación para análisis de consecuencias por fuego y explosiones. Los datos obtenidos sobre las dimensiones de las bolas de fuego y explosiones se presentan con mayor claridad en el reporte general del modelo. También con apoyo de dicho software es posible graficar el radio de afectación por presión de un modelo BLVE. Con apoyo del censo poblacional realizado en el 2005 por INEGI fue posible cuantificar los daños a la comunidad por la acción de un evento de este tipo.

6.1.5. Conceptos fundamentales sobre riesgo

El tema del riesgo dentro de la prevención de desastres ha sido tratado y desarrollado por diversas disciplinas que han conceptualizado sus componentes de manera diferente, aunque en la mayoría de los casos de manera similar. Un punto de partida es que los riesgos están ligados a actividades humanas. La existencia de un riesgo implica la presencia de un agente perturbador (fenómeno natural o generado por el hombre) que tenga la probabilidad de ocasionar daños a un sistema afectable (asentamientos humanos, infraestructura, planta productiva, etc.) en un grado tal, que constituye un desastre (figura 6.1.5). Así, un movimiento del terreno provocado por un sismo no constituye un riesgo por sí mismo. Si se produjo en una zona deshabitada, no afectaría ningún asentamiento humano y por tanto, no produciría un desastre.

En términos cualitativos, se entiende por riesgo la probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por personas, comunidades o sus bienes, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos perturbadores. La probabilidad de ocurrencia de tales eventos en un cierto sitio o región constituye una amenaza, entendida como una condición latente de posible generación de eventos perturbadores. En el esquema siguiente se muestran las diferentes fases del riesgo.



Figura 6.1.5. Esquema de fases del riesgo.

El municipio de San Pedro Garza García está ubicado en las coordenadas 25° 40' de latitud norte y 100° 24' longitud oeste. Limita al norte y al este con la ciudad de Monterrey, y al sur y oeste con el municipio de Santa Catarina. Tiene una extensión de 83 kilómetros cuadrados. Cuenta con una población de 126,147 habitantes. En la Tabla 6.1.5, se muestra la información de campo relacionada con cada una de las variables que intervienen en el aspecto antropogénico del Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de San Pedro Garza García.

San Pedro Garza García, N.L.		
Tipo de riesgo	Prioridad	Total
Químicos (RQ - ##)		21
Gasolineras	1	12
Gaseras y tortillerías	1	3
Ductos	1	3
Industrias	1	3
Sanitario-ambientales (RSA - ##)		15
Hospitales, clínicas y sanatorios	1	6
Tanques de almacenamiento de agua	2	4
Estaciones de bombeo	2	5
Socio-organizativos (RSO - ##)		28
Teatros	2	1
Templos	1	3
Centros comerciales	1	3
Centros culturales	1	3
Escuelas especializadas	1	3
Educación preescolar	1	5
Escuelas primarias	1	4
Escuelas secundarias	1	2
Escuelas preparatorias	1	3
Universidades	1	1
Total		64

Tabla.6.1.5. Datos de campo correspondientes a riesgos antropogénicos en el Municipio de San Pedro Garza García, N. L.

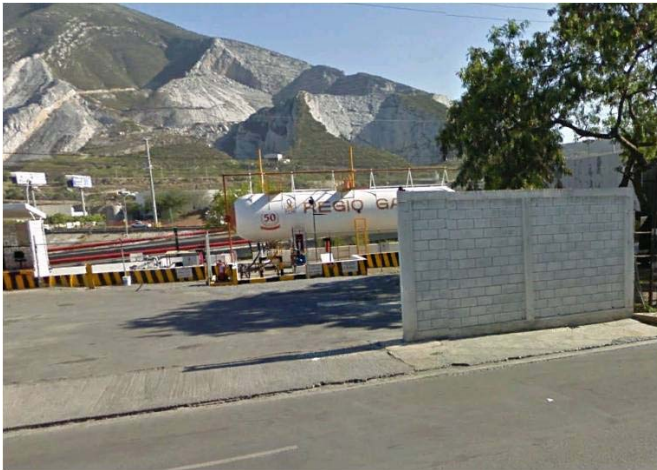
6.2. Químicos

Se refiere a los diferentes efectos que conllevan accidentes tales como derrames o fugas de sustancias peligrosas, explosiones industriales y otros fenómenos derivados de la actividad humana que pueden ser potencialmente catastróficos. En el plano No. 35 de la figura 6.2, se muestran los datos de campo recabados en los diferentes recorridos, el total de riesgos químicos detectados en el área de estudio es de 21 de los cuales 12 corresponden a gasolineras, 3 a gaseras y tortillerías, 3 ductos y 3 a industrias.

Clasificación de los riesgos químicos:

- Explosión o incendio.
- Envenenamiento.
- Manejo inadecuado de productos químicos y residuos peligrosos.
- Fugas o derrames.
- Radiaciones.

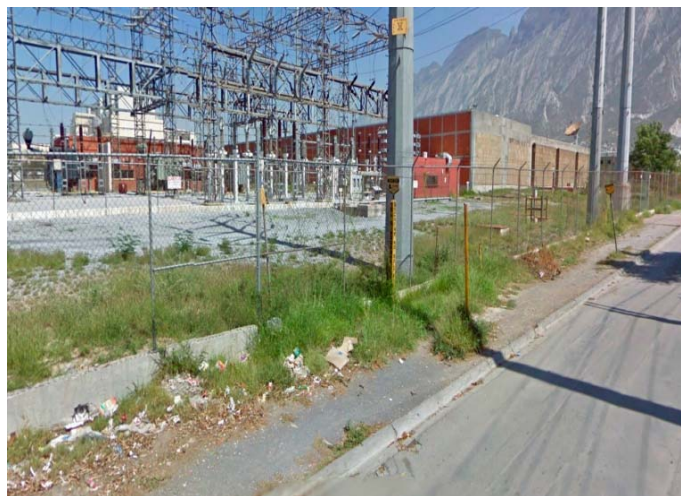
En las fotografías 6.2, 6.2a y 6.2b se muestran algunos de los riesgos químicos censados en el municipio de San Pedro Garza García.



Fotografía 6.2. Regio Gas.



Fotografía 6.2a. Gasolinera



Fotografía 6.2b. Ductos.

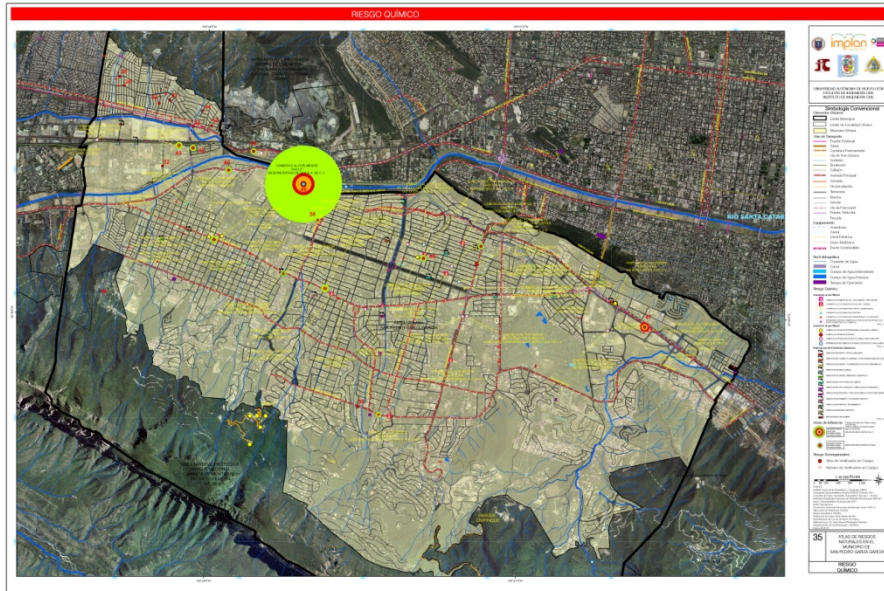


Figura 6.2. Plano de riesgos químicos.

6.3. Sanitario-ambientales

En ciencias ambientales se denominan riesgos ambientales a la posibilidad de que se produzca un daño o catástrofe en el medio ambiente debido a un fenómeno natural o una acción humana. El riesgo ambiental representa un campo particular dentro del más amplio de los riesgos, que pueden ser evaluados y prevenidos. Dentro de los riesgos antropogénicos se encuentran los denominados *sanitario ambiental* (15) que reciben su nombre por el tipo y forma de afectación hacia el ser humano, la presencia o dispersión de los factores de riesgo van dirigidos hacia la salud humana, su contaminación es de tipo *biológica-infecciosa*. Pertenecen a este tipo de riesgos los siguientes:

- Sitios contaminados.
- Sitios de disposición de residuos químico infecciosos.
- Sitios de disposición de residuos biológico- infecciosos.
- Lagunas de oxidación.
- Rellenos sanitarios.
- Pedreras.
- Basureros municipales.
- Escombreras.
- Tiraderos clandestinos.
- Tiradero de chatarra.
- Planta potabilizadora de agua.
- Planta de tratamiento de aguas residuales.
- Descarga de aguas residuales.
- Estaciones de bombeo de agua.
- Hospitales.
- Consultorio dental.
- Laboratorio de análisis clínicos.
- Tanques de almacenamiento de agua.
- Rastros.

En el siguiente diagrama de flujo se muestra el análisis secuencial, de los riesgos sanitario-ambientales y su impacto sobre el ser humano y los diferentes ecosistemas en el área correspondiente al municipio de San Pedro Garza García, N.L., figura 6.3.

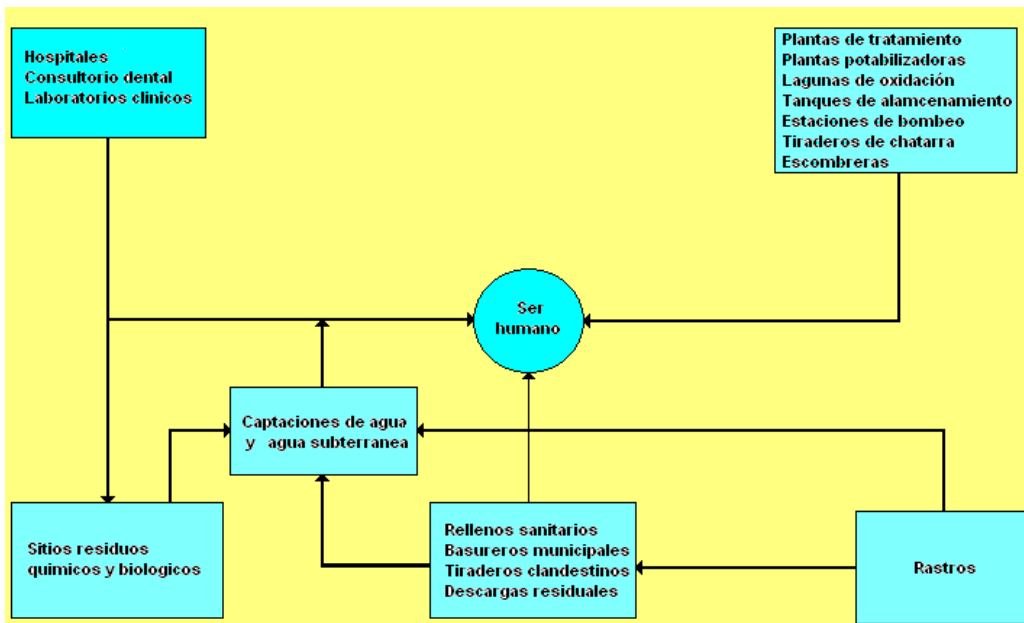


Figura 6.3. Diagrama de flujo de riesgos sanitario-ambientales.

6.3.1. Metodología

El trabajo se realizó por brigadas, el objetivo fue censar el riesgo sanitario ambiental mayor posible para cada uno de estos municipios, en cada punto, la toma de datos se hizo mediante el llenado de una ficha, además en el levantamiento se hicieron las observaciones pertinentes y un registro del punto por medio de fotografía. A cada riesgo le correspondió una ficha. Entre los datos que se obtuvieron a través de las fichas están los generales, la clave de punto, ubicación geográfica en UTM, etc. En la figura 6.3.1, se muestra un ejemplo de ficha técnica.

FORMATO RIESGOS SOCIO-ORGANIZATIVOS
ESCUELAS, ASÍLOS, ALBERGUES

Proyecto: Atlas de riesgos naturales de San Pedro Fotografía No. 001 Fecha: 07/02/2012

Brigada: Integrantes: Ing. E. Garza, Ing. A. García, Ing. M. Vargas, Ing. A. Montielongo

Clave: RSD-01 Nombre del punto: Escuela Licenciado Antonio Casa

Localidad: Col. Centro

Coordenadas UTM
X: 289872 Y: 229052

Nombre comercial: Escuela Licenciado Antonio Casa

Ubicación:
Colindancias: Parícuti Díaz, s/n.
Colonia: Centro

Características del establecimiento

Cobertura:	S/D	SI	No	Cantidad
Cuenta con equipo de primeros auxilios:	S/D	SI	No	Cantidad
Cuenta con extintores:	S/D	SI	No	Cantidad
Nº de salidas de evacuación:	S/D	Dimensión de la salida:	S/D	
Cuenta con aseos:	Cantidad	Ubicados al:		
Hacia donde es la salida:	Ratio	Calle:	X	
Fraccionamiento:	Callejón	Lote sellado	Otros comercios	
Materia de la construcción:	Piedra	Ladrillo	Bloque:	X
Estado de la construcción:	Buena:	X	Mala:	Presenta facturas
Distancia del cableado eléctrico:	Dist. Cableado Telefónico			
Existencia de elementos que puedan causar un peligro:	Asbesto	Pisos de baldosino	Otros	
Bañitos:	SI	Cantidad:	S/D	
Cuenta con brigadas de Protección Civil:	S/D	Frecuencia:		
Nº de aulas de clase:	S/D	Nº salones para otros usos:	S/D	
Dimensión de salones y aulas:	S/D			
Tipo de evento registrado (incendio, explosión, sismo):	Fecha:	S/D	Consecuencias:	S/D
Características:				
Comentarios:	El nombre del preste en el turno matutino es José C. Vivanco, en la noche se llama Escuela Secundaria Nocturna Democrática.			

Figura 6.3.1. Formato para levantamiento de datos en campo.

6.4. Socio-organizativos

El desarrollo demográfico de la ciudad se ha incrementado de manera importante dada la situación geográfica, económica, industrial y comercial. La zona metropolitana de Monterrey hoy en día se ha caracterizado como un centro de servicios, detonando de manera considerable la generación de centros de concentración masivos de personas. El total de riesgos socio organizativos en San Pedro Garza García fue de 28 de los cuales 3 corresponde a centros comerciales, teatros 1, templos 3, centros culturales 3, escuelas especializadas 3, escuelas preescolar 5, escuelas primarias 4, escuelas secundarias 2, escuelas preparatorias 3 y 1 universidad, figura 6.4.

Aunado a los desplazamientos obligados por su ubicación geográfica, cultural y social, se generan factores de riesgo, que se encuentran encuadrados dentro de la clasificación que establece el Sistema Nacional de Protección Civil, tales como:

- Concentraciones y desplazamientos masivos de personas.
- Accidentes terrestres
- Accidentes aéreos
- Interrupción en los sistemas vitales.

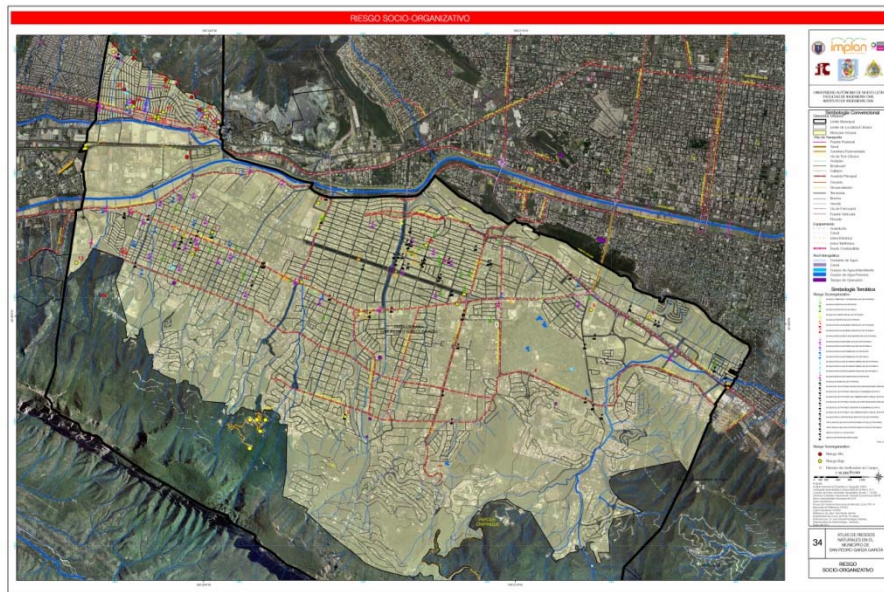


Figura 6.4. Riesgos socio organizativos.

CAPÍTULO VII. Técnicas de mitigación y remediación para la estabilización de taludes y manejo racional de escurrimientos pluviales en zonas de riesgo en diferentes sitios del municipio de San Pedro Garza García, N.L. NIVEL V.

Los resultados obtenidos en los diferentes estudios nos permitieron establecer criterios para la implementación de técnicas de remediación y mitigación en cada uno de los casos analizados.

Para la aplicación de técnicas correctivas en cada caso, fue necesario la adecuación de métodos geofísicos como: sondeos eléctricos verticales SEV, georadar con antenas de 100 y 400 MHz ; para la identificación de zonas saturadas, presencia de cavidades, fallas, fracturas, datos estructurales (echado de la capa, tipo de roca, grado de intemperismo, descripción litológica, caracterización de la misma, etc.). La conductividad hidráulica del subsuelo fue determinada mediante pruebas de permeabilidad tipo Nasberg para un manejo racional y sustentable de los escurrimientos pluviales provenientes de las techumbres los cuales fueron inducidos al subsuelo mediante la construcción de pozos de absorción.

Para el control de escurrimientos pluviales en zonas de cañadas fueron diseñadas cajas disipadoras de energía y de control de sedimentos, las cuales se muestran en los trabajos anexos en dicho capítulo.

Para la estabilización de los taludes en cada sitio, se aplicaron las técnicas adecuadas tomando en cuenta las características de las rocas de corte así como de las cuñas críticas que se pueden formar durante el perfilaje del talud; dentro de las técnicas de remediación y mitigación para estabilizar los taludes se pueden citar las siguientes: anclas (pasivas y activas), micropilotes, muros armados, de gaviones, concreto lanzado, colocación de malla triple torsión sujeta con escarpas.

Para la demolición de bloques se aplicaron técnicas de desintegración a base de productos químicos como: Pyroblast, Dexpan, Bristar, etc.

La descripción de estas técnicas, se pueden consultar en cada informe anexo. En términos generales se resumen las conclusiones y recomendaciones de cada caso en cada una de las líneas de investigación seguidas a lo largo del estudio.

7.1. ESTUDIO IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CÁRSTICAS MEDIANTE TÉCNICAS DE GEORADAR (SIR-3000) EN EL CERRO DE LA CORONA, MUNICIPIO DE SAN PEDRO GARZA GARCÍA, N. L.

Realizado por el Departamento de Geohidrología y Geofísica de la Universidad Autónoma de Nuevo León a fin de determinar e identificar zonas cársticas en el predio ubicado en el Cerro de La Corona.

En dicho informe se presenta el dictamen técnico sobre el comportamiento geológico y geofísico de los diferentes sedimentos que conforman la zona en estudio, así como las recomendaciones que se deben de implementar durante el desarrollo del proyecto.

Con base en los trabajos de geología de campo y el reconocimiento con el georadar SIR-3000 apoyado con líneas de SEV; se logró definir varias zonas con presencia de cavernas, por lo cual es necesario antes de iniciar cualquier obra civil, realizar trabajos de mecánica de rocas.

Aplicando diferentes métodos geofísicos se logró definir la presencia de cavidades a una profundidad de aproximadamente entre 8 y 10 m, las dimensiones de las cavidades oscilan entre 0.5 m - 2.00 metros.

Este reporte proporciona información muy importante para mitigar y controlar la presencia de cavidades (oquedades), mediante la aplicación de técnicas de construcción a base pilotes, la obra civil no deberá hacer contacto con el suelo, entre el suelo y los pilotes deberá haber un espacio de aproximadamente 1.00m

Los resultados del estudio resumen en términos generales las conclusiones y recomendaciones en cada uno de los puntos que integran el trabajo desarrollado; en cada una de las líneas de investigación seguidas a lo largo del estudio, las que en forma detallada se describen en el reporte técnico correspondiente.

Conclusiones

- Georadargrama No. 1. Se logró definir claramente el horizonte reflector de un paquete de calizas masivas, asociadas con la brecha sedimentaria. La zona que presenta mayor presencia de cavidades es la que se localiza hacia el oriente de la línea, la profundidad a la que se localiza la caverna está entre 8 y 10 metros. En la línea No 1 se observa muy claramente el colapso, producto de la disolución de áreas cársticas.
- El georadargrama correspondiente a la línea No. 2 en intersección con el extremo oriente con la línea No. 1 coincide con la zona de cavernas; detectadas en la conjunción de ambas, la caverna con mayores dimensiones se encuentra en el extremo norponiente, la profundidad a la que yace dicha cavidad oscila entre 7 y 8 m, las dimensiones de la caverna son de 2.00 m de diámetro.
- Georadargrama No. 3. En la parte poniente y central de la línea se presentan pequeñas cavidades de aproximadamente ½ m, de diámetro. Del georadargrama 4 se observan zonas con cavidades mayores de 2 m de diámetro; se detectaron tres zonas con cavidades mayores de 2 m, también se presenta una interdigitación de paquetes arcillosos que aceleran el proceso de disolución, y de asentamientos diferenciales; al ser barrida la arcilla por procesos de percolación y ser saturada la cavidad por aguas meteóricas, dichos flujos arrastran material arcilloso dejando el hueco, el cual, producto de la carga gravitacional del macizo rocoso hace que se colapse, así como por cambios de presión en las cavidades.
- Georadargrama No. 8. En la parte central del perfil a una profundidad de 2 metros se presenta la inyección de una estructura en forma de domo, este domo posiblemente esté asociado con la inyección de arcillas al ser presionados los extremos por la carga del macizo rocoso, esta zona se localiza en la parte media de la cañada.
- Georadargrama No. 9. El mismo fenómeno se manifiesta en la sección No. 9, esto nos demuestra que la zona responde al fenómeno descrito con claridad en la sección No 8.
- Georadargrama No. 11. Se detectó en la parte central de la sección una cavidad de enormes dimensiones, la manifestación de esta cavidad observada en la superficie de la cara norte del macizo rocoso del Cerro de La Corona se interna hacia el sur del cantil.
- El basamento conformado por lutitas se encuentra en el área a una profundidad en promedio a partir de los 11 m para la parte norte y a 20 m para la parte sur.
- Se determinó un paquete de rocas calizas en la parte sur, con un espesor de 20 m. Dentro del paquete de calizas, localizado en la parte centro sur se tienen zonas con oquedades.

Los resultados de la línea de geofísica aplicando técnicas de resistividad mediante la variante de Schlumberger se logró concluir lo siguiente:

- De esta sección se obtuvo un modelo del subsuelo con resistividades que van de los 5 ohm-m, a valores de 4000 ohm-m, a nivel superficial se presentan valores bajos de resistividad de la estación 0 a la estación 200, para continuar con valores altos hasta el final de la sección.
- El basamento se encuentra constituido por lutitas las cuales presentan valores de 40 a 150 ohm-m, que va de una profundidad de 11 a 25 m, en la parte norte de la línea de sección (Est 0 a Est 150), mientras que de la parte central al sur, el basamento se presenta a los 3 m al centro y profundiza hasta los 20 m hacia el sur.
- La parte superficial del extremo norte presenta un comportamiento de resistividades no homogéneo, con valores de resistividad que van de los 100 a 250 ohm-m, desde la superficie a una profundidad de 3 m en la parte central del la línea, hasta los 15 m en la parte norte.
- Los valores de resistividad de 150 a 200 Ohm-m superficiales, se interpretan como una brecha sedimentaria con fragmentos de calizas, con matriz arcillosa. Mientras que los valores de 800 a 1200 ohm-m se interpretan como calizas (bloques deslizados), que además presentan oquedades (resistividades > a 3000 ohm-m) a profundidad entre las estaciones 270 y 285 y entre las estaciones 340 y 345.
- El basamento rocoso para este estudio presenta valores de resistividad de 40 a 150 ohm-m y se interpretan como lutitas.

Recomendaciones

1. Al planear el tipo de la cimentación de las viviendas se recomienda tomar en consideración la existencia de posibles oquedades entre las estaciones 270 - 285 y entre las estaciones 340 - 345. Georadargrama 1, 2,3, 4, 8,9 y 11.
2. Se recomienda alejarse 50.00 m del cantil en la zona norte del macizo rocoso.
3. Confirmar la presencia de las cavidades mediante sondeos exploratorios en los sitios recomendados hasta la profundidad de 15 m con recuperación de núcleos.
4. El diámetro de la perforación se deberá realizar con corona de diamante en 3 ½ pulgadas de diámetro, es recomendable la utilización de equipo Long Year o Mobile Drill para realizar esta actividad.
5. A fin de eliminar el riesgo de deslizamiento de los bloques localizados en la parte sur del predio. Es recomendable la implementación de técnicas de demolición utilizando productos químicos "DEXPAN" sujetando los bloques con mallas triple torsión.
6. Se recomienda poner atención al cimentar entre las estaciones 200 y 210 en la zona del arroyo ya que se presenta una zona de humedad a una profundidad de 15 metros.
7. Se recomienda realizar estudios de mecánica de suelos para determinar los parámetros físicos del sustrato, especialmente en las zonas donde se hincarán los cimientos principales de la estructura, para realizar la solución de cimentación (pilotes).

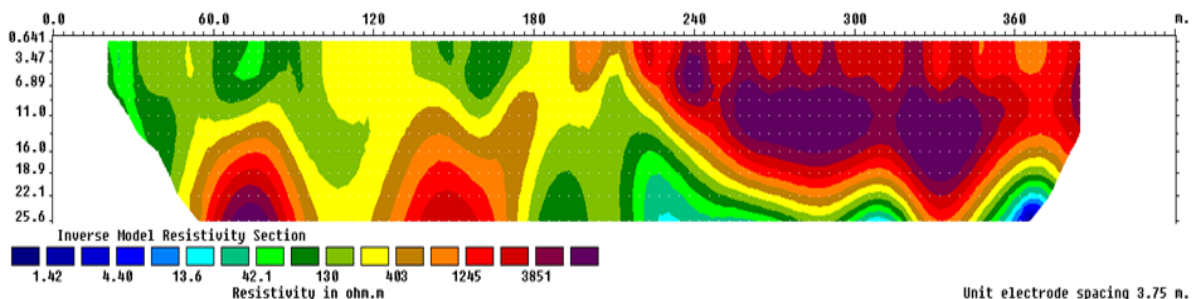


Figura 7.1. Sección de resistividad línea L1.

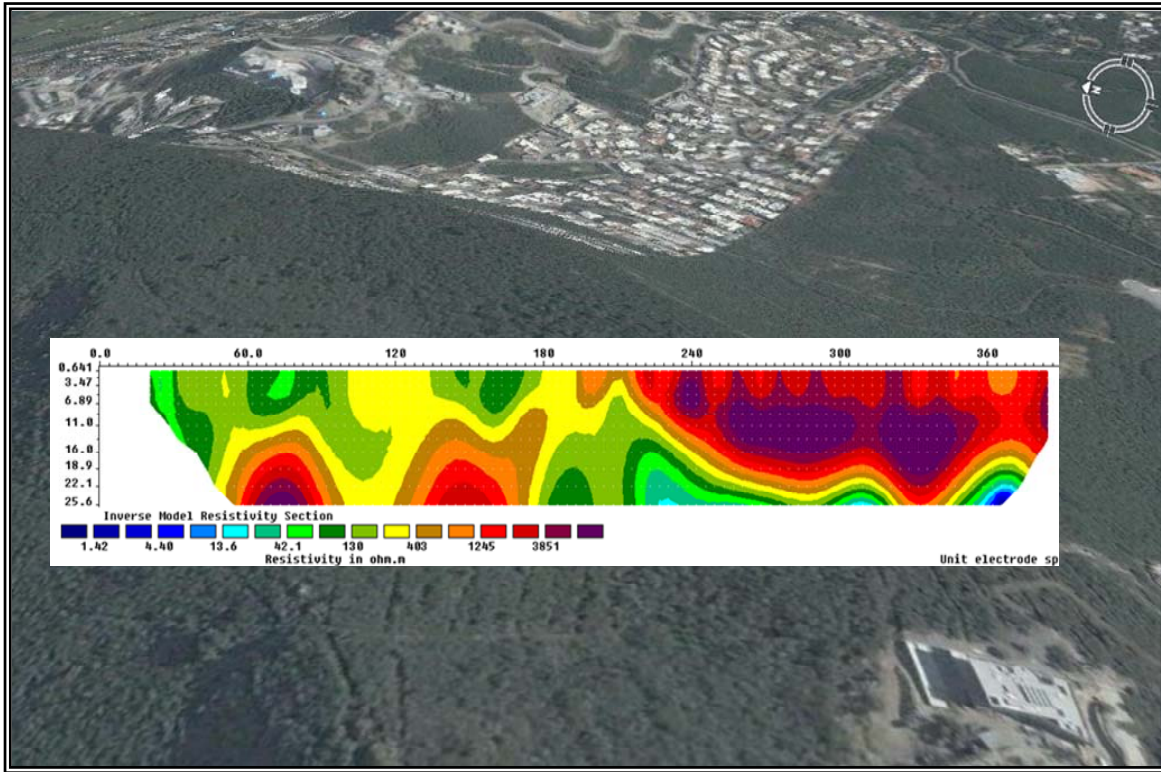


Figura 7.1a. Sección de resistividad ubicada en el área de estudio.

8. De técnicas de demolición utilizando productos químicos “DEXPAN” sujetando los bloques con mallas triple torsión.
9. Se recomienda poner atención al cimentar entre las estaciones 200 y 210 en la zona del arroyo ya que se presenta una zona de humedad a una profundidad de 15 metros.
10. Se recomienda realizar estudios de mecánica de suelos para determinar los parámetros físicos del sustrato, especialmente en las zonas donde se hincarán los cimientos principales de la estructura, para poder realizar la solución de cimentación.

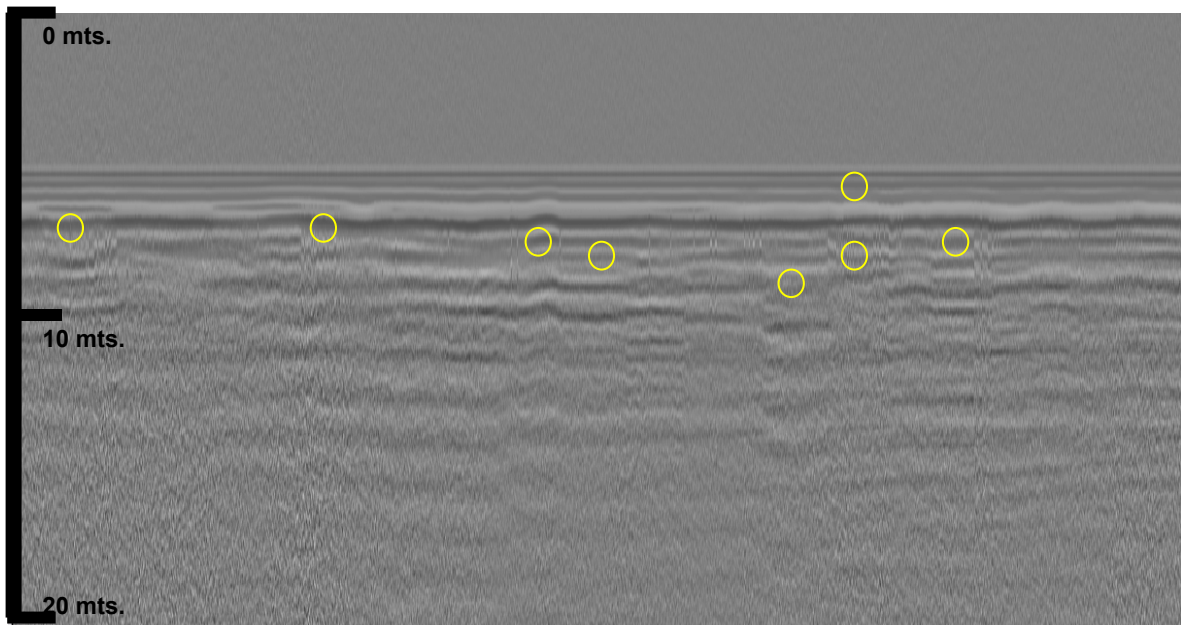


Figura 7.1b. Línea de georadar No. 1. Longitud 28 m.

La zona con mayor presencia de cavidades se localiza hacia el oriente de la línea, la caverna se localiza a una profundidad de entre 8 y 10 metros. En la línea No 1 se observa el colapso, producto de la disolución de áreas cársticas.



Fotografía 7.1. Tendido correspondiente a la línea de georadar No.1.

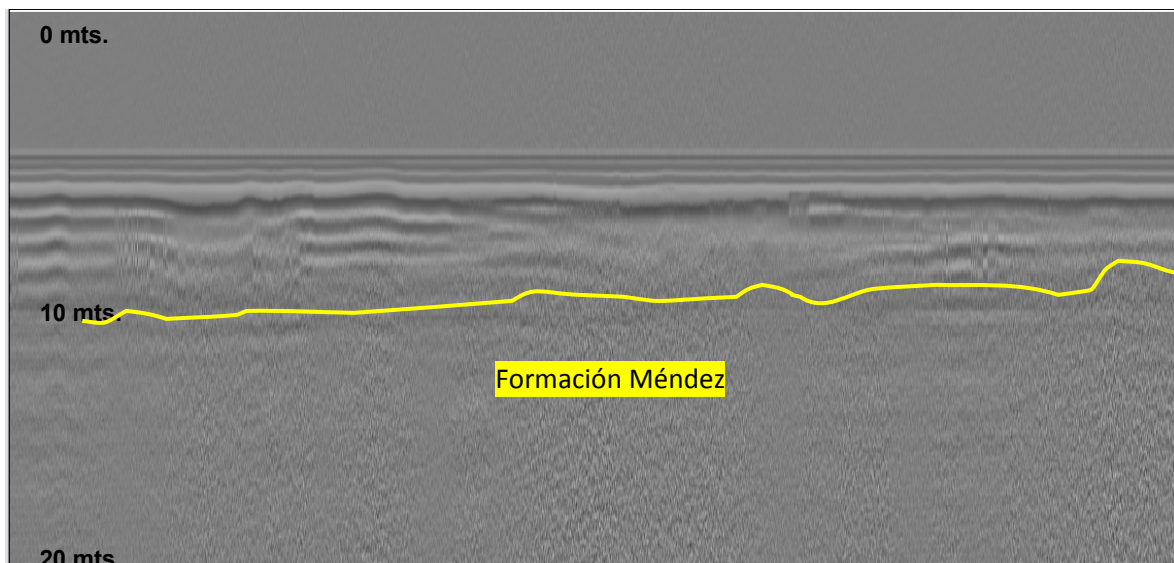


Figura 7.1c. Línea de georadar No. 2. Longitud 35 m.

El radargrama correspondiente a esta línea en la intersección del extremo oriente con la línea No 1 coincide con la zona de cavernas detectadas en la conjunción de ambas; la caverna con mayores dimensiones se encuentra en el extremo norponiente, profundidad a la que yace dicha cavidad oscila entre 7 y 8 m El diámetro de la caverna es de 2 m, hacia su parte oriental se detectaron otras cavidades de menores dimensiones con profundidad que van desde 7 – 8 m, Su geometría está muy bien definida, a la profundidad de 10 m se observa el horizonte reflector de la formación Méndez. El espesor estimado de la brecha sedimentaria en el área correspondiente a la línea No 2 es de aproximadamente 10 m.



Fotografía 7.1a. Localización de la línea de georadar No. 2.

En la parte poniente y central de la línea se presentan pequeñas cavidades de aproximadamente $\frac{1}{2}$ m, de diámetro. En esta línea se logró definir una zona de colapso, dicho colapso se encuentra estrechamente vinculado con zonas de fracturamiento.

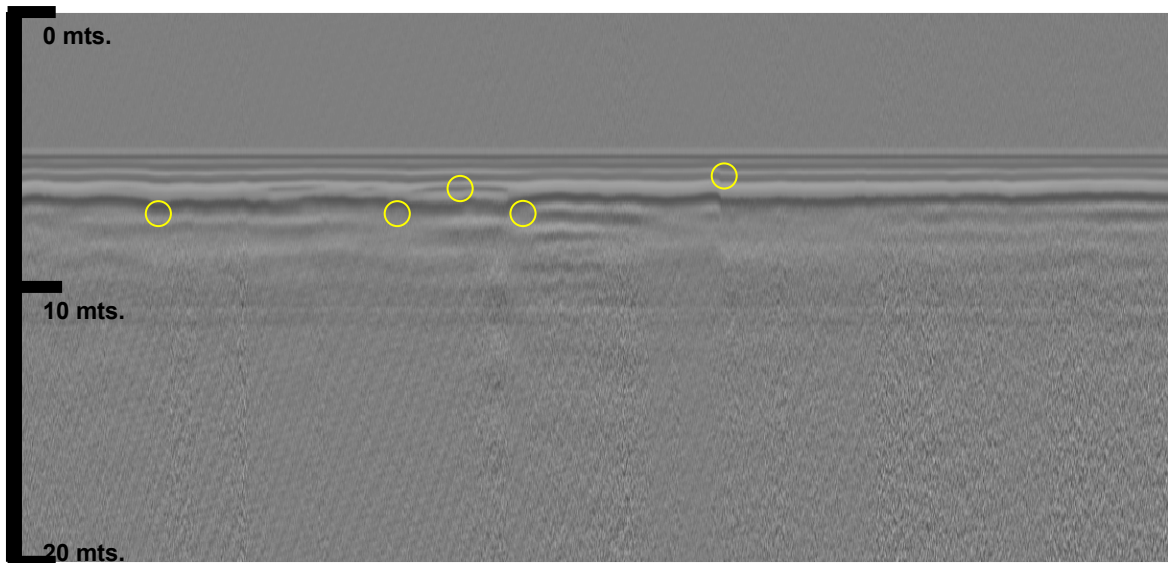


Figura 7.1d. Línea de georadar No. 3. Longitud 74.80 m.



Fotografía 7.1b. Localización de la línea de georadar No. 3.

Georadargrama No.11

Es la parte central de la sección se presenta una cavidad de enormes dimensiones, la manifestación de esta cavidad observada en la superficie en la cara norte del macizo rocoso del Cerro de la Corona se interna hacia el sur del cantil.

Por lo tanto se recomienda alejarse unos 50.00 m, del cantil, para confirmar la continuidad de la cavidad es recomendable realizar un sondeo hasta la profundidad de 20 m con recuperación de núcleos. El diámetro de la perforación se deberá realizar con corona de diamante en 3 ½ pulgadas de diámetro, es recomendable para realizar esta actividad la utilización de equipo Long Year 32 ó 34 o Mobile Drill.

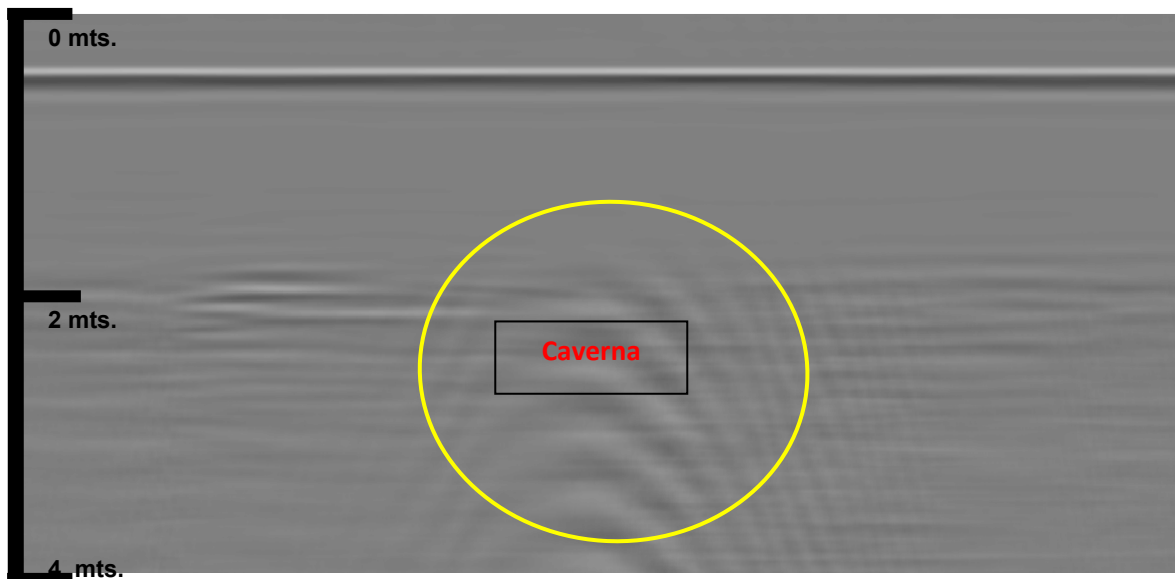


Figura 7.1e. Línea de georadar No. 11A. Longitud 12.80 m.

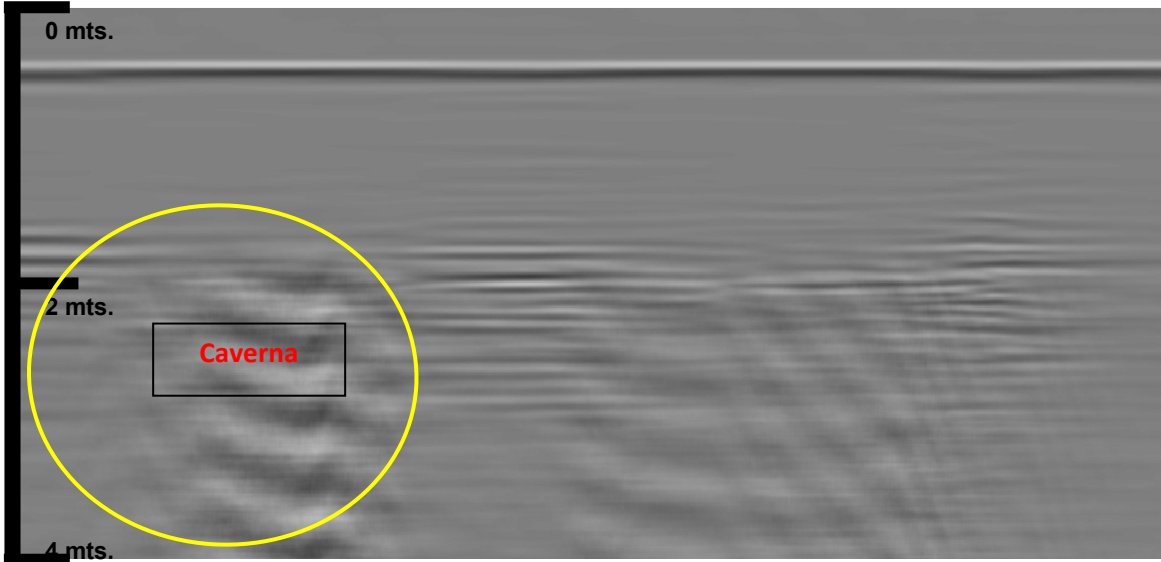


Figura 7.1f. Línea de georadar No. 11 B. Longitud 12.05m.



Fotografías 7.1c. Imágenes correspondientes a la línea 11 (11A 11B).

7.2. EVALUACIÓN DE RIESGO GEOLÓGICO COMO MEDIDA PREVENTIVA EN EL COMPLEJO DE EDIFICIOS LA DIANA, DESPUÉS DE LOS EFECTOS DEJADOS POR LA DEPRESIÓN TROPICAL ÁLEX, JUNIO 30 Y 1,2 DE JULIO DEL 2010



Resumen

A partir del análisis geológico de la información de campo y procesada en gabinete, se generó este documento, el cual es un instrumento que permita a la empresa **Asociación de Condominios La Diana A. C. San Pedro Garza García, N.L.**, **la implementación de técnicas preventivas para tranquilizar y dar seguridad a los condóminos** de dicho complejo habitacional; mediante la aplicación de medidas correctivas para mitigar y remediar cualquier eventualidad que se llegase a presentar ante un evento de las dimensiones de lo que ocurrió en los meses de junio y julio del 2010. De lo expuesto anteriormente se concluye lo siguiente:

A) El área investigada pertenece a la parte central del Anticlinal La Loma Larga, la Formación San Felipe es parte de la armazón rocosa que forman el Anticlinal Loma Larga y demás montañas de la Sierra Madre Oriental.

B) La Formación San Felipe en el área de estudio, está conformada por una secuencia alternante de margas calcáreas de color gris oscuro en espesores de 0.40 m con intercalaciones de capas delgadas de lutitas calcáreas de color marrón, en la parte media de la sección se observa claramente el lente de arcillas glauconíticas de color verde pistache en espesores de 5-10 cm.

C) En las excavaciones realizadas en la parte oriental de la estructura de la Loma Larga, se pudo constatar que el macizo rocoso presenta buena estabilidad a profundidad, **por lo que es remota la probabilidad de que la falla La Diana se active.**

A continuación se describen las recomendaciones que se deben de tomar en cuenta para mitigar cualquier eventualidad de carácter natural o antrópico con el propósito de encontrar un desarrollo armónico con el medio ambiente y su entorno.

- Se recomienda realizar un monitoreo en el área de la alberca, pues las posibles fugas de agua en ésta, como en la red de drenaje sanitario pueden ser el detonante que sature la zona de debilidad y provoque el deslizamiento del talud norte sobre la avenida San Francisco.
- Es importante realizar análisis por cloro residual en zonas donde se detecte la presencia de flujos, en forma programada, de esta manera identificar el origen del agua en el sitio monitoreado.
- El talud localizado sobre la avenida San Francisco, presenta bloques inestables en riesgo de deslizarse ante un evento meteorológico como el ocurrido en el mes de junio y julio del 2010 (Depresión tropical Álex).
- Es necesario construir una contracuneta en la parte de la corona del talud a fin de manejar de forma correcta los escurrimientos pluviales y evitar la infiltración a través de los planos de fracturas o exfoliación.
- Eliminar aquellos bloques que presentan riesgo de desprendimiento.
- Proteger la cara Sur oriente del talud, sobre la calle Gómez Morín mediante la colocación de una malla triple torsión sujeta con escarpas.

Resultados y discusiones

Los trabajos realizados en campo en el área correspondiente al complejo de edificios la Diana, fueron encauzados a determinar si los eventos meteorológicos del 30 de junio, 1 y 2 de julio del 2010 provocados por la depresión tropical Álex; afectaron el sistema de fallas existentes sobre la avenida San Francisco saturando el medio arcilloso y su posible impacto sobre la estructura de los edificios La Diana.

El área investigada pertenece a la parte central del Anticlinal La Loma Larga, la Formación San Felipe es parte de la armazón rocosa que forman el Anticlinal Loma Larga y demás montañas de la Sierra Madre Oriental. Esta formación de edad Cretácico superior de 70 millones de años aproximadamente se hace presente en el área de estudio, está conformada por una secuencia alternante de margas calcáreas de color gris oscuro en espesores de 0.40m con intercalaciones de capas delgadas de lutitas calcáreas de color marrón, en la parte media de la sección se observa claramente el lente de arcillas glauconíticas de color verde pistache en espesores de 5-10 cm. En la base del macizo rocoso se observan capas de calizas arcillosas de color gris oscuro, en espesores de 0.60 m. Este afloramiento se localiza en la parte posterior del complejo de edificios La Diana. Este es un argumento por lo cual **podemos certificar que son remotas las posibilidades de que el sistema de fallas pliegue se active a futuro.**

Para poder definir el comportamiento del sistema de fallas pliegue presentes en el sitio de estudio, fue necesario la elaboración del siguiente material cartográfico: Plano geológico estructural del sitio, Plano de modelo digital de elevación, ambos planos se elaboraron en escala 1:1500 en cada uno de ellos, se representan los datos recabados en campo, traza de fallas y fracturas existentes en superficie, lográndose determinar que las estructuras correspondientes al complejo de edificios La Diana se encuentran dentro del sistema de pliegues de propagación de falla.

De acuerdo a lo observado en las excavaciones realizadas en la parte oriental de la estructura de la Loma Larga, se pudo constatar que el macizo rocoso presenta buena estabilidad a profundidad, **por lo que son remotas las probabilidades de que la falla La Diana se active.**

En el plano estructural se muestran los diferentes sistemas de fallas y fracturas detectadas en el área de estudio, se logró constatar que el sistema de pliegues propagación de falla se ubican por debajo del complejo de edificios la Diana, este mismo aspecto se muestra en el plano 2 de altimetría en 3 D en cada una de las secciones se logró determinar la dirección del sistema de fallas.

Conclusiones

A partir del análisis geológico de la información de campo y procesada en gabinete, se generó este documento, el cual es un instrumento que permita a la empresa **Asociación de Condominios La Diana A. C. San Pedro Garza García, N.L.**, la implementación de técnicas preventivas para tranquilizar y dar seguridad a los condominios de dicho complejo habitacional; mediante la aplicación de medidas correctivas para mitigar y remediar cualquier eventualidad que se llegase a presentar ante un evento de las dimensiones de lo que ocurrió en los meses de junio y julio del 2010. De lo expuesto anteriormente se concluye lo siguiente:

A) El área investigada pertenece a la parte central del Anticlinal La Loma Larga, la Formación San Felipe es parte de la armazón rocosa que forman el Anticlinal Loma Larga y demás montañas de la Sierra Madre Oriental.

B) La Formación San Felipe en el área de estudio, está conformada por una secuencia alternante de margas calcáreas de color gris oscuro en espesores de 0.40m con intercalaciones de capas delgadas de lutitas calcáreas de color marrón, en la parte media de la sección se observa claramente el lente de arcillas glauconíticas de color verde pistache en espesores de 5-10 cm.

C) En las excavaciones realizadas en la parte oriental de la estructura de la Loma Larga, se pudo constatar que el macizo rocoso presenta buena estabilidad a profundidad, **por lo que son remotas las probabilidades de que la falla La Diana se active.**

Recomendaciones

- Para ello se recomienda realizar un monitoreo en el área de la alberca, pues las posibles fugas de agua en ésta, como en la red de drenaje sanitario pueden ser el detonante que sature la zona de debilidad y provoque el deslizamiento del talud norte sobre la avenida San Francisco.
- El talud localizado sobre la avenida San Francisco, presenta bloques inestables en riesgo de deslizarse ante un evento meteorológico como el ocurrido en el mes de junio y julio del 2010 (Depresión tropical Álex).
- Es necesario construir una contra cuneta en la parte de la corona del talud a fin de manejar de forma correcta los escurrimientos pluviales y evitar la infiltración a través de los planos de fracturas o exfoliación.
- Es necesario eliminar aquellos bloques que presentan riesgo de desprendimiento.
- Proteger la cara Sur oriente del talud, sobre la calle Gómez Morín mediante la colocación de una malla triple torsión sujeta con escarpas.

7.3. ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO Y APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN Y MITIGACIÓN PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL TALUD EN EL EDIFICIO SANTA FE II EN EL FLANCO NORORIENTAL DEL ANTICLINAL LOMA LARGA, COL. LOS DOCTORES, MUNICIPIO DE MONTERREY- SAN PEDRO GARZA GARCÍA, N.L.

Resumen

En el estudio se analizan las causas que detonaron el deslizamiento del talud y la aplicación de técnicas preventivas a tomar a fin de mitigar, prevenir y controlar los riesgos geológicos en la Colonia Los Doctores, Edificios Santa Fe I y II en la cara norte de la Loma Larga, en el municipio de Monterrey, N. L. Las lluvias que azotaron la ciudad de Monterrey los días 24 y 25 de septiembre del 2010 fueron el detonante que provocó el deslizamiento del talud, en el área correspondiente al edificio Santa Fe I; saturando el macizo rocoso correspondiente a la Formación San Felipe; la cual por su contenido arcilloso facilitó el deslizamiento actuando como un jabón sobre el cual se deslizaron los bloques, este fenómeno se puede observar claramente en los caídos.

Se evaluaron las características geológicas, geomorfológicas, estructurales, litológicas del macizo rocoso de la Loma Larga, donde se construyeron los edificios Santa Fe I y II; dicho macizo presenta un escarpe activo producto de la acción antropogénica realizada en los diferentes cortes en rocas estratificadas correspondientes a la Formación San Felipe. Los resultados de los estereogramas, establecen que el principal proceso de inestabilidad corresponde al deslizamiento de bloque a lo largo de la familia de fracturas, estos dos procesos son lentos, estos movimientos se aceleran en época de lluvia o con la presencia de aguas domésticas en condiciones secas.

El nivel de riesgo detectado en el Edificio Santa Fe II fue clasificado como moderado controlable. Las técnicas de remediación para la estabilización del talud serán a base de anclas activas, en el área de estacionamiento del edificio Santa Fe II. Se proponen dos hileras de anclas, a continuación se describen las características técnicas que deben de llenar el sistema de anclaje recomendado.

- Estabilizar el talud mediante anclas activo (3 torones de 5/8 Ø por barreno), tensadas a 40 ton/m².
- Total de anclas recomendadas 18.
- Se recomienda la colocación de dos hileras de anclas con una longitud de 12m la primera y de 9.0 m la segunda.
- La longitud del bulbo para las anclas de 12m será de 4m, mientras que para las de 9m, de 3m.
- El espaciamiento entre anclas será de 4 m.
- Diseño de drenes, longitud de los drenes 6.00m , Ø 2".
- Es recomendable colocar malla de triple torsión en lugar de concreto lanzado y sobre de ella colocar plantas nativas de la región -por ejemplo monedita- como una técnica para controlar la erosión.

Resultados y discusiones

Debido al crecimiento de la población se incremento la necesidad de vivienda, así como también, el carecer de un plan rector de planificación urbana, la población de nuestra ciudad, se ve obligada a asentarse en zonas de eminente riesgo, como es el caso de los fraccionamientos construidos, en las partes altas y en las faldas del Cerro de la Loma Larga, en donde los asentamientos humanos han proliferado cada vez más a las partes altas de dicha estructura, hasta llegar a estar a la sombra de un gran escarpe de roca activa, la cual fue alterada en sus condiciones físicas, por el hombre años atrás. Esto conlleva por supuesto que no se considera el riesgo geológico que esto representa hasta que ocurre un desastre. El concepto riesgo se define como el potencial de perder vidas humanas o algún bien material con sus repercusiones sociales, estructurales y económicas. (CENAPRED., 1996)

En la colonia Los Doctores, los edificios Santa Fe I y II que fueron construidos en el 2003 no se tomaron en cuenta una serie de factores geológicos y estructurales a raíz de las lluvias relacionadas con la depresión tropical Álex así como las lluvias que cayeron a finales del mes de septiembre fueron el detonante que provocó el deslizamiento del talud en la zona de estacionamiento propiedad del Edificio Santa Fe I la caída de algunos bloques causaron daños en vehículos que estaban estacionados debajo del talud. Además del riesgo ya conocido, también se debe prestar atención a otros factores como son: erosión, disolución, deslizamientos y desprendimientos de ladera, coladas de tierra y escombros, aterramientos y hundimientos.

Estos y otros fenómenos son desencadenados por el hombre al interferir en la naturaleza y modificar el entorno sin tomar las precauciones adecuadas para prevenir, mitigar y controlar los riesgos. Las modificaciones antrópicas son el factor determinante para el tipo de riesgo geológico presente en el área de estudio, ya que en función de las direcciones y ángulos de los cortes en los taludes determinan el proceso actuante para este sitio, siendo el factor desencadenante del proceso geológico de fallamiento el agua, ya sea natural o doméstica.

Conclusiones

A partir del análisis geológico estructural y geotécnico se logró concluir lo siguiente:

En lo que corresponde al edificio Santa Fe II, éste difiere un poco de Santa Fe I debido a que en el primero el talud no se vio afectado durante las precipitaciones de la depresión tropical Álex. Sin embargo esto no significa que en otra eventualidad tengamos la tranquilidad de su estabilidad; aunque es cierto que existen diferencias significativas tales como:

- ❖ Sistema de anclaje pasivo muy raquítico.
- ❖ Menor altura del talud.
- ❖ Carece de drenes.

Recomendaciones

Las técnicas recomendadas para controlar el riesgo de deslizamiento de los taludes en el flanco Norte de la Loma Larga son las siguientes:

1. Estabilizar el talud mediante anclas activas (3 torones de 5/8 Ø por barreno), tensadas a 40 ton/m².
2. Se recomienda la colocación de dos hileras de anclas con una longitud de 12m la primera y de 9.0 m la segunda.
3. La longitud del bulbo para las anclas de 12m será de 4m, mientras que para las de 9m, de 3m
4. Total de anclas recomendadas 18
5. Diseño de drenes, longitud de los drenes 6.00 m, Ø 2"
6. Es recomendable colocar malla triple torsión en lugar de concreto lanzado y sobre de ella colocar plantas nativas de la región como una técnica para controlar la erosión (monedita).

ANTECEDENTES

Daños generados por deslizamiento del talud en edificio Santa Fe I, después de las lluvias torrenciales que azotaron la ciudad de Monterrey y su área metropolitana los días 24 y 25 de Septiembre del 2010, vehículos dañados por el desprendimiento del talud.



Fotografías 7.3. Daños por deslizamiento de talud en el edificio Santa Fe I.

TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN MEDIANTE LA COLOCACIÓN DE MICRO PILOTES

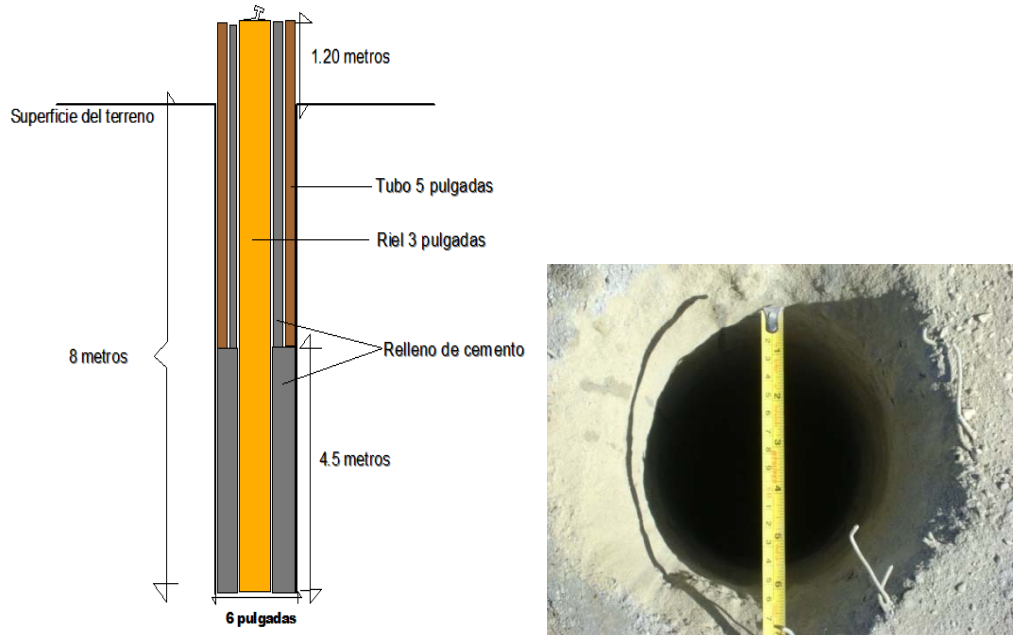


Figura 7.3a. Colocación de micro pilotes sobre la Avenida San Francisco.

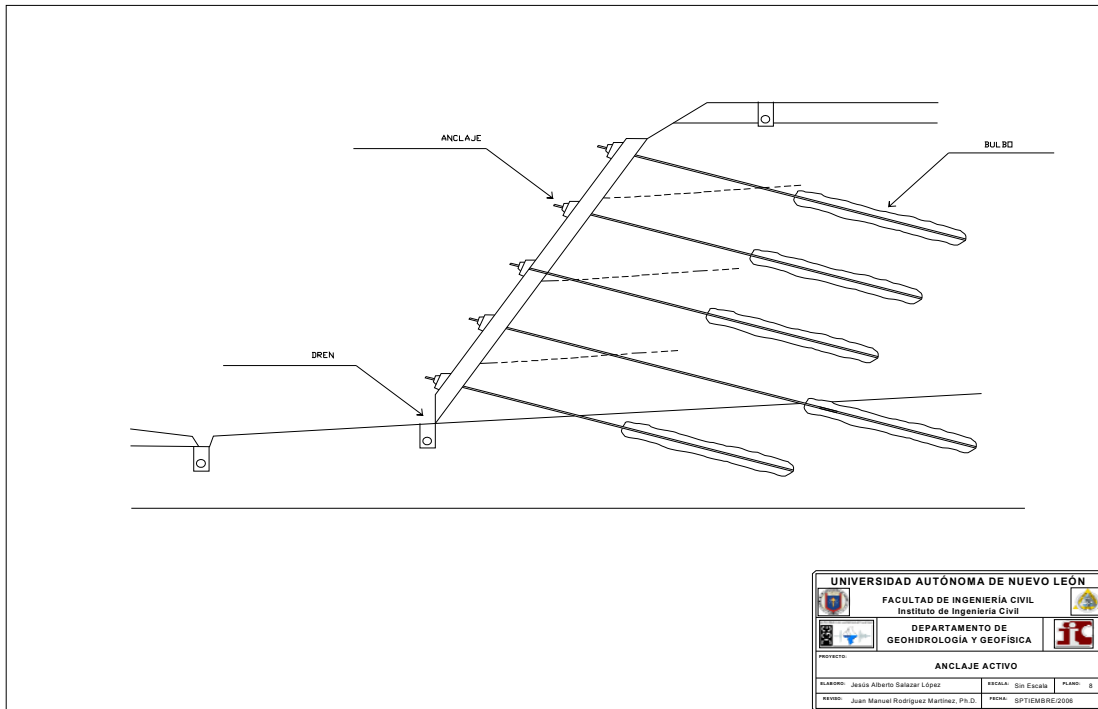


Figura 7.3b. Estabilización del talud mediante anclaje activo. Proyecto Santa Fe I.



Fotografía 7.3a. Trabajos de perforación para la colocación de las anclas propuestas.



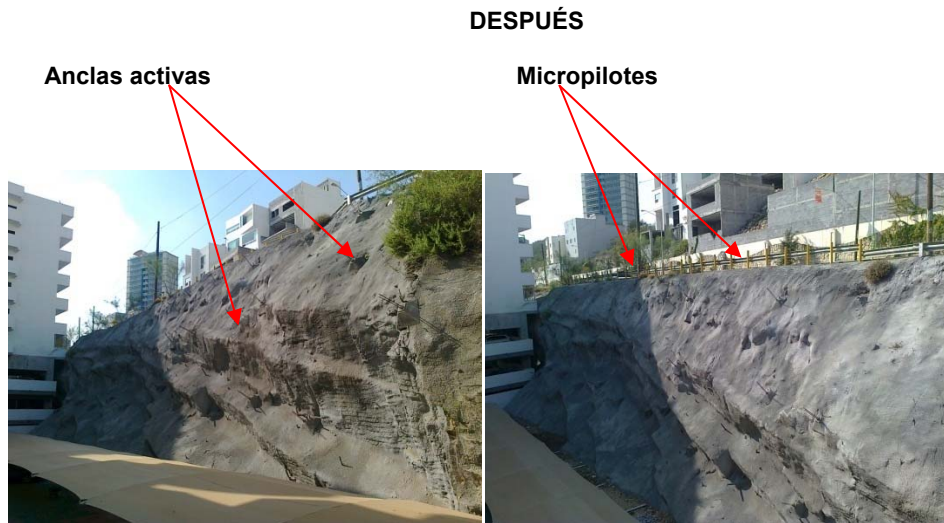
Fotografías 7.3b. Se muestran los daños materiales ocasionados por el deslizamiento del talud, en el flanco norte del Anticlinal Loma Larga (24/09/2010). Edificio Santa Fe I.

Conclusiones

- La Secretaría de Desarrollo Urbano del Estado, deberá aplicar los reglamentos que establece el Atlas de Riesgos Naturales en los nuevos proyectos de construcción.
- Toda obra de construcción que se realice en zona de montaña o de ladera, deberá ser soportada por un estudio de riesgo geológico con sus respectivas técnicas de remediación y mitigación.
- Todo nuevo proyecto de construcción que se realice en zona de riesgo, deberá ser acompañado por los siguientes estudios: riesgo geológico, hidráulica, vialidad y de impacto ambiental, posteriormente será evaluado por un comité de peritos, antes de dar el permiso de construcción.
- Las autoridades relacionadas con los planes de desarrollo urbano, deberán de velar por la integridad física y patrimonial de sus ciudadanos.

ANTES





Fotografías 7.3c. Vista del edificio Santa Fe I, antes y después del siniestro septiembre 24 de 2010.

7.4 ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO EN EL FRACCIONAMIENTO JOYA DEL VENADO, MUNICIPIO DE SAN PEDRO GARZA GARCÍA, N. L.

Localización

El área de estudio correspondiente al proyecto ocupa una superficie aproximada de 5086.668 m² (Fig. 1). Se localiza al sur de la entrada hacia el fraccionamiento La Joya del Venado.



Figura 7.4. Localización del área de estudio.

Tectónica y geodinámica

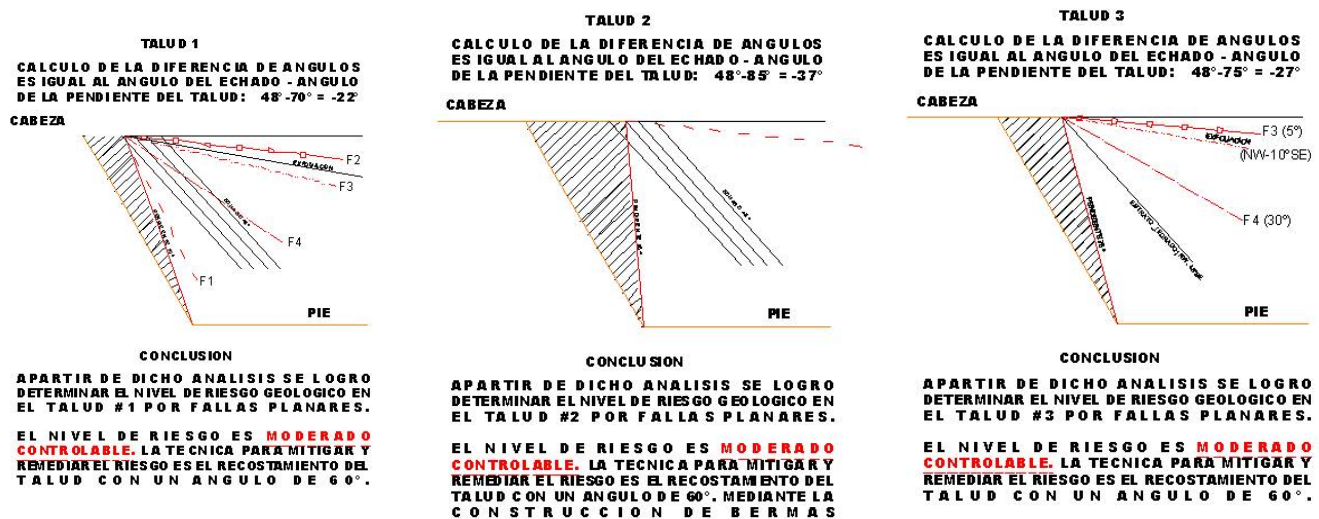
El Cerro de la Corona es parte del sistema montañoso Sierra Madre Oriental y se encuentra ubicado dentro de la región donde la orientación de este sistema se flexiona E-W al cual a esta flexión se le llama como "Curvatura de Monterrey". Figura 2. La forma arqueada de los pliegues fue generada durante la Orogenia Laramide, cuando las rocas del Mesozoico se deslizaron hacia el noreste sobre evaporitas y lutitas del Mesozoico Inferior que fueron plegadas y cabalgadas, contra estructuras rocosas de origen ígneo intrusivo que sirvieron como puntales al impedir el desplazamiento de las rocas carbonatadas hacia el noreste, estos puntales o horst son la isla de Coahuila, la isla de San Carlos y la isla de Tamaulipas, llamadas así por que en tiempos geológicos fueron tierras emergidas; el empuje produjo una vergencia general hacia el N y hacia el NE. Anticlinales ubicados en la parte norte de la curvatura son: Las Mitras, Loma Larga, Los Muertos, Los Nuncios, Las Comitas entre otros, para la parte noreste el anticlinal de La Silla y La Cabalgadura Frontal que corre desde Monterrey hasta Linares . Figura 3.

Análisis estructural de taludes en el sitio investigado

El comportamiento estructural analizado en la zona de estudio, nos muestra el tren de esfuerzos compresivos provenientes del Norte; los que plegaron la Sierra Madre Oriental, el patrón de fracturas medidas en campo en el Talud 1 posee un rumbo preferencial NW-SE, este mismo patrón se presenta en el Talud 2 y 3. En las figuras 7,8 y 9, se describe en forma detallada cada uno de los datos recabados en campo. Al realizar la evaluación sobre la estabilidad de cada talud mediante la diferencia de ángulos, se logró definir que para el Talud 1, dicha diferencia nos reporta un ángulo negativo lo que establece que la resultante del echado de la capa o del estrato con la pendiente del talud nos arroja el siguiente valor: echado de la capa es equivalente a 48° el ángulo del talud es de 70° la diferencia nos da un ángulo de 22° . La diferencia de ángulos nos permitió determinar la inestabilidad del talud por fallas planares, para subsanar el problema detectado; se recomendó recostar el talud con un ángulo de 60° estos nos permite mitigar el deslizamiento y a la vez reducir la carga por gravedad, esto nos permite la estabilización del mismo. Figuras 5, 6.

El comportamiento estructural del Talud II, después del análisis a partir de la diferencia de ángulos: echado de la capa y la pendiente del talud nos permitió establece lo siguiente: ángulo de la capa 48° - ángulo de la pendiente del talud 85° es igual a -37° . La diferencia de ángulos nos permitió determinar la inestabilidad del talud por fallas planares, para subsanar el problema detectado se recomendó recostar el talud con un ángulo de 60° estos nos permite mitigar el deslizamiento y a la vez reducir la carga por gravedad del mismo, la aplicación de dicha técnica nos ayuda a la estabilización de los taludes en el predio, propiedad del ingeniero Raúl Elizondo.

El comportamiento estructural del Talud III, después del análisis a partir de la diferencia de ángulos: echado de la capa y la pendiente del talud nos permitió establecer lo siguiente: ángulo de la capa 48° - ángulo de la pendiente del talud es de 85° . En las figuras 7.4a, 7.4b y 7.4c se muestra el análisis correspondiente a cada uno de los taludes, presentes en el predio del ingeniero Elizondo, también de igual manera en los planos 1 y 2 se observar la localización del predio, así como: las técnicas recomendadas para estabilizar los taludes, en la margen derecha del Plano 2 se muestra cada talud y la recomendación técnica para cada caso; para ello es necesario perfilar los taludes, en las figuras anteriormente citadas se muestra en forma gráfica el echado de la capa y la pendiente del talud. Para la realización del perfilaje y recostamiento del talud se recomienda hacerlo de forma manual, con martillo neumático y un cargador frontal tipo BobCat.



Figuras 7.4a, 7.4b y 7.4c. Análisis estructural de los taludes I, II y III.

Conclusiones

A partir del análisis geológico, estructural, cartográfico y la depuración de información recabada en campo, se logró establecer lo siguiente:

- La unidad litológica presente en sitio, corresponde a la Formación Méndez del Cretácico Superior.
- La Formación Méndez está constituida por lutitas de color gris verdosa, al intemperizarse, se fragmenta en forma de almendra de ahí el término que utiliza el vulgo de almendrilla.
- El comportamiento estructural analizado en la zona de estudio, nos muestra el tren de esfuerzos compresivos provenientes del Norte; los que plegaron la Sierra Madre Oriental.
- El patrón de fracturas medidas en campo en los taludes posee un rumbo preferencial NW-SE.
- EL cálculo de la diferencia de ángulos se realizó tomando en cuenta el ángulo del echado de la capa menos el ángulo de la pendiente del talud.
- Mediante la evaluación de la diferencia de ángulos, se logró establecer el nivel de riesgo, el cual fue clasificado como ***moderado controlable***.

Recomendaciones.

1. Para estabilizar cada taludes a partir del análisis de diferencia de ángulos se recomienda recostar el talud con un ángulo de 60° estos nos permite mitigar el deslizamiento y a la vez reducir la carga por gravedad del mismo, lo cual nos ayuda a la estabilización del mismo.
2. Para la realización del perfilaje y recostamiento del talud se recomienda hacerlo de forma manual, con martillo neumático y un cargador frontal tipo BobCat.

7.4.1 Memoria de cálculo para determinar la carga en el diseño de anclas para estabilizar el talud en la Joya El Venado, municipio de San Pedro Garza García, N.L.

Introducción

El objetivo de esta propuesta es presentar el procedimiento de diseño para el anclaje en los diferentes cortes a realizar en el nuevo proyecto de desarrollo en el predio del Ingeniero Raúl Elizondo en La Joya del Venado, municipio de San Pedro Garza García, N. L.

El mecanismo básico de un anclaje consiste en transferir las fuerzas de tracción que se generan en las inclusiones hacia el suelo o la roca a través de la resistencia movilizada en la interfase entre el anclaje y el material que le rodea (bulbo), de esta manera un sistema de anclas en una estructura permite aumentar la seguridad contra el tiro vertical, el vuelco o el desplazamiento a lo largo de la superficie de falla. El análisis más común que se utiliza en un sistema de anclas para un talud se basa en dos métodos:

- Método de la teoría de la elasticidad.
- Método empírico basado en reglas sobre esfuerzos triaxiales.

Análisis por tensión de anclas

El diseño sobre el análisis de un sistema de anclaje incluye los siguientes parámetros:

- Profundidad
- Espaciamiento
- Diámetro del ancla
- Carga del ancla

Carga del ancla: la carga postensada de las anclas es determinada para evaluar el coeficiente de seguridad requerido por la estructura. El procedimiento para determinar la fuerza necesaria requerida en el ancla se puede consultar en la Norma **EM-1110-1-2908. 30. Nov.1994.**

Profundidad: la profundidad del ancla depende del tipo de roca. La profundidad esta en relación con la longitud de la misma. La profundidad de las anclas fue determinada aplicando la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{\frac{(Fs)(F)}{C\gamma}}$$

Donde:

D = profundidad requerida por el ancla.

Fs = factor de seguridad.

C = grado de cohesión del cuerpo rocoso.

F = fuerza requerida del ancla para estabilizar.

γ = densidad del material en ton/m³

Cálculo de la carga de las anclas:

$$D = \frac{(F_s) (F)}{\gamma l_s}$$

γl_s

$$F = \frac{D \gamma l_s}{F_s} = \frac{(12) (1.8) (1.5)}{3.27} = 9.90 \text{ ton/m}^2 \text{ (por torón)} \times 3 = 27.72 \text{ ton/m}^2$$

Fs 3.27

Aplicando el método de Taylor, se determinó el coeficiente de seguridad de un talud de 12 m de altura con una inclinación de 50°, ángulo de la cuña crítica de 40° en un terreno, con una cohesión de 7 ton/m² y un $\gamma=1.8 \text{ ton/m}^3$. La carga y la cohesión del material fueron calculadas mediante análisis de núcleos de barrenos perforados en el mismo tipo de roca, dichas pruebas fueron realizadas en el laboratorio de mecánica de rocas del Instituto de Ingeniería Civil de la UANL., Formación Méndez.

El coeficiente de seguridad determinado para la zona del predio Joya del Venado se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$N_c = \frac{c^*}{\gamma H} = \frac{C/F_s}{(1.8) (12)} = \frac{7/3.27}{(1.8) (12)} = \frac{2.14}{21.6} = 0.09$$

El punto mediante el diagrama de Taylor queda en la zona "A", el círculo crítico de pie queda por debajo del talud. 20° si se introduce en el ábaco de Taylor, este valor y el ángulo del talud que es de 50° se obtiene un ángulo de rozamiento para el equilibrio límite de ϕ^* 20° .

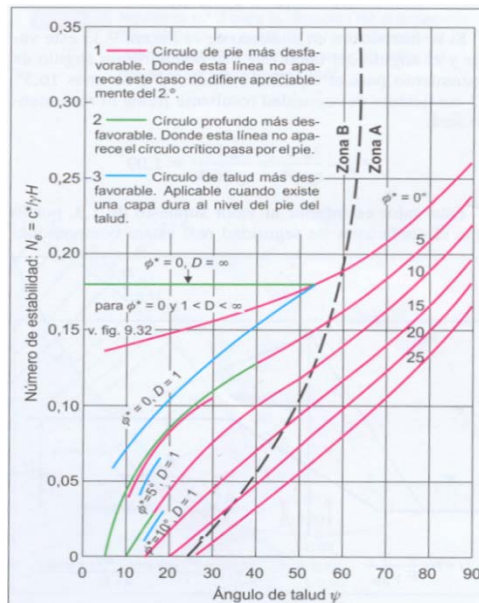


Figura 7.4d. Diagrama de Taylor para determinar el ángulo del talud a estabilizar.

El coeficiente de seguridad resultante:

$$F\emptyset = \frac{\text{tg}\emptyset}{\text{Tg } \emptyset^*} = \frac{\text{tg}50^\circ}{0.364} = \frac{1.1917}{0.364} = 3.27$$

$$\text{Tg } \emptyset^* = \frac{\text{tg } \emptyset}{F\emptyset} = \frac{1.1917}{3.27} = 0.364 = 20^\circ$$

Si se requiere saber la inclinación del talud con un coeficiente de seguridad de $F_s = 3.27$ y una altura de 12 m En el terreno del predio propiedad del Ingeniero Raúl Elizondo en la Joya del Venado, municipio de San Pedro Garza García, N.L. se aplicó el mismo planteamiento que se utilizó en el ejemplo anterior.

$$N_c = \frac{7/3.27}{(1.8)(12)} = \frac{2.14}{21.6} = 0.09$$

$$\text{tg}\emptyset^* = \frac{\text{tg}\emptyset}{F\emptyset} = \frac{\text{tg}50^\circ}{3.27} = \frac{1.1917}{3.27} = 0.364 = 20^\circ$$

$\emptyset^* = 20^\circ$ ángulo de rozamiento para obtener el equilibrio de fricción.

Para determinar la profundidad de las anclas en el proyecto Joya del Venado, se utilizó la siguiente ecuación, la cual se desarrolló de la manera siguiente:

$$D = (F_s) (F)$$

y Is

$$D_1 = (3.27) (9.90) = 11.99 \text{ m}$$

$$(1.8)(1.5)$$

$$D_2 = (3.27) (8.26) = 10.00 \text{ m}$$

$$(1.8)(1.5)$$

$$D_3 = (3.27) (6.60) = 7.993 \text{ m}$$

$$(1.8) (1.5)$$

El esfuerzo a la cortante en el anclaje fue calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$\tau_a = T/\pi d_h l_b \text{ donde:}$$

T.- fuerza de tensión de diseño.

d_h .- Diámetro del barreno.

τ_a .- Esfuerzo de cortante permitida

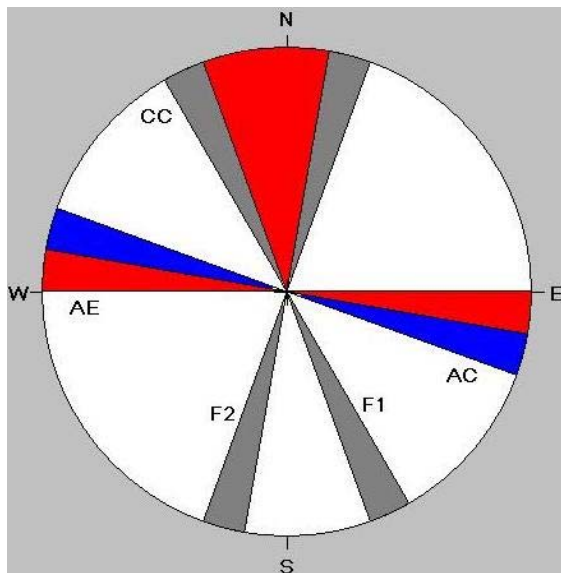
l_b .- Longitud del bulbo.

$\tau_a = 50 \text{ Ton} / 3.14 (3.5) (5) 35.78 \text{ Ton/m}^2 (1000 \text{ Kg} / 1 \times 10^6 \text{ mm}^2) / 0.101 = 0.35 \text{ MPA}$. Nuestra roca cae dentro de las lutitas, intercaladas con areniscas y margas (Formación Méndez) ver tabla 14.15 (Littlejohn y Bruce, 1975).

TIPO DE ROCA	Resistencia al cortante para diseño de anclajes (MPa)
Dura	1.05- 1.40
Media	0.7- 1.05
Débil	0.35- 0.7
Granito, basalto	0.55- 1.0
Caliza dura	0.45- 0.70
Caliza blanda	0.35- 0.45
Lutitas, intercaladas con areniscas y margas	0.30- 0.45
Lutitas débiles	0.05- 0.30
Areniscas	0.05- 0.07
Rocas fisuradas	0.05 -0.07
Concreto	0.45 – 0.90

Tabla 7.4. Valores del esfuerzo cortante permitido para anclajes en rocas.

La cantidad de anclas recomendadas para estabilizar el talud en el predio ubicado en la Joya del venado propiedad del ingeniero Raúl Elizondo en el cadenamiento 0+ 00 a 0 + 120 será una plantilla de 3x3 m con anclas de 12 m de longitud con 3 torones de 5/8 de Ø, la longitud del bulbo será de 6.00m, tensadas a 40 Ton. La cantidad de anclas recomendadas será de 66 de las cuales 22 será de una longitud de 12.0, 26 de 10.0m y 18 de 8.00m, la cantidad de drenes recomendados será de 44, perforados a 4" con ademe de 2 ½" ranurado y protegido con una malla de micopor para el control de finos.



A 2	AZIMUT DEL ESTRATO
AC	AZIMUT DEL CORTE
F1	FRACTURA
F2	FRACTURA
CC	CUÑA CRITICA

Figura 7.4d. Estereograma de la relación estructural estrato-corte y fracturamiento. Ilustración correspondiente a la cuña crítica con un ángulo de 40° Joya del Venado.

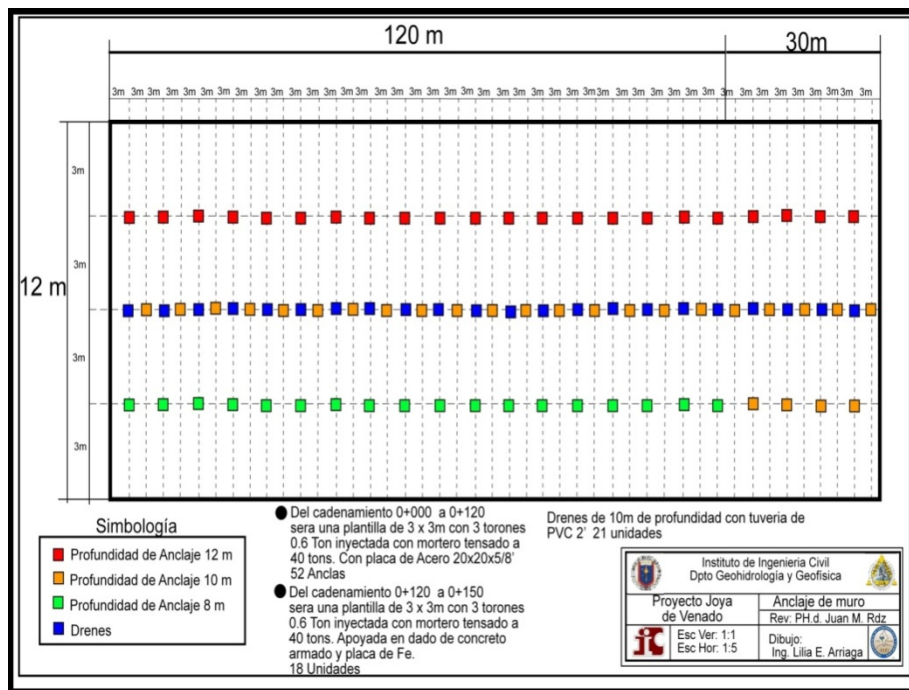
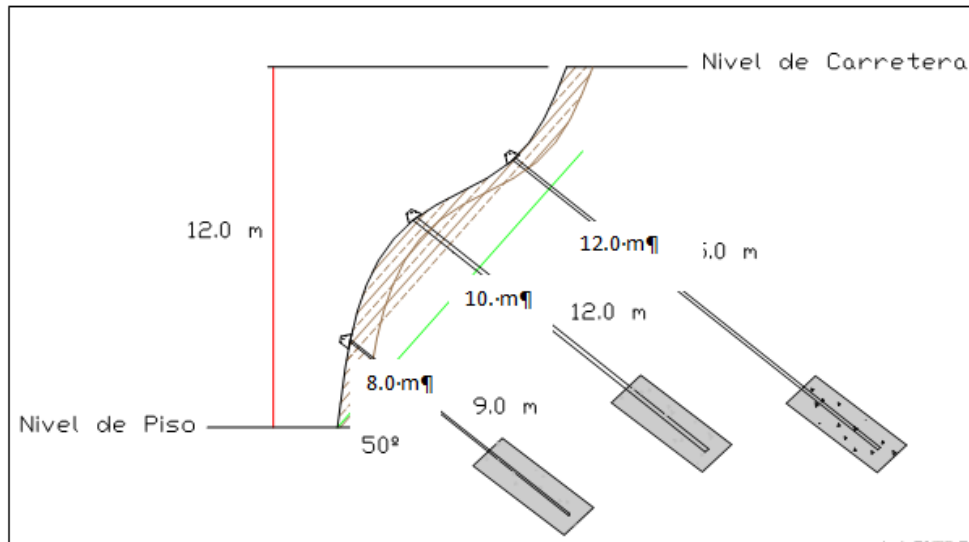


Figura 7.4f. Distribución del sistema de anclas recomendadas para la estabilización del talud en la propiedad del Ing. Raúl Elizondo en la Joya del Venado, municipio de San Pedro Garza García, N. L.

7.5. ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LOS CORTES DE VIALIDADES EN EL PROYECTO PRIVANZAS 4^º SECTOR, UBICADO EN LA PARTE PONIENTE DEL CERRO DEL MIRADOR, MUNICIPIO DE SAN PEDRO GARZA GARCÍA, N.L.

Resumen

El objeto del presente reporte tuvo su origen en la solicitud por parte de la empresa **LAMOS**, en términos generales se resumen; los aspectos más relevantes del estudio en las diferentes líneas de investigación sobre el riesgo controlable en aquellos taludes detectados en el área; en forma detallada se describen en el informe.

Considerando lo anterior, este estudio pretende ser un instrumento que respalde los requisitos que establece el Departamento de Desarrollo Urbano y Ecología del Municipio de San Pedro Garza García, N. L., a los desarrolladores a fin de mitigar, prevenir y controlar los riesgos geológicos en zonas de montaña y de laderas, recomendando aplicar las técnicas correctivas en aquellos taludes que lo ameriten.

El presente informe está enfocado a la evaluación de las características geológicas, geomorfológicas, estructurales y litológicas de los diferentes cortes realizados en las diferentes trazas del proyecto. La evaluación del riesgo geológico que representan los diferentes taludes de deslizarse ladera abajo, servirán de base para complementar el proyecto de desarrollo urbano en el Cerro del Mirador.

La información generada mediante estas técnicas, permitirá proponer las medidas de seguridad para un desarrollo armónico del proyecto, aplicando técnicas de remediación y mitigación, estabilizando aquellos taludes susceptibles de deslizamiento.

Con base en los trabajos de geología de campo fue posible determinar el comportamiento geológico y estructural del sitio investigado, dentro del predio, lográndose establecer los siguientes criterios:

A). Riesgo geológico

De acuerdo a la zonificación aplicando la matriz de eventos en la parte Norponiente del Cerro del Mirador, en el Fraccionamiento Privanzas 4^º Sector se lograron definir dos zonas:

- **Zona Poniente.** Ubicada sobre la rasante del cuarto sector se detectaron algunos taludes que presentan problemas de estabilidad, sus cortes fueron perpendicular a los echados de la estructura, solamente el grado de cohesión los mantiene unidos, su unión es muy débil. El dominio de fallas en este tipo de taludes es planar a lo largo de los planos de exfoliación, dentro de este grupo también se incluyen los taludes formados de material de relleno como el que se localiza en la parte norte de la Ave. Prolongación Sendero de Las Privanzas, corresponde a un talud conformado con material de rezaga en su parte superior mal compactado el cual está expuesto a deslizarse sobre las casas habitación ubicadas en la parte baja en el límite del predio, se recomienda aplicar técnicas de remediación (gaviones).
- De acuerdo a los parámetros aplicados, se le clasificó como de **riesgo controlable**. Las pendientes medidas en campo oscilan entre 9% a 13%. La técnica recomendada para el control del pateo es la colocación de gaviones como los que se muestran en el diagrama anexo en el informe y que es descrito en forma detallada.
- El talud sobre el cual descansa el edificio se deberá de anclar, el tipo de anclas recomendadas son torones de 5/8 de diámetro cada uno, el número de torones recomendados en cada ancla es de tres. Para estabilizar el talud se recomienda primeramente perfilarlo, posteriormente se iniciará el anclaje de acuerdo al diseño propuesta, el número de anclas recomendadas será de aproximadamente 15, las cuales serán distribuidas de manera estratégica.
- Para estabilizar y controlar el pateo del talud que se encuentra sobre la Avenida Sendero Privanzas se recomienda la colocación de gaviones a todo lo largo del cordón perimetral de la vialidad hasta su unión con la vía de acceso al Fraccionamiento Privanzas. En el diagrama anexo en el informe, se describe en forma detallada la colocación de los gaviones.
- **Zona Oriente.** Fue clasificada como de **riesgo controlable** de acuerdo a su pendiente, tipo de roca, grado de intemperismo, cota sobre el nivel del mar; dicha zona se ubica en el flanco Nororiental del Cerro del Mirador en esta zona se detectaron taludes bloques de diferentes dimensiones presenta pendientes de media a alta .

B). Estructurales

- En este trabajo se plantea el mecanismo geodinámico que dio lugar a la formación de la estructura que conforma el Cerro del Mirador y su entorno a partir del acortamiento y plegamiento de la Sierra Madre Oriental durante el Cretácico Superior y Terciario en el Noreste de México. Esta deformación se manifiesta como plegamientos y cabalgamientos en la corteza superior con dirección de transporte predominante hacia el este –noreste, así como desplazamientos transcurrentes.
- Localmente el Cerro del Mirador se presenta como un complejo de anticlinales con una vergencia (dirección) Noroeste-Sureste, siguiendo el combamiento que presenta la Sierra Madre Oriental.

- El eje de la estructura del Cerro del Mirador en su parte sureste flexionó hacia el noroeste, formando una curvatura producto del plegamiento, combamiento que se observan claramente en los cortes realizados en el Fraccionamiento Privanzas.
- El patrón de fracturamiento presente en el área de estudio tiene un rumbo NW- SE y NE- SW.

C). Recomendaciones

Las técnicas recomendadas para controlar el riesgo de deslizamiento de los taludes en el Fraccionamiento Privanzas son las siguientes:

- Los cortes de los taludes no deben de sobrepasar una altura de 6.00 metros. Para lograr esto es recomendable terracear y formar bermas.
- La zona poniente es la que presenta los taludes con mayor riesgo geológico, por lo cual son a los que se debe de poner mayor atención y estabilizarlos a la brevedad posible aplicando las técnicas recomendadas en el informe.
- El talud sobre el cual descansa el edificio se deberá de anclar; el tipo de anclas recomendadas son torones de 5/8 de diámetro cada uno, el número de torones recomendados en cada ancla es de tres.
- La profundidad programada para cada ancla será de 12 m con un bulbo equivalente a una tercera parte de su longitud.
- La capacidad de carga diseñada para cada ancla será de 40 ton.
- Para controlar el pateo en el talud colindante con el predio en su parte norte se hará mediante la construcción de gaviones.
- La zona oriente no presenta taludes críticos, la técnica de remediación para controlar su estabilidad será mediante la colocación de una malla triple torsión anclada con escarpas, para controlar el desprendimiento de material.

7.5.1 Antecedentes

Los riesgos geológicos son considerados como las peores catástrofes ocurridas en los últimos tiempos, originando grandes pérdidas humanas y materiales, dichos riesgos son productos de fallas geológicas, deslizamiento de materiales, reptación de bloques, inundaciones, combinación de eventos meteorológicos y la acción antropogénica.

En los años de 1988, 2002, 2005 y 2006 la ciudad de Monterrey experimentó el embate de tres fenómenos meteorológicos algunos de ellos con daños considerables como por ejemplo:

Las inundaciones provocadas por el Huracán Gilberto 1988. En las 2002 lluvias torrenciales afectaron el área metropolitana. El Huracán Emily en el 2005 provocó deslizamientos de ladera en el flanco sur oriental del Anticlinal San Jerónimo- Vista Hermosa. Las lluvias torrenciales que cayeron el día 24 de septiembre de 2006 en tan solo 10 horas se precipitó (136 mm) algo similar a lo que aportó el Huracán Emily en 24 horas.

Los eventos meteorológicos ocurridos en el 2005 dejados por el Huracán Emily en el mes de julio y las lluvias torrenciales del 14 de octubre en el mismo año en el área metropolitana de la ciudad de Monterrey, N. L., fueron el detonante para que la falla San Jerónimo se reactivara, el agente motor fue la sobresaturación de los paquetes arcillosos correspondientes a la Formación Agua Nueva que fueron saturados por la ruptura de un tubería de 8" que estuvo fugando por espacio de tres días a una presión de 5kg/cm² provocando socavación en el talud sur de la avenida Rodrigo Gómez lo que ayudó al deslizamiento de éste así; como los errores cometidos al construir sobre rellenos no compactados, provocando deslizamiento de ladera en la zona.

Las causas que provocaron los deslizamientos en el 2002 y en el 2005 en el Cerro de La Corona como en San Jerónimo fueron las siguientes:

- La desestabilización del talud por el corte de la pista del Club Alpino Chipinque.
- La construcción de un depósito para abastecer de agua a la zona, el cual fue construido sobre rocas cuya estructura y estabilidad fue modificada.
- Socavamiento generado por las fugas del aljibe (cisterna) formando cárcavas, las que provocaron deslizamientos y fracturaron la estructura del aljibe lo que aceleró el proceso de erosión y el desprendimiento de grandes bloques que rodaron pendiente abajo.
- Ruptura de un tubo de 8" que estuvo fugando por espacio de tres días a una presión de 5kg/cm² provocando socavación en el talud sur de la avenida Rodrigo Gómez lo que ayudó al deslizamiento de éste.
- Construir sobre rellenos no compactados, provocando deslizamiento de ladera en la zona.

7.5.2 Justificación

Por lo tanto en la planeación del crecimiento de los municipios que conforman el área metropolitana de Monterrey en zonas de montaña se debe de incluir la variable de riesgo a fin de orientar el crecimiento y evitar asentamientos humanos en zonas inestables.

Durante los trabajos de geología de campo, realizados en el sitio y en las zonas limítrofes se lograron establecer algunos parámetros que presentan las rocas en superficie y en el subsuelo como son: intemperismo intenso en los paquetes arcillosos y en las zonas de oxidación producto del meteorismo químico del sulfuro de hierro (Fe S_2) pirita. Corte de taludes algunos descalzados como el que se localiza en la parte poniente del predio, lineamientos estructurales, pendientes, cañadas, tipo de litología etc. La actividad humana es muy importante, como acelerador de procesos naturales normalmente lentos. Al efectuar cortes en los taludes para edificar construcciones, la pendiente del terreno es modificada en forma drástica, con el consecuente cambio en el sistema de esfuerzos. La morfología del terreno, expresada por la pendiente, influye en la distribución de los esfuerzos a que es sometido el talud.

Todos los fenómenos considerados en el informe están ligados a la geodinámica externa, es decir a procesos modeladores del relieve, mismos que están controlados por accidentes geológicos profundos, como fallas y fracturas. De acuerdo con el SGM (1987) los riesgos ligados a la geodinámica externa se asocian a inundaciones, desprendimientos, deslizamientos, subsidencias, expansividad de suelos, carsticidad, inestabilidad de taludes y erosión.

El flanco Nororiental del Cerro del Mirador donde se localiza el Fraccionamiento Privanzas se asienta sobre depósitos sedimentarios correspondientes a la Formación Méndez constituía por una secuencia de lutitas, de color gris verdoso en espesores delgados de 40 a 50 cm, una característica típica de esta unidad son los planos de exfoliación; la edad de éste depósito es del Cretácico Superior.

Los riesgos geológicos en la zona están asociados a un conjunto de factores, entre los que destacan (fallas y fracturas), deslizamiento de bloques, pendiente del terreno y el tipo de litología entre otros.

A solicitud de la empresa **LAMOS** se realizó la siguiente propuesta: **“Estudio de riesgo geológico y alternativas de solución para la estabilidad de taludes”**.

Dicho estudio sirvió de base para corroborar el riesgo que representan los diferentes taludes ubicados en el predio. Para ello fue necesario realizar un estudio geológico a detalle, determinando el patrón de fracturamiento, comportamiento estructural de la roca, echado, rumbo del echado, grado de intemperismo de la roca, tipo de roca, características físicas de la misma, así como la evaluación de la estabilidad del talud donde se realizaron los cortes y la medidas preventivas para la estabilización de éste; para determinar ciertas características físicas del substrato; ajustándonos a las normas que establece el Atlas de Riesgo Geológico y Meteorológico del área Metropolitana de Monterrey, N. L. (Diciembre del 2005, 2008).

7.5.3. Objetivo general

El objetivo de esta propuesta es la de garantizar la seguridad humana y de los bienes materiales, mediante un estudio de riesgo geológico estableciendo las zonas sujetas a deslizamientos, asentamientos diferenciales en el área investigada. Para el buen desarrollo del proyecto.

7.5.3.1. Objetivos técnicos

- Identificación de aquellos taludes que presenten riesgo de deslizamiento.
- Aplicación de técnicas de remediación para el control del deslizamiento de taludes mediante técnicas convencionales como: anclajes, mallas electrosoldadas, bio-mallas a base de fibra de cáscara de coco, etc.
- Construcción de muros de mampostería si se requiere.
- Recostamiento de aquellos taludes que lo requieran.

7.5.4. Metodología

Para determinar el comportamiento geológico y estructural de cada uno de los taludes investigados, fue necesario realizar trabajos de geología de campo, caminamientos sobre toda la base del macizo rocoso, toma de datos estructurales, rumbo de la fractura, echado, descripción de afloramientos, determinación del grado de intemperismo, carsticidad, estratigrafía, espesor de afloramientos, etc.

Toma de datos estructurales:

Para definir las posibles medidas de mitigación y control, se procedió a tomar datos geoestructurales en las zonas de afectación.



Fotografía 7.5.4. En la fotografía se muestra personal de este departamento en la toma de datos (echados, rumbos, grado de fracturamiento, rumbo de las fracturas, etc.)



Fotografía 7.5.4a. En esta imagen se está trabajando en el talud bajo el edificio, en el cual se realizan actividades como toma de datos estructurales del macizo rocoso para determinar el grado de fracturamiento de éste, y así poder determinar su grado de estabilidad.



Fotografía 7.5.4b. Intemperismo severo y fracturamiento, se observa en el talud 0+000. La opción más viable como medida de mitigación es una línea de anclaje (✚).

De esta recomendación se hace mención detallada más adelante en el presente informe.



Fotografía 7.5.4c. En esta zona existe un grado intenso de fracturamiento, el cual no tiene un patrón definido hacia una dirección.

Sin embargo este talud se cortó de manera que su estabilidad no se ve afectada ya que si bien se tiene un intenso grado de fracturamiento; éste está contenido dentro de todo el macizo rocoso. En esta zona solo se corre el riesgo de que el material señalado en la imagen se deslice hacia abajo.



Fotografía 7.5.4d. En la presente imagen se aprecia cómo se obtuvieron los ángulos de buzamiento y echado de los estratos presentes en la zona de estudio.



Fotografía 7.5.4e. En esta imagen se observa una panorámica general de la Ave. Prolongación Sendero de las Privanzas.



Fotografía 7.5.4f. En la imagen se observa cómo está conformada la geología a lo largo de los cortes sobre la vialidad.





Fotografías 7.5.4g. En las imágenes anteriores se observó una zona con material cortado que sobresale del talud, estas zonas se presentan a lo largo de la calle prolongación Sendero de las Privanzas.

Aquí solo hay riesgo de posibles desprendimientos los cuales se pueden contener con la colocación de malla triple torsión a lo largo del talud.

7.5.5. Introducción

El área de estudio correspondiente al flanco Norponiente del Cerro del Mirador, se localiza en la prolongación de una estructura cabalgada hacia el Noroeste producto de los esfuerzos provenientes del norte, los cuales combaron dicha estructura, flexionándola hacia el Noroeste producto de una falla inversa.

El origen de la Sierra Madre Oriental fue producto del empuje de esfuerzos provenientes del NNE- SSW con un rumbo establecido E-W evento que se presentó a fines del Eoceno, plegando la Sierra Madre Oriental y dando lugar a la curvatura que presenta actualmente. Los mecanismos de plegamiento son principalmente por cizalla flexura y flexura ortogonal, tanto a escala regional como local.

7.5.5.1. Localización

El área de estudio correspondiente al proyecto ocupa una superficie aproximada de 7 hectáreas las que se localizan en el flanco Norponiente del Cerro del Mirador, limita al Norte con la colonia Balcones de San Agustín, al este con Real del Valle (Fig. 7.5.5.1).



Figura 7.5.5.1. Localización del área de estudio.

7.5.6. Geología

7.5.6.1. Generalidades

Fisiográficamente el área de estudio se localiza en la Provincia de la Sierra Madre Oriental en el flanco nor poniente del Anticlinal del Mirador. Figura 7.5.6.1.

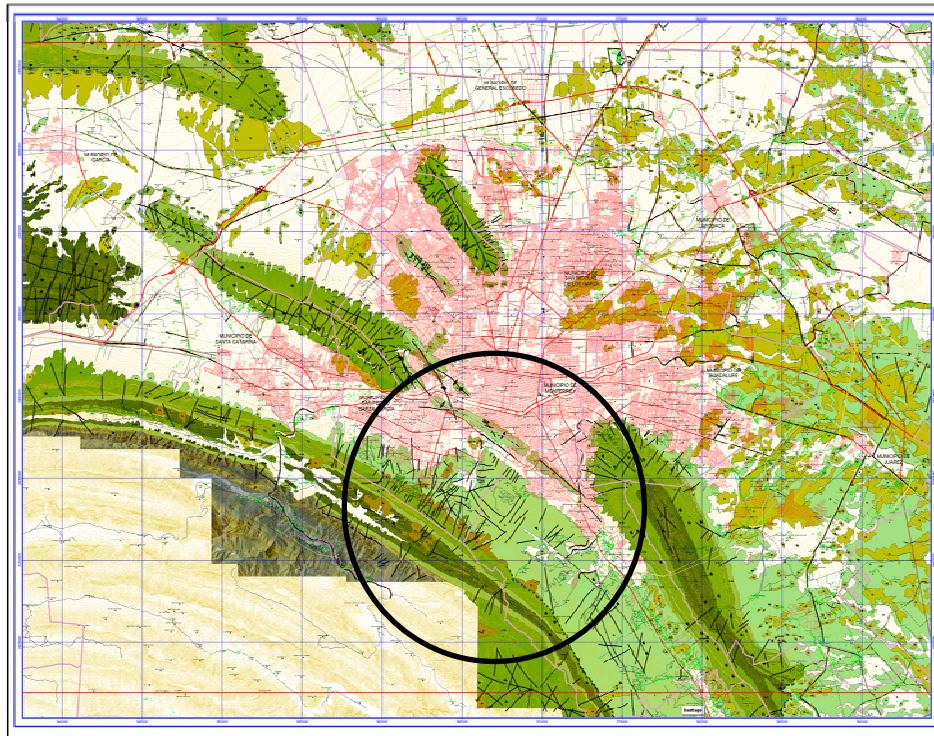


Figura 7.5.6.1. Geología del área de estudio.

7.5.6.2. Geología regional

La Sierra Madre Oriental (SMO) es una cadena continua de pliegues y cabalgaduras, compuesta por una secuencia de rocas carbonatadas y terrígenas del Mesozoico que fueron plegadas y cabalgadas por los esfuerzos producto de los empujes provenientes del occidente generados por la Placa del Pacífico sobre la Placa Americana. Dentro de la Sierra Madre Oriental (SMO) existe una flexión importante denominada Curvatura de Monterrey, región donde la SMO presenta cambios bien marcados en la dirección de sus rumbos a lo largo de su tren estructural. El área de estudio se localiza en el flanco Nororiental del Cerro de Las Mitras.

7.5.6.3. Geología del sitio

La secuencia estratigráfica que conforma el sitio investigado está conformada por depósitos sedimentarios correspondientes a la Formación Méndez los sedimentos de estas unidades están plegados, los depósitos de ésta unidad son de cuenca. En campo se presentan como una secuencia de lutitas, de color gris verdoso en estratos delgados, las lutitas presentan planos de exfoliación. En los diferentes cortes se presentan paquetes de sedimentos arcillosos de estratificación laminar, dicha unidad litológica esta aflorando en todo el predio, los afloramientos de esta unidad se muestran muy claramente en los diferentes cortes realizados en la parte oriental y occidental del Fraccionamiento Privanzas.

7.6.3.1 Patrones de fracturamiento

A lo largo del talud se tomaron datos en ciertos cadenamientos para determinar el patrón de fracturamiento. Cabe mencionar que solo se tomaron datos donde se observaba más fracturado el terreno y la importancia del sitio.

Datos obtenidos sobre la Ave. Prolongación Sendero de las Privanzas en su sentido poniente-oriente.

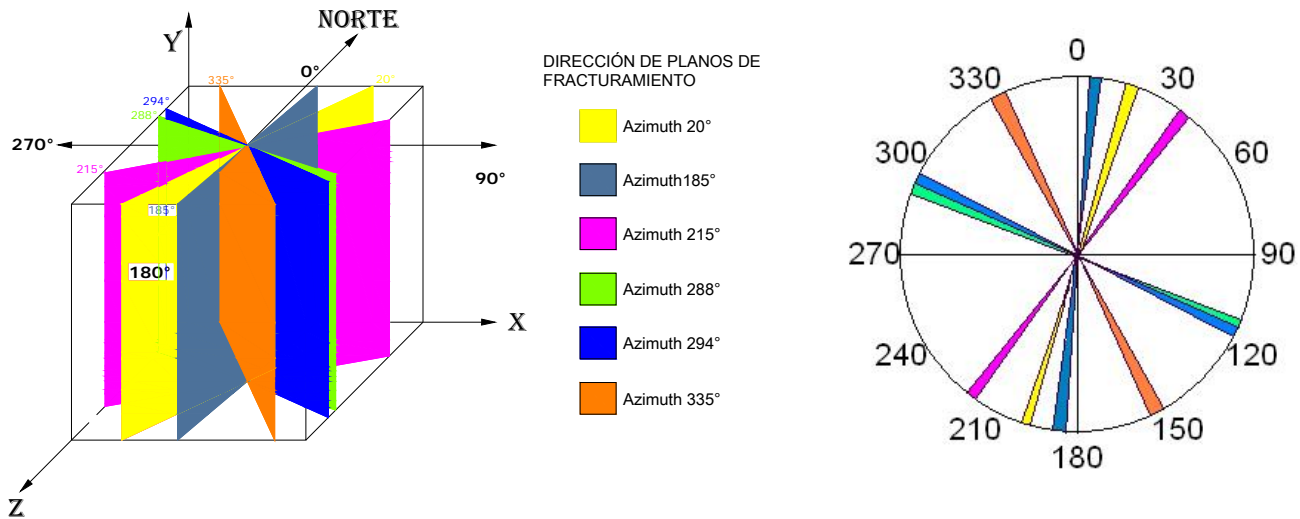


Figura 7.5.6.3.1. Representación gráfica de fracturamiento en cadenamiento 0+165.

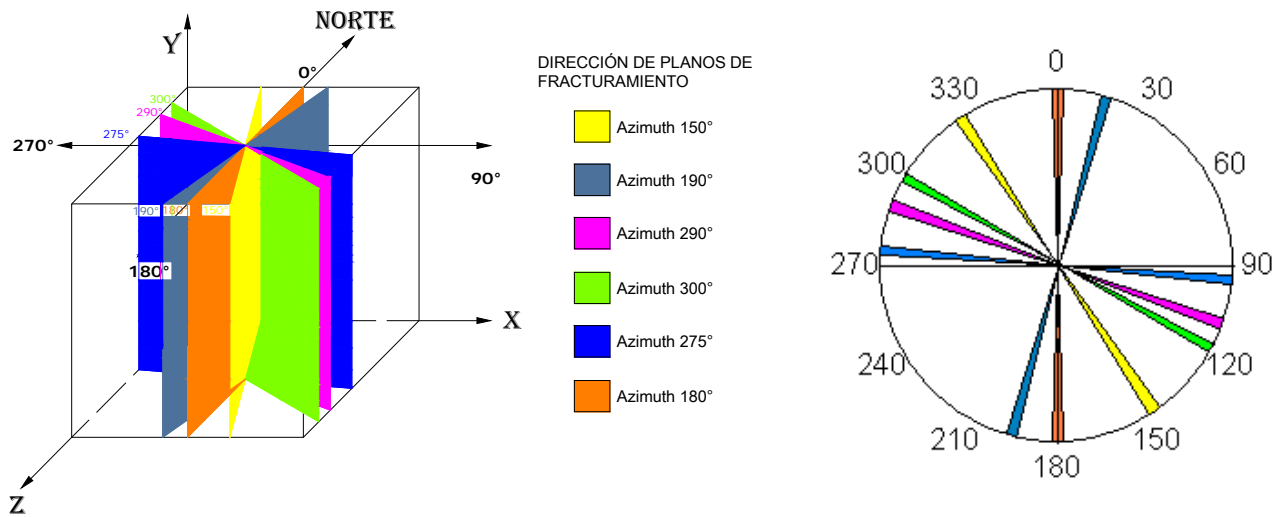


Figura 7.5.6.3.1a. Representación gráfica de fracturamiento en cadenamiento 0+120.

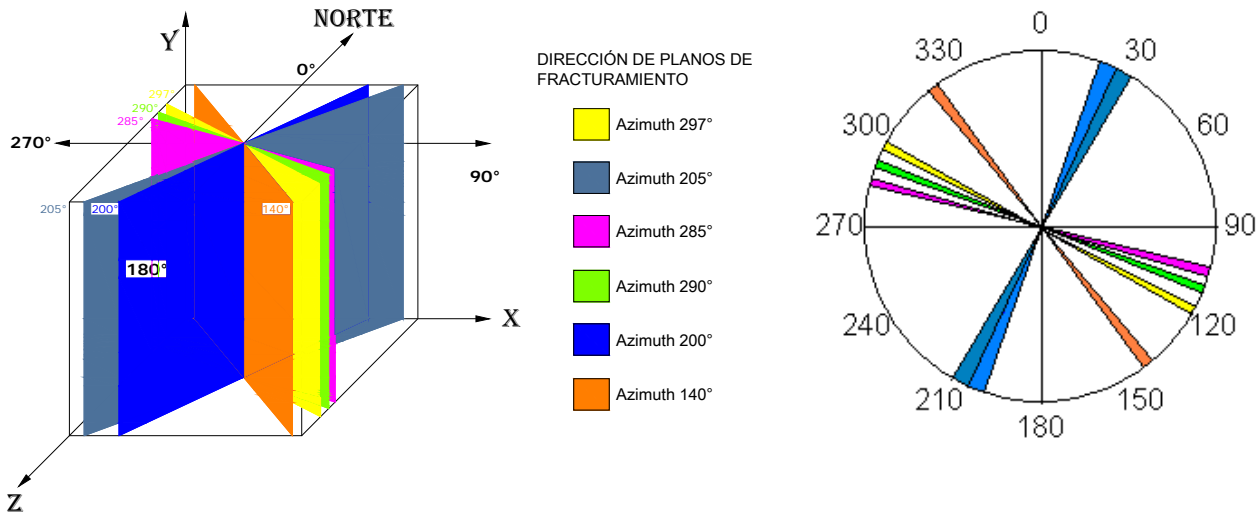


Figura 7.5.6.3.1b. Representación gráfica de fracturamiento en cadenamiento 0+100.

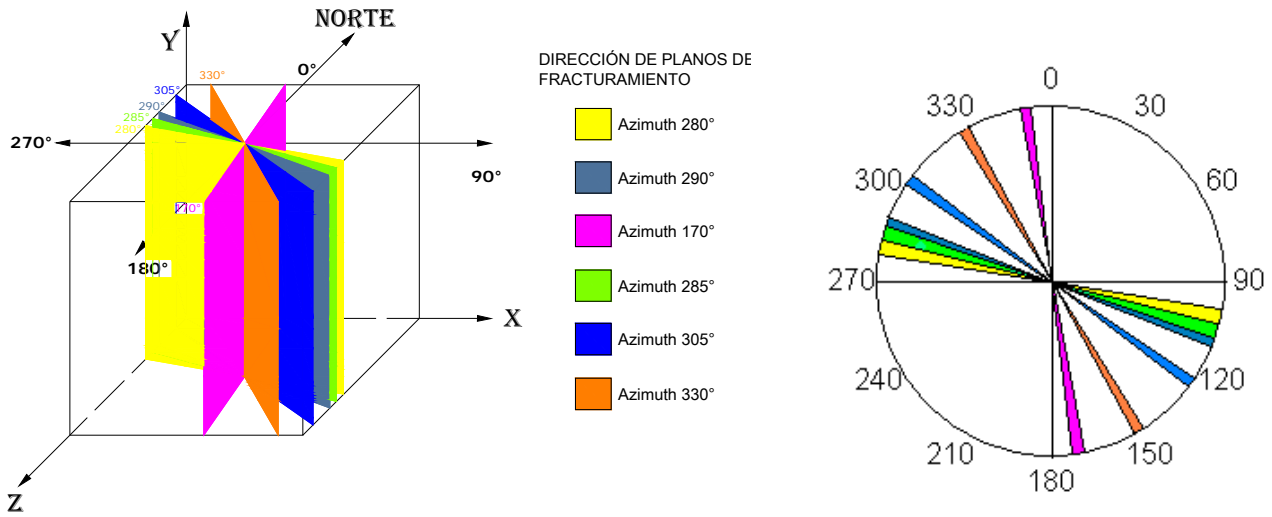
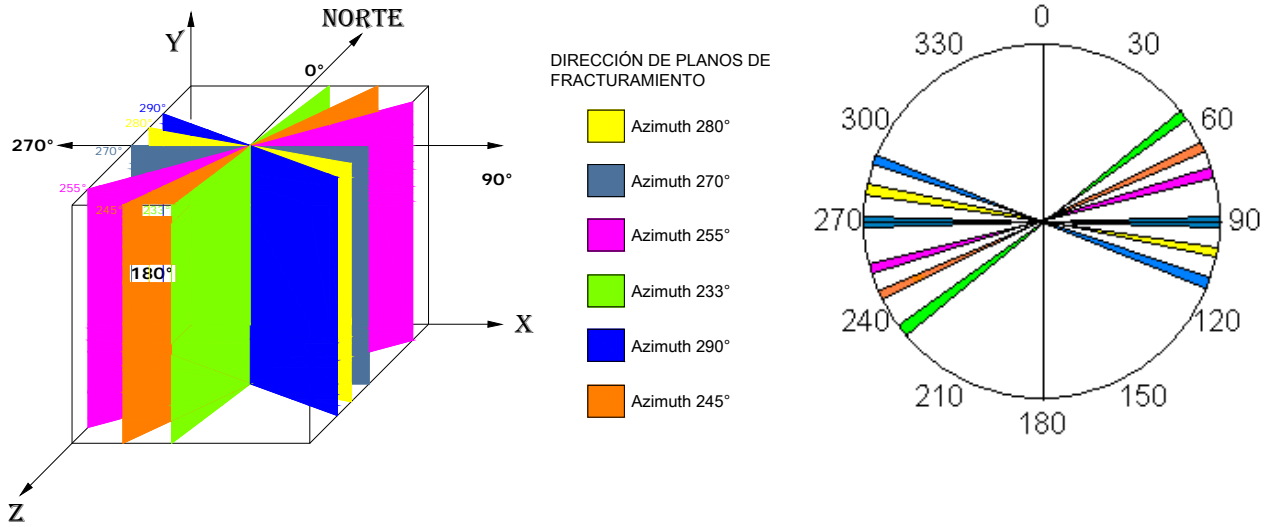
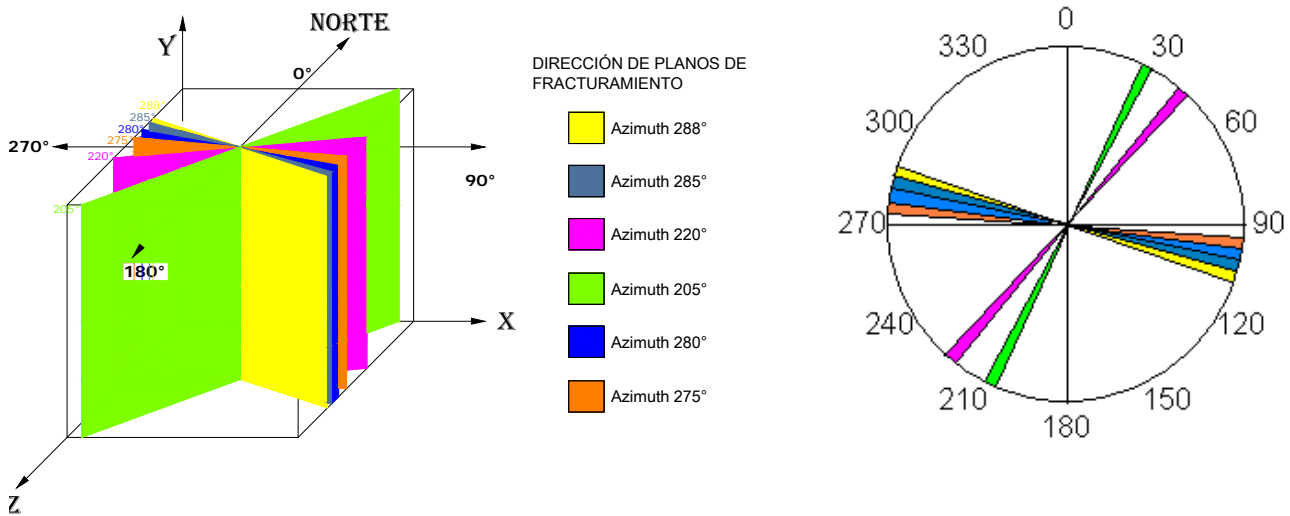


Figura 7.5.6.3.1c. Representación gráfica de fracturamiento en cadenamiento 0+090.

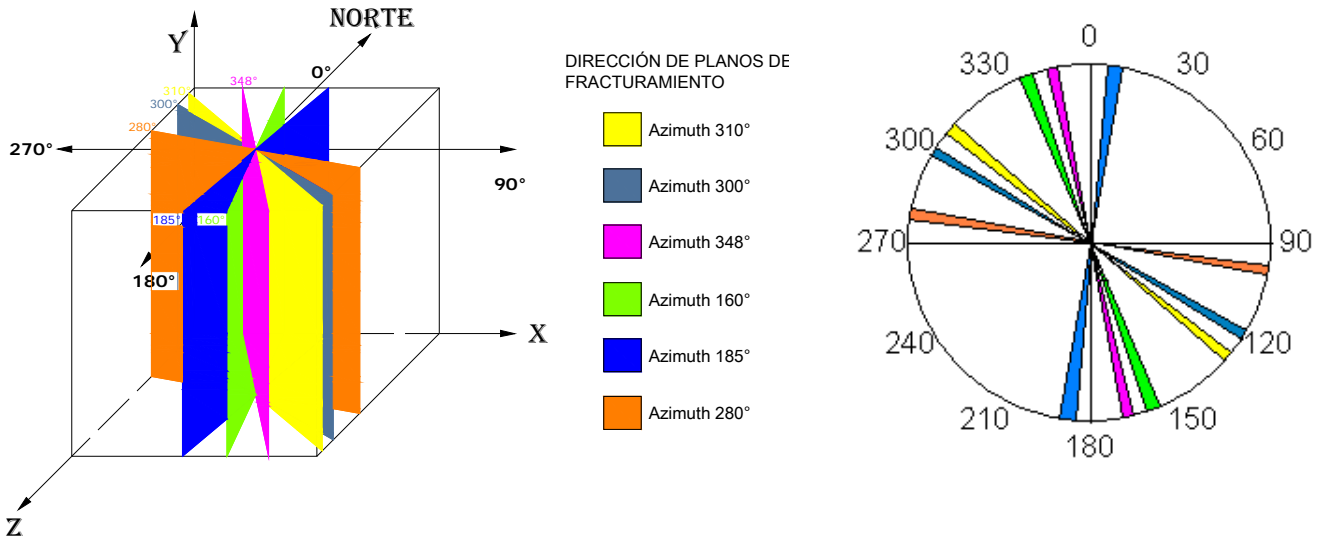


7.5.6.3.1d. Representación gráfica de fracturamiento en cadenamiento 0+030.



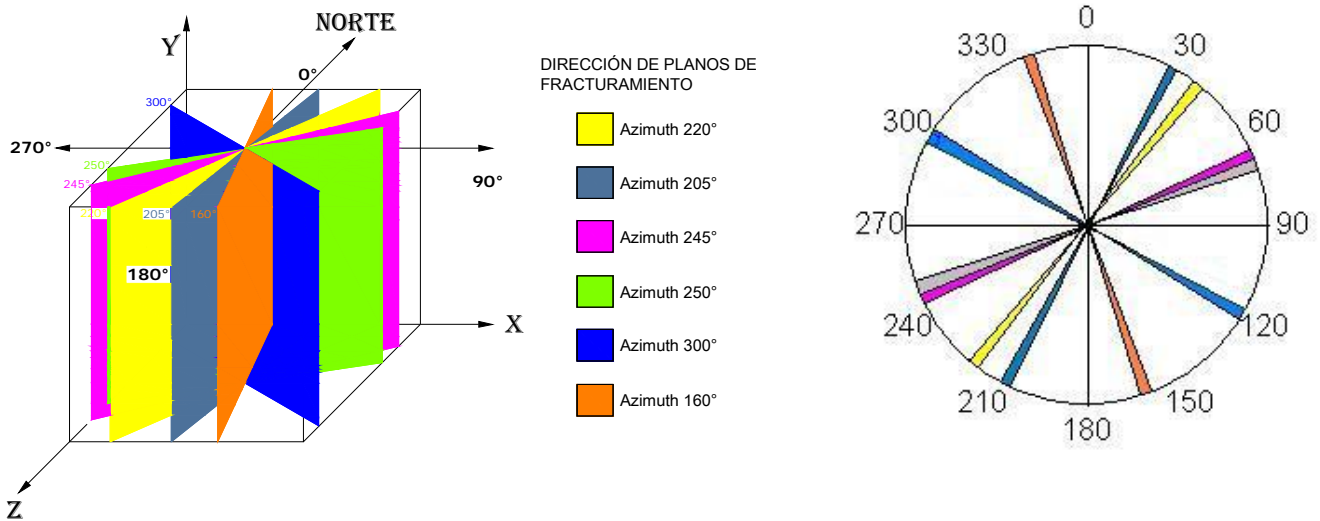
7.5.6.3.1e. Representación gráfica de fracturamiento en cadenamiento 0+010.

Este patrón corresponde al talud ubicado en la intersección de las dos vialidades del fraccionamiento, cadenamiento 0+000 en dirección hacia al sureste 50 m.

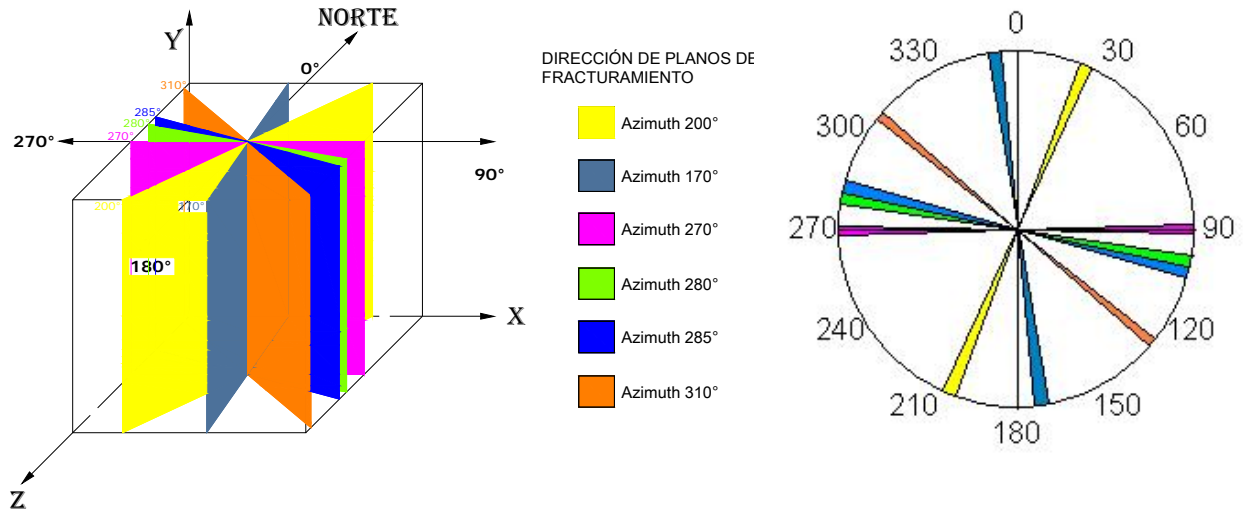


7.5.6.3.1f. Representación gráfica de fracturamiento en cadenamiento 0+000.

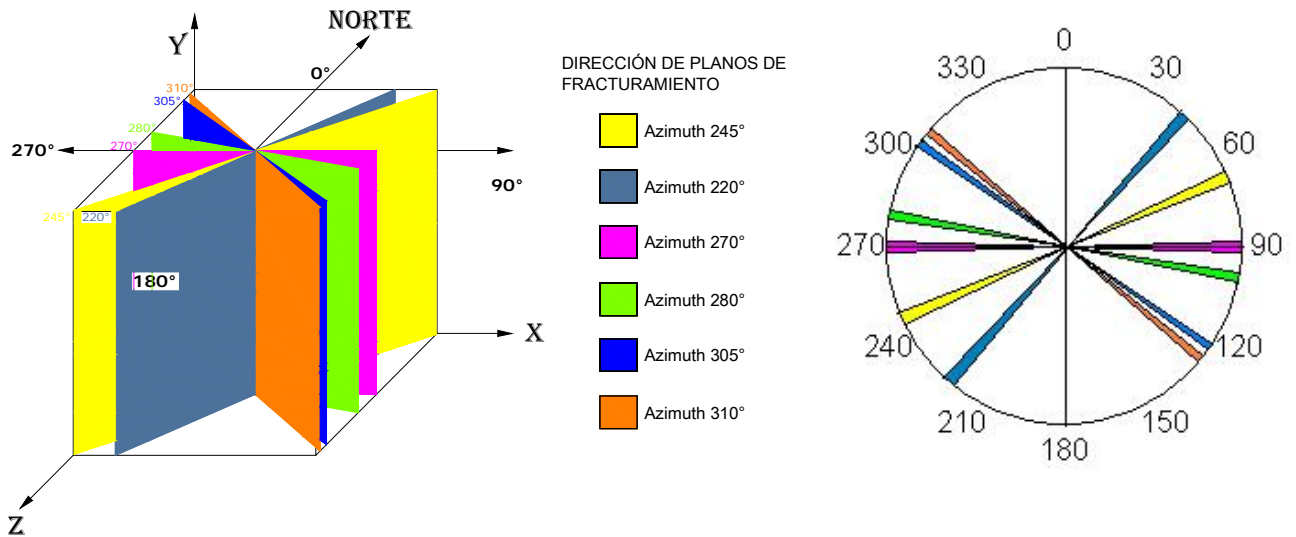
Datos obtenidos sobre la Ave. Prolongación Sendero de las Privanzas en su sentido poniente-oriente partiendo de la intersección donde se encuentra la afectación pluvial.



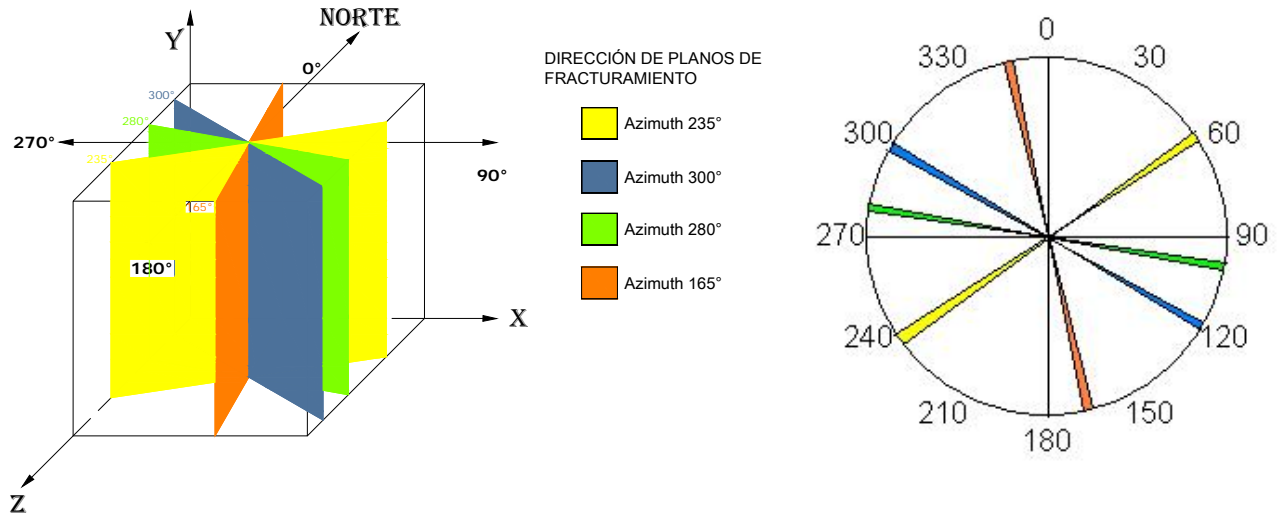
7.5.6.3.1g. Representación gráfica de fracturamiento en cadenamiento 0+140.



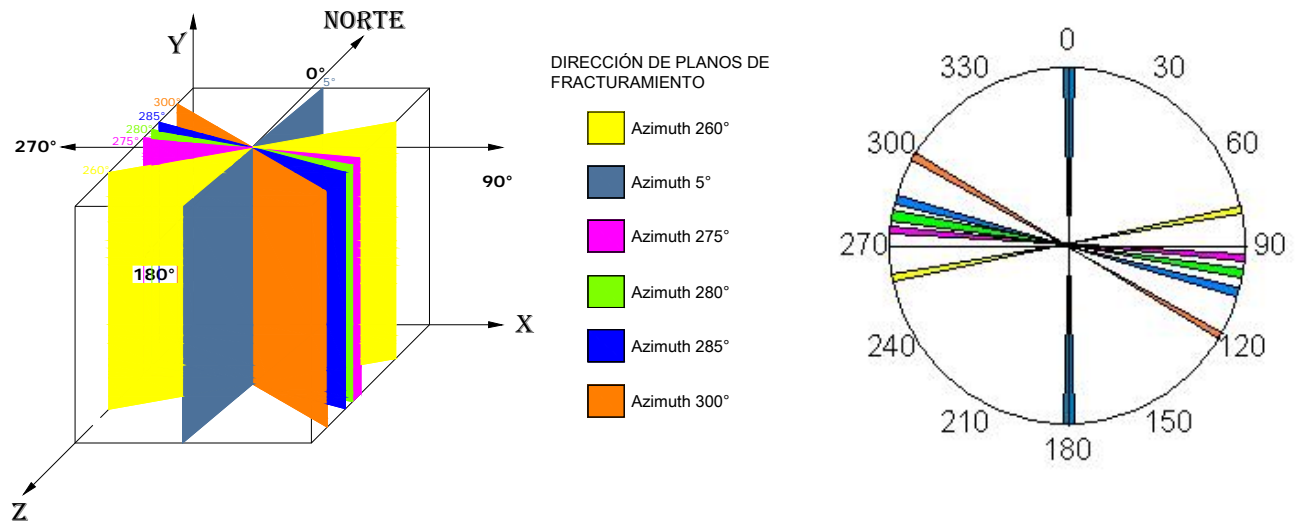
7.5.6.3.1h. Representación gráfica de fracturamiento en cadenamiento 0+160.



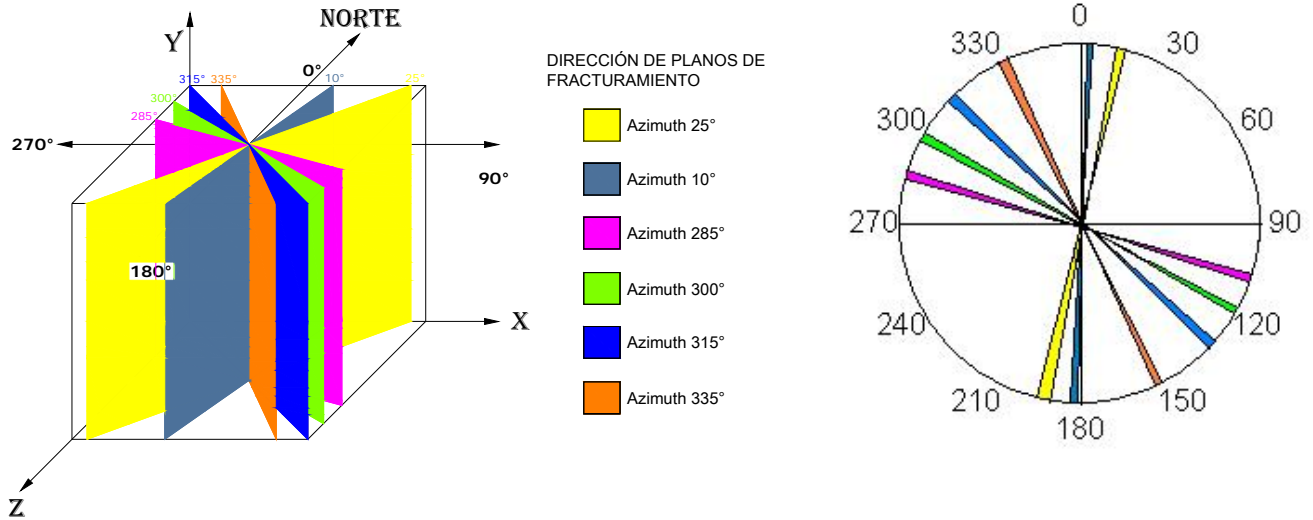
7.5.6.3.1i. Representación gráfica de fracturamiento en cadenamiento 0+180.



7.5.6.3.1j. Representación gráfica de fracturamiento en cadenamiento 0+240.



7.5.6.3.1k. Representación gráfica de fracturamiento en cadenamiento 0+260.



7.5.6.3.11. Representación gráfica de fracturamiento en cadenaminto 0+300.

7.5.6.4. Estratigrafía

Las unidades geológicas presentes en el Área Metropolitana de la Ciudad de Monterrey, Nuevo León están conformadas por rocas de origen sedimentario, constituidas por: limos, gravas, arenas, cantos rodados, lutitas, margas, arcillas, calizas, yeso y anhidritas.

7.5.6.5. Unidades geológicas

La columna litológica que conforman la secuencia sedimentaria en el Área Metropolitana, esta constituida por rocas de diferentes edades que van desde las más antiguas de edad Jurásica, al Reciente. Las rocas de edad Jurásica afloran en el Valle de Villa de García, en la sección geológica de igual nombre se muestran en el centro del anticlinal, los yesos y anhidritas; las rocas del Cretácico conforman las estructuras más importantes del AMM Sierra Madre Oriental, Cerro de la Silla, Mitras, El Topo y el sinclinal del Penal, Loma Larga y San Jerónimo- Vista Hermosa, rellenando valles se encuentran los sedimentos más recientes, figura 7.5.6.5.

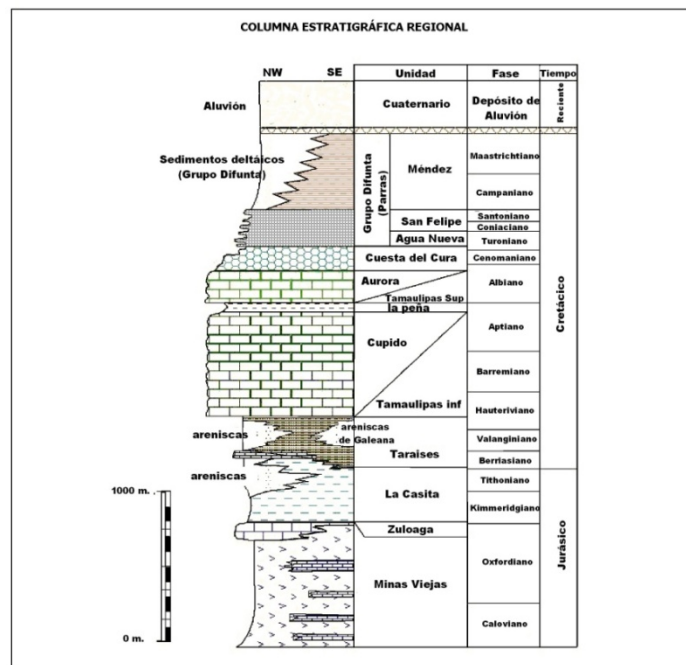


Figura 7.5.6.5. Columna estratigráfica regional, Michalzik, 1988.

7.5.6.6. Estratigrafía del sitio

Las unidades geológicas presentes en el flanco Nororiental del Cerro del Mirador (Fraccionamiento Privanzas) están conformadas por rocas de origen sedimentario, constituidas por arcillas, lutitas correspondientes a la Formación Méndez.

La columna litológica que conforma la secuencia sedimentaria, en nuestra área de estudio es muy simple, su composición se relaciona solamente con una unidad constituida por lutitas, arcillas y depósitos de pie de monte.

7.5.6.7. Marco estructural

La explicación más viable del origen del patrón de fracturamiento que se observa en el área, la constituyen las condiciones de tensión que han venido actuando desde finales del Cretácico en dirección SW-NE, producto del empuje de la placa del Pacífico sobre la Americana, generando durante su proceso cabalgamientos hacia el Norte muestra de ello es la curvatura que actualmente presenta la Sierra Madre Oriental a la altura de Monterrey. Durante los caminamientos a lo largo de toda la brecha se pudo corroborar la presencia de un sistema de fracturas con rumbo NW-SE.

El cabalgamiento y fracturamiento está asociado a esfuerzos compresivos y de tensión como los que se observan en el reliz de la parte sur oriental del Cerro El Mirador en los diferentes cortes realizado por la empresa, las fracturas por tensión se encuentra muy marcado en el algunos taludes localizados sobre la avenida Prolongación Sendero de las Privanzas y en los cortes ubicados al poniente del predio.

7.5.6.8. Modelo geodinámico

En este trabajo se plantea el mecanismo geodinámico que dio lugar a la formación de la estructura que conforma el Cerro del Mirador y su entorno a partir del acortamiento y plegamiento de la Sierra Madre Oriental durante el Cretácico Superior y Terciario en el Noreste de México. Esta deformación se manifiesta como plegamientos y cabalgamientos en la corteza superior con dirección de transporte predominante hacia el este –noreste, así como desplazamientos transcurrentes. Localmente el Cerro del Mirador se presenta como un complejo de anticlinales con una vergencia (dirección) noroeste-sureste, siguiendo el combamiento que presenta la Sierra Madre Oriental. El eje de la estructura del Cerro del Mirador en su parte sureste flexionó hacia el noreste, dicho modelo se muestra en la figura 7.5.6.8.

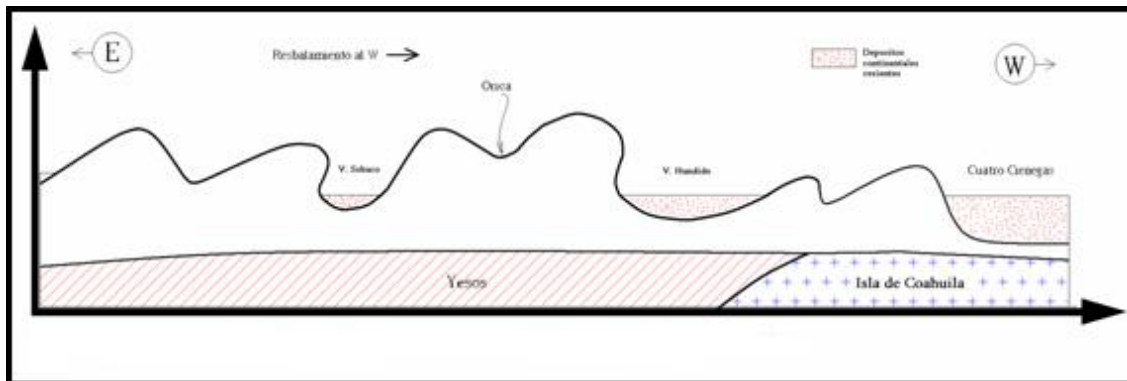


Figura 7.5.6.8. Modelo de desplazamiento de la Sierra Madre Oriental.

7.5.6.9. Geodinámica de las estructuras que conforman el Área Metropolitana de Monterrey

En este trabajo se plantea el mecanismo geodinámico que dio lugar a la formación de las estructuras que conforman el área Metropolitana de Monterrey, sobre la tectónica de acortamiento durante el Cretácico Superior y Terciario Inferior en el Noreste de México. Esta deformación se manifiesta como plegamientos y cabalgamientos en la corteza superior con dirección de transporte predominante hacia el este-noreste, así como desplazamientos transcurrentes. Localmente se presentan estructuras complejas tales como salientes y vergencias en sentidos diferentes, a la dirección general del transporte tectónico.

El levantamiento actuó en la deformación de las estructuras, generando una geometría de pliegues, producto de un anticlinal recumbente, el cual, fue cabalgado al Norte contra el Alto de la Isla de Coahuila. La geometría asociada a pliegues inició su despegue en el nivel salino. En aquellos sitios donde los depósitos evaporíticos no están presentes, la estructura se acuña. El mecanismo del modelo de cuña, explica que las contracciones de las capas de material que son desplegadas de su base, tiende a producir una cuña. (Davis et al, 1983. Dahlem et al, 1984).

El modelo geodinámico de cuña es válido para la cuenca de Sabinas como para la Sierra Madre Oriental. Este modelo explica como la contracción horizontal del material, separado del sustrato tiende a generar una cuña, la cual crece verticalmente provocado por la fuerza de gravedad. La geometría de la cuña desarrolla y refleja un equilibrio entre la tensión del material de ésta, necesaria para causar el deslizamiento a lo largo del esfuerzo principal. El desplazamiento principal fuerte, tenderá a generar acortamientos generando escarpes muy pronunciados como los que se presentan en el flanco norte de la Sierra Madre Oriental a la altura del Cañón de La Huasteca, Cañón de Villa de García y el flanco sur del Anticlinal de Las Mitras. El desplazamiento débil tenderá a generar el acortamiento sobre una zona más amplia, y creará una cuña más suave sobre la rampa.

- En el diagrama se muestran dos mecanismos diferentes que intervienen en la formación de la estructura de caja como de los pliegues en las sierras de las Mitras, Anticlinal de Los Muertos y la Sierra del Fraile, figura 7.5.6.9. La formación de la caja y los pliegues ocurren a través de la migración de la bisagra, esto es similar a lo que ocurre durante la formación de los esquistos. Posteriormente el estrato del limbo se coloca en forma vertical formando un ángulo de 90°. Este tipo de migración de bisagra es similar al mecanismo que da lugar falla-pliegue y a propagación de falla tipo plegamiento. (Suppe, 1983, Medwedeff, 1990)
- Las estructuras de caja plegue se forman a través de un combamiento. El limbo vertical en este modelo forma lengüetas a través de la rotación de cuerpos rígidos. El mecanismo operador del modelo plegue-caja requiere de estratos móviles y plásticos, tal es el caso de los yesos y anhidritas presentes en la Formación Minas Viejas y en la Formación Acatita dentro del área de estudio.

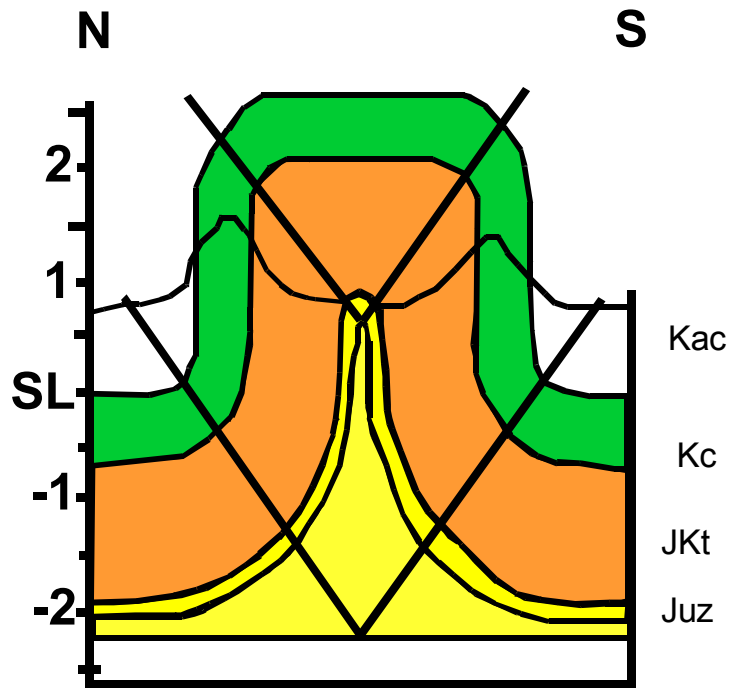


Figura 7.5.6.9. Modelo de caja utilizado para explicar la deformación de las estructuras en el Noreste de México.

A partir de estos criterios se logró determinar el modelo geodinámico que dio lugar al plegamiento de las estructuras en el área investigada en lo que corresponde a las diferentes estructuras que conforman que delimitan el Fraccionamiento Dinastía, dicho concepto está basado en los siguientes elementos:

- Presencia de evaporitas en la Formación Minas Viejas del Jurásico Inferior.
- Rocas clásticas y carbonatadas, las cuales conforman las estructuras de la mayoría de las sierras de la región Noreste de México.
- Despegue basal, en el flanco sur del Potrero de Villa de García.
- Los cabalgamientos observados en el área investigada tienen una geometría lítrica por lo cual son el resultado de llanos y rampas alternantes como las que se presentan en el flanco Norte de la Sierra Madre Oriental, hacia el sinclinal del Penal.
- La vergencia de los movimientos que dieron lugar a los cabalgamientos en el área de investigación, procedieron del norte, producto del último evento orogénico ocurrido en el Eoceno.

La apertura del ángulo de la cuña depende de la resistencia del material que forma la rampa de despegue basal. Los despegues en rocas dúctiles (yesos y anhidritas) y menos resistentes, su prolongación es mayor, siendo menor el acortamiento, figura 7.11a.

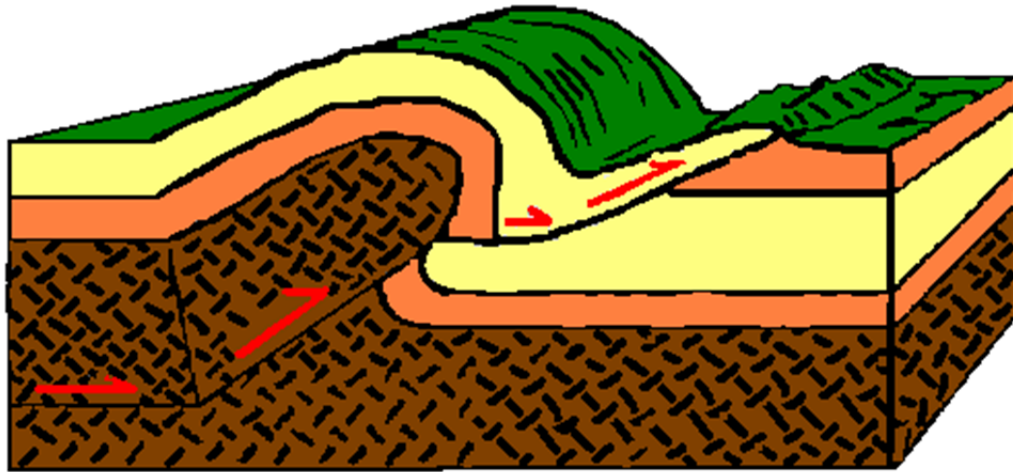


Figura 7.5.6.9a. Modelo sobre el cabalgamiento de las estructuras que conforman la Sierra Madre Oriental.

Los tipos de fallas identificados son fallas normales y laterales con un componente normal. Las zonas de falla se caracteriza por presentar rocas de baja presión como son lutitas y margas correspondientes a las formaciones Méndez, San Felipe y Agua Nueva, que están expuestas en los diferentes cortes: Cerro del Mirador, Loma Larga a la altura del túnel, Cerro de la Campana, Cerro Ventanas, La Diana, San Jerónimo, Las Lajas etc. En los afloramientos descritos sobre las diferentes unidades geológicas se lograron identificar estructuras microscópicas como estrías y escalones con los cuales se determinó la actitud estructural de los planos de falla. Las rocas afectadas son de origen sedimentario, son rocas muy deleznable poco competentes a la deformación, se encuentran afectadas por planos regulares de fallas laterales y normales que favorecen el deslizamiento de bloques. También favorecen la erosión de las rocas, aunado al intemperismo intenso a lo largo de millones de años, formando cañadas angostas y longitudinales que llegan hasta las zonas bajas del Área Metropolitana de Monterrey.

A partir del modelo estructural de cabalgamientos basado en información de campo, levantamiento de secciones geológicas apoyadas con imágenes de satélite y descripción de afloramientos, en las estructuras correspondientes a los Anticlinales Las Mitras, San Jerónimo- Vista Hermosa y Loma Larga, se logró definir la presencia de plegamientos al colisionar los ejes de las estructuras correspondientes al Cerro de Las Mitras y la estructura de la Loma Larga. Dicho fallamiento y fracturamiento esta asociado a esfuerzos compresivos y de distensión provocando plegamientos y deflexión en el buzamiento de ambas estructuras, la colisión provocó en la estructura de la Loma larga un sistema de rupturas en diferentes secciones de la sierra, prueba de ello es el plegamiento que se observa a la altura del monumento a La Diana, rumbo NW-60 SE formando una falla- pliegue de desplazamiento lateral dextral, otro punto donde se presenta el mismo fenómeno; se localiza en el corte de las avenida Alfonso Reyes a la altura del Cerro de la Campana.

Los macizos rocosos se encuentran en la mayoría de los casos afectados por planos de debilidad o discontinuidades. Estos planos de discontinuidad pueden ser de estratificación, así como de diaclasas o fracturas. Estás pueden estar o no estar rellenas y en este último caso es importante identificar el tipo de relleno, ya que este condiciona en gran parte la resistencia al cortante y la estabilidad del macizo.

El levantamiento y recolección de datos estructurales se llevó a cabo con brújula de tipo Brunton azimutal y es con este criterio con el que se realizaron los análisis en la red de Schmidt. El patrón de fracturas medido en campo tiene un rumbo NE-SW dicho patrón, responde a fuerzas compresivas provenientes del Sur oeste, dichos esfuerzos dieron lugar a la curvatura que presenta la Sierra Madre Oriental a la altura de Monterrey, N. L. Mientras que la estratificación presenta un rumbo preferencial NW-SE. Estas direcciones preferenciales se muestran muy claras en la falsilla de Schmidt, la cuál es una representación estereográfica de los planos que nos define su rumbo y buzamiento.

7.5.7. Descripción de taludes en el fraccionamiento Privanzas

7.5.7.1. Factores influyentes en la inestabilidad

La estabilidad de un talud está determinada por factores geométricos (altura e inclinación), factores geológicos (condicionan la presencia de planos y/o zonas de debilidad y anisotropía en el talud), factores hidrogeológicos (presencia de agua) y factores geotécnicos o relacionados con el comportamiento mecánico del terreno (resistencia y deformabilidad).

La combinación de los factores citados puede determinar la condición de rotura a lo largo de una o varias superficies, y que sea cinemáticamente posible el movimiento de un cierto volumen de masa de suelo o roca. La posibilidad de rotura y los mecanismos y modelos de inestabilidad de los taludes están controlados principalmente por factores geológicos y geométricos.

7.5.7.1.1. Estratigrafía y litología

La naturaleza del material que forma un talud está íntimamente relacionada con el tipo de inestabilidad que este puede sufrir, presentando las diferentes litologías distinto grado de susceptibilidad potencial ante la ocurrencia de deslizamientos o roturas. Las propiedades físicas y resistentes de cada tipo de material, junto con la presencia de agua, gobiernan su comportamiento tensodeformacional y, por tanto, su estabilidad.

Aspectos como la alternancia de materiales de diferente litología, competencia y grado de alteración, o la presencia de capas de material blando o de estratos duros, controlan los tipos y la disposición de las superficies de rotura. En los suelos, que generalmente se pueden considerar homogéneos en comparación con los materiales rocosos, las diferencias en el grado de compactación, cementación, o granulometría predisponen zonas de debilidad y de circulación de agua, que pueden generar inestabilidades.

7.5.7.2. Análisis de cada uno de los taludes, causas y solución.

7.5.7.2.1. Descripción del talud ubicado entre el cadenamiento 0+150 y 0+165 hombro izquierdo de la vialidad



Fotografía 7.5.7.2.1. Talud ubicado entre los límites de la propiedad. Colinda con un edificio multifamiliar a 6 u 8 metros, aproximadamente. Cuenta con un descalzamiento importante en el pie (fotografía siguiente), lo cual lo vuelve inestable y susceptible a algún deslizamiento, aunado a un gran intemperismo.



Fotografía 7.5.7.2.1a. Medida en campo de la altura.

7.5.7.2.1.1. Análisis de causas probables de inestabilidad

La estructura geológica juega un papel definitivo en las condiciones de estabilidad de los taludes en macizos rocosos. La combinación de los elementos estructurales con los parámetros geométricos del talud, altura e inclinación, y su orientación, define los problemas de estabilidad que se pueden presentar.

La estructura del macizo rocoso queda definida por la distribución espacial de los sistemas de discontinuidades, que individualizan bloques más o menos competentes de matriz rocosa que se mantienen unidos entre sí por las características y propiedades resistentes de las discontinuidades.

La presencia de estos planos de debilidad (como superficies de estratificación, diaclasas, fallas, etc.) buzando hacia el frente del talud supone la existencia de planos de rotura y deslizamientos potenciales, y su orientación y disposición condiciona los tipos, modelos y mecanismos de inestabilidad.



Fotografía 7.5.7.2.1.1. En esta fotografía apreciamos las dimensiones del descalce.

En este sitio la principal causa probable de inestabilidad se debe al material de corte colocado a volteo producto de las excavaciones de la construcción del edificio.

Como se muestra en la imagen ya se presentó un deslizamiento de un bloque, esto debido a las cargas estáticas producidas por el peso del material aunado a esto las cargas dinámicas producidas por maquinaria que circula por encima del talud, ya que se encuentran en labores de construcción en el edificio.

7.5.7.2.1.2. Alternativas de solución

Como la principal causa de inestabilidad es el material colocado a volteo sobre el talud se recomienda estabilizar por medio de alguna de las siguientes recomendaciones:

- Recortar el material suelto, al paño del hueco que dejó el bloque desprendido, y recostar dicho material para proporcionarle un ángulo de reposo y conteniendo este con un muro de gaviones para evitar un posible deslave en temporada de lluvias, además para darle mayor soporte a este talud es conveniente colocar una línea de 6 anclas de 12 mts. de profundidad c/u.



Fotografía 7.5.7.2.1.2. Línea de 6 anclas activas, sobre la cual se colocará una línea de gaviones para estabilizar el material suelto.

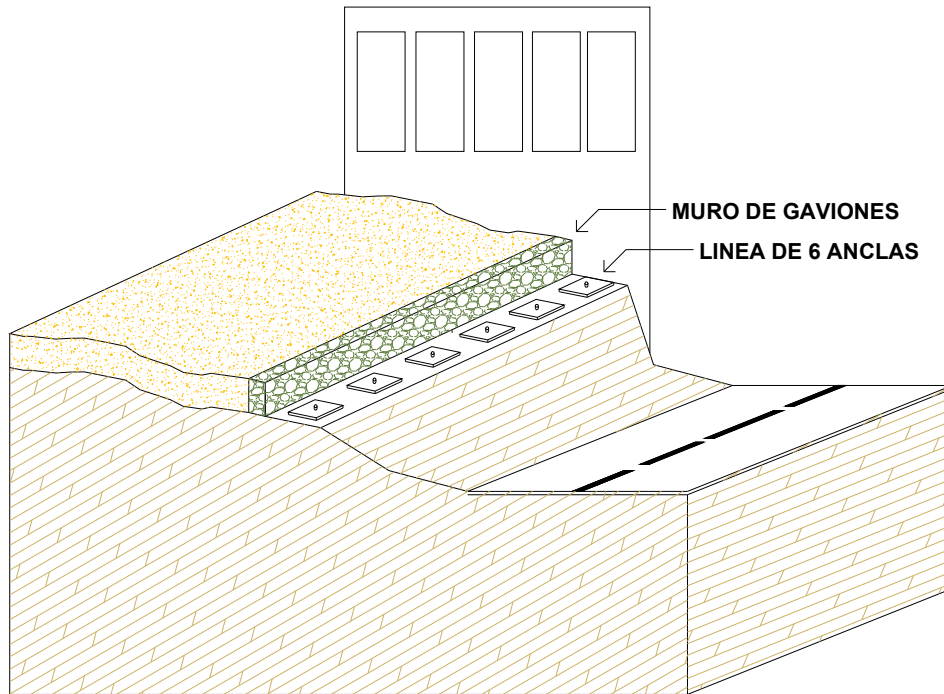


Figura 7.5.7.2.1.2. Ancla con profundidad de 12 metros, 4 metros de bulbo (1/3 de la longitud), con torones de 5/8". Tensados a 40 toneladas.

- La otra alternativa de solución, es retirar todo el material suelto y retirar la roca para posteriormente terracear por medio de tres líneas de gaviones, compactando cada 20 cm Para brindarle mayor estabilidad al talud.



Fotografía 7.5.7.2.1.2a. Posición de las líneas de gaviones.

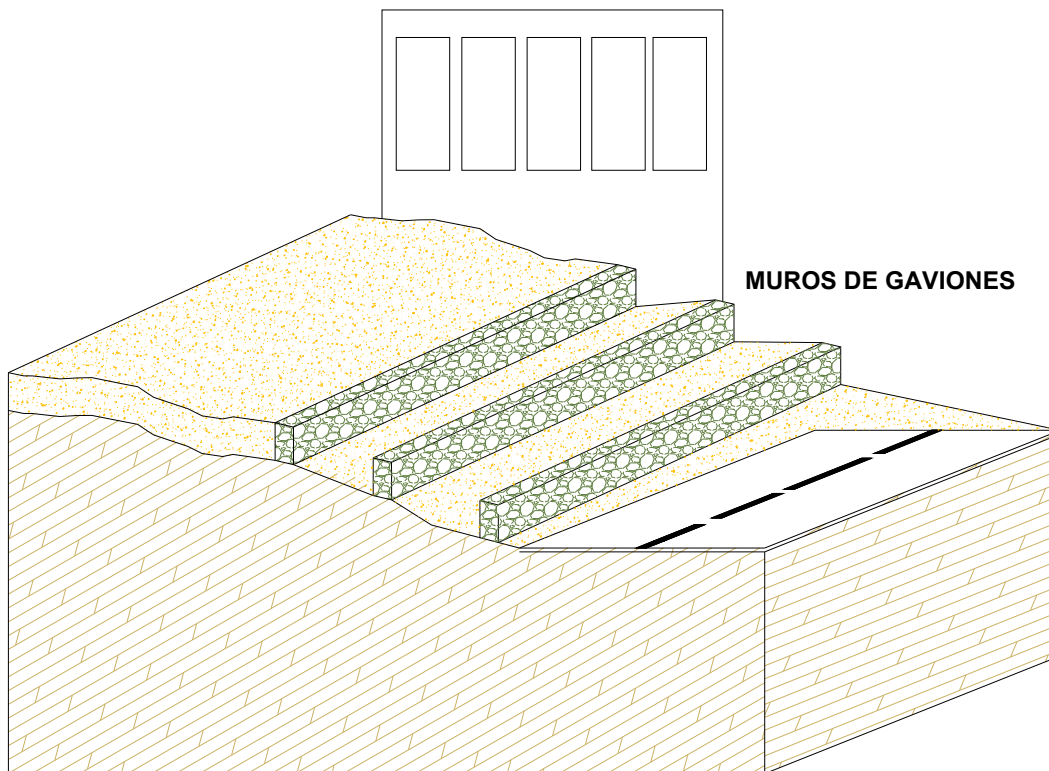


Figura 7.5.7.2.1.2a. Diseño de terrazas con muros de gaviones.

7.5.7.2.2. Descripción del talud ubicado entre el cadenamiento 0+150 y 0+165 hombro derecho de la vialidad



Fotografía 7.5.7.2.2. Material suelto producto del corte quedó sobrepuesto en el cuerpo del talud. El mayor problema para este caso, serían los arrastres de finos y material debido a la saturación del terreno en precipitaciones de consideración. Tales arrastres afectarían en primera instancia a los predios vecinos.

7.5.7.2.2.1. Análisis de causas probables de inestabilidad

La mayor parte de las roturas se producen por los efectos del agua en el terreno, como la generación de presiones intersticiales, o los arrastres y erosión, superficial o interna, de los materiales que forman el talud. En general, puede decirse que el agua es el mayor enemigo de la estabilidad de los taludes (además de las acciones antrópicas cuando se realizan excavaciones inadecuadas sin criterios geotécnicos).

La presencia de agua en un talud reduce su estabilidad al disminuir la resistencia del terreno y aumentar las fuerzas tendentes a la inestabilidad. Sus efectos más importantes son:

- Reducción de la resistencia al corte de los planos de rotura al disminuir la tensión normal efectiva.
- La presión ejercida sobre grietas de tracción aumenta las fuerzas que tienden al deslizamiento.
- Aumento del peso del material por saturación.
- Erosión interna por flujo subsuperficial o subterráneo.
- Meteorización y cambios en la composición mineralógica de los materiales.
- Apertura de discontinuidades por agua congelada.



Fotografía 7.5.7.2.2.1. En este sitio la principal causa probable de inestabilidad se debe al material de corte colocado a volteo. En esta zona se tiene un espesor aproximado de 60 cm de material suelto el cual se colocó sobre la roca que aflora de forma natural en el talud.

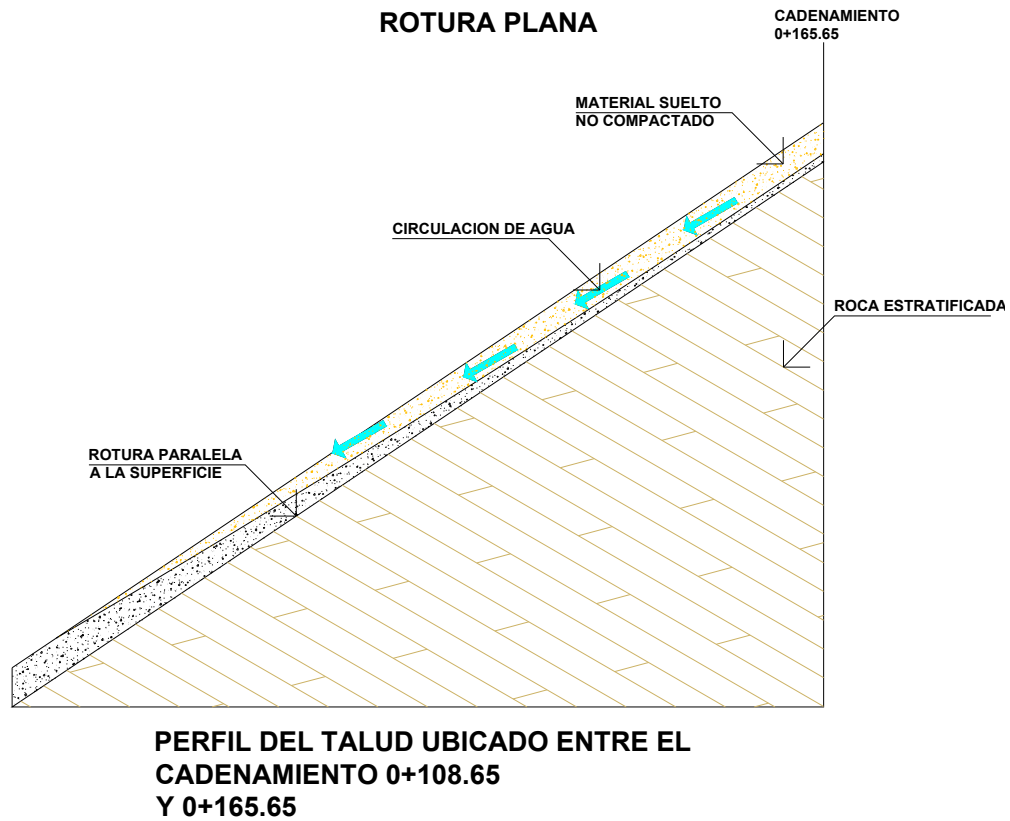


Figura 7.5.7.2.2.1. Esquema de rotura plana en el talud.

7.5.7.2.2. Alternativas de solución

- Para la mitigación y control de estos arrastres proponemos líneas de gaviones que funcionarían como filtros, principalmente en la zona donde se ha desmontado, pues en el resto del talud se conserva la vegetación, la cual otorga una resistencia natural a la erosión. El material suelto deberá colocarse y compactarse de manera adecuada, para proporcionarle mayor estabilidad al talud.

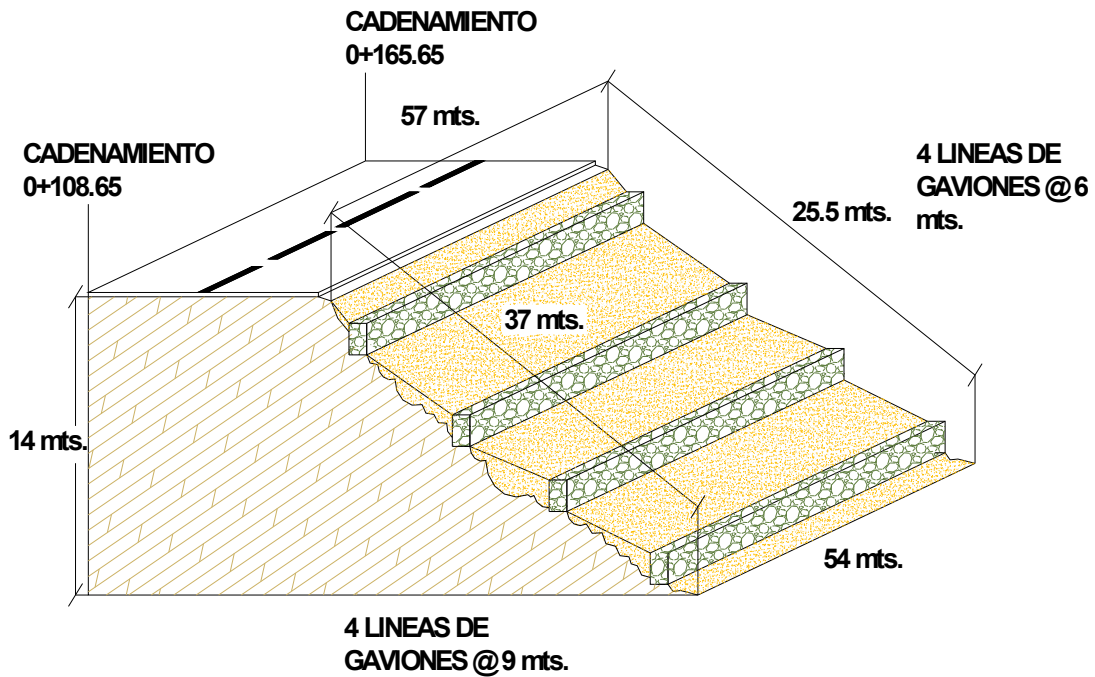


Figura 7.5.7.2.2.2. Líneas de gaviones para estabilizar el talud.

7.5.7.2.3. Descripción de los taludes ubicados entre el cadenamiento 0+000 y 0+108.65 hombro izquierdo de la vialidad





Fotografías 7.5.7.2.3, 7.5.7.2.3a y 7.5.7.2.3b. En esta zona no se observó problemas de estabilidad ya que el macizo rocoso presente se encuentra cortado en un ángulo que no afecta su estabilidad.

7.5.7.2.3.1. Análisis de causas probables de inestabilidad

La posible rotura de un talud a favor de una determinada superficie depende de la resistencia al corte de la misma. En primera instancia, esta resistencia depende de los parámetros resistentes del material: cohesión y rozamiento interno.

La influencia de la naturaleza de los suelos en sus propiedades mecánicas, implica que la selección de los parámetros resistentes representativos de la resistencia al corte, debe ser realizada teniendo en cuenta la historia geológica del material.

En macizos rocosos, son las propiedades resistentes de las discontinuidades y de la matriz rocosa las que controlan el comportamiento mecánico. en función de las características y estructura del macizo, de su red de fracturación y de la naturaleza de los materiales y de las discontinuidades, la resistencia vendrá controlada por las propiedades de las discontinuidades, por las propiedades de la matriz rocosa o por ambas.

7.5.7.2.3.2. Alternativas de solución

Cabe mencionar que estos taludes deberán quedar libres de material suelto producto de los cortes de estos taludes para evitar daños a personal que se encuentre ahí laborando.

Además es recomendable no cortar la vegetación existente sobre el talud ya que esta nos evitara problemas de erosión, reptación y fallas subsuperficiales.

Ya que dicha vegetación cumple dos funciones primordiales:

- Tiende a determinar el contenido de agua en la superficie.
- Proporciona consistencia y estabilidad por el entramado mecánico de sus raíces.

7.5.7.2.4. Descripción de los taludes ubicados entre el cadenamamiento 0+000 y 0+108.65 hombro derecho de la vialidad



Fotografía 7.5.7.2.4. Talud en vialidad.

7.5.7.2.4.1. Análisis de causas probables de inestabilidad

En este talud podría presentar algún deslave solo en caso de que se retire la vegetación que se encuentra sobre la ladera del talud.

7.5.7.2.4.2. Alternativas de solución

La única recomendación para asegurar este talud sería el de mantener la vegetación existente para que proporcione soporte natural.

7.5.7.2.5. Descripción del talud ubicado en la intersección de las dos vialidades del fraccionamiento cadenamiento 0+000 en dirección hacia al sureste 50 m.



Fotografía 7.5.7.2.5. Talud en el fraccionamiento.

7.5.7.2.5.1. Análisis de causas probables de inestabilidad



Fotografía 7.5.7.2.5.1. Fracturamiento en el macizo rocoso.

Los diferentes tipos de roturas están condicionados por el grado de fracturación del macizo rocoso y por la orientación y distribución de las discontinuidades con respecto al talud, quedando la estabilidad definida por los parámetros resistentes de las discontinuidades y de la matriz rocosa.

En macizos rocosos duros o resistentes, las discontinuidades determinan la situación de los planos de rotura. En macizos formados por rocas blandas poco competentes, la matriz rocosa juega un papel importante en la generación de estos planos y el mecanismo de rotura.

7.5.7.2.5.2. Alternativas de solución



Fotografía 7.5.7.2.5.2. Planos de debilidad, en este caso corresponden a estratificación.

- Línea de anclaje para proporcionarle estabilidad al talud.
- Cortar el talud en forma terrazada y estabilizarlo sin necesidad de anclaje.



Fotografía 7.5.7.2.5.2a. Estabilización de talud mediante anclas.

7.5.7.2.6. Descripción de los taludes ubicados entre el cadenamiento 0+100 a 0+270 hombro derecho de la vialidad en sentido poniente-oriente.



Fotografías 7.5.7.2.6 y 7.5.7.2.6a. Taludes en vialidad del fraccionamiento.

En esta zona solo se observó un talud crítico, el cual puede sufrir algún deslizamiento, dicho talud se encuentra hacia la izquierda de la cañada existente que cruza la vialidad.

7.5.7.2.6.1. Análisis de causas probables de inestabilidad



Fotografía 7.5.7.2.6.1. Talud recostado en el fraccionamiento.

Los taludes en suelos rompen generalmente a favor de superficies curvas, con forma diversa condicionada por la morfología y estratigrafía del talud.

- Puede ser aproximadamente circular (la más frecuente), con su extremo inferior en el pie del talud, (deslizamiento de pie), cuando este está formado por terreno homogéneo o por varios estratos de propiedades geotécnicas homogéneas.
- Puede ser casi circular pero pasando por debajo del pie del talud (deslizamiento profundo).

Si se dan determinadas condiciones en el talud, como la existencia de estratos o capas de diferente material puede tener lugar una rotura a favor de a una superficie plana o de una superficie poligonal formada por varios tramos planos.

Las roturas de taludes en suelos a favor de un único plano paralelo al talud son prácticamente inexistentes, aunque este modelo puede ser válido en el caso de laderas naturales con recubrimientos de suelos sobre rocas.

7.5.7.2.6.2. Alternativas de solución



Fotografía 7.5.7.2.6.2. Nivel de la terraza propuesta para incrementar la estabilidad del talud.

- Para proporcionarle mayor estabilidad se recomienda terracear este talud.
- En algunos tramos de la vialidad recomendamos la colocación de malla, para controlar así los posibles desprendimientos de material.

7.5.7.2.7. Descripción de los taludes ubicados entre el cadenamiento 0+100 a 0+270 hombro izquierdo de la vialidad en sentido poniente-oriente.



Fotografía 7.5.7.2.7. Talud existente frente a la iglesia. El afloramiento del estrato rocoso se hace visible en el corte.

7.5.7.2.7.1. Análisis de causas probables de inestabilidad



Fotografía 7.5.7.2.7.1. Un acercamiento de la imagen anterior. El estrato rocoso aflora casi inmediatamente en la superficie del talud. En algunas secciones se observa el efecto del intemperismo.



Fotografía 7.5.7.2.7.1a. La edificación de la iglesia se encuentra prácticamente en frente del corte del talud existente.

7.5.7.2.7.2. Alternativas de solución

- Se propone líneas de gaviones en la base del talud para retener posibles finos. Existe una distancia considerable del pie del talud a la construcción de la iglesia, la cual en caso de algún arrastre de material a causa de precipitaciones, ayudaría amortiguando y reteniendo gran parte de estos materiales.



Fotografía 7.5.7.2.7.2. Líneas de gaviones en la base del talud para retener posibles finos.

7.5.7.2.8. Descripción de los taludes ubicados entre el cadenamiento 0+270 en adelante hasta donde termina la vialidad en sentido poniente-oriente.



Fotografía 7.5.7.2.8. Vista de talud.



Fotografía 7.5.7.2.8a. Vista de talud.



Fotografía 7.5.7.2.8b. Vista de talud.



Fotografía 7.5.7.2.8c. Vista de talud.



Fotografía 7.5.7.2.8d. Vista de talud.



Fotografía 7.5.7.2.8e. Vista de talud.



Fotografía 7.5.7.2.8f. Vista de talud.

Como se logra observar en esta zona, los taludes no muestran problemas de estabilidad.

Solo sería conveniente retirar las rocas o material suelto que se encuentre presente producto de las obras que ahí se llevan a cabo.

7.5.8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en los trabajos de geología de campo fue posible determinar el comportamiento geológico y estructural del sitio investigado, dentro del predio, apoyados, con datos estructurales, rumbo de la fractura, echado, descripción de afloramientos, determinación del grado de intemperismo, carsticidad, estratigrafía, espesor de afloramientos, fotointerpretación así como de cuatro líneas de sísmica de refracción A partir de dicha información fue posible concluir los siguientes:

7.5.8.1. Conclusiones de riesgo geológico

De acuerdo a la zonificación aplicando la matriz de eventos correspondientes al Fraccionamiento Privanzas 4° Sector en el Cerro del Mirador Municipio de San Pedro Garza García, N. L., se logró establecer lo siguiente:

Zona Poniente. Sendero de las Privanzas se observan los taludes más críticos del Fraccionamiento, algunos de ellos están descalzados, sus cortes fueron perpendicular a los echados de la estructura, solamente el grado de cohesión los mantiene unidos, su unión es muy débil. El dominio de fallas en este tipo de taludes es planar a lo largo de los planos de estratificación, dentro de este grupo también se incluyen los taludes formados de material de relleno. Corresponde a un talud donde la secuencia sedimentaria presenta estratificación con riesgo de desprenderse, sobre todo el que se encuentra en el límite del predio, se recomienda a la brevedad posible aplicar técnicas de remediación. De acuerdo a los parámetros aplicados, se le clasificó como de **riesgo controlable**.

- Las técnicas recomendadas para estabilizar el talud son a base de anclas activas con una profundidad de diseño de 12 m de longitud postensadas a 40 toneladas con torones de 5/8 de diámetro c/u.
- La otra solución será la colocación de gaviones de acuerdo a diseño anexo, perfilando el talud.
- Talud norte sobre la misma avenida (Sendero de las Privanzas) la técnica de remediación para controlar el pateo es la colocación de gaviones a diferentes niveles, con resacas de bermas para construir el muro flexible.
- **Zonas Oriente.** Fue clasificada como de **riesgo controlable** de acuerdo a su pendiente, tipo de roca, grado de intemperismo, cota sobre el nivel del mar; dicha zona se ubica en el flanco Nor oriental del Cerro El Mirador, el grado de cohesión en los cortes es más estable por lo cual se recomendó la colocación de malla triple torsión anclada con escarpas para el control de bloques que se llegaran a desprender durante algún evento meteorológico en la zona.

7.5.8.2. Conclusiones estructurales

- El patrón de fracturamiento presente en el área de estudio tiene un rumbo NW- SE y NE-SW, existiendo un dominio preponderante de fracturas con rumbo NW-SE, este patrón de fracturamiento responde a los esfuerzos provenientes del norte que dieron lugar al plegamiento de la Sierra Madre Oriental.

7.5.9. Recomendaciones:

- Durante la traza de las avenidas es importante identificar aquellos taludes que presenten riesgo de deslizamiento.
- Interpretación de zonas de riesgo mediante la variable de peligro y su relación con su extensión.
- Aplicación de técnicas de remediación para el control del deslizamiento de taludes mediante técnicas convencionales como: anclajes, mallas electrosoldadas, bio-mallas a base de fibra de cáscara de coco, etc.
- Recostamiento de aquellos taludes con alturas mayores de 6.00 metros.

Bibliografía

1. Aguilar H. 1976.- III Simposium De Geología De Subsuelo Zona Noreste. Reynosa Tamaulipas. Mayo 1976.
2. Bartolini C., Buffler. R.T., Cantu Ch.A., 2001.- The Western Gulf of Mexico Basin, Tectonics, Sedimentary Basins, and Petroleum Systems. The American Association of Petroleum Geologists Tulsa, Oklahoma, U.S.A.
3. Rodríguez MJ.M, Ferriño Fierro A.L., 2005. Atlas de Riesgo Geológico e Hidrometeorológico del Área Metropolitana de Monterrey.
4. Rodríguez M. J. M., Yutsis V. Arriaga L.E., Sánchez La B.D., 2005. La Falla De San Marcos En La Conjunción Entre Los Valles De Cuatro Ciénegas y El Hundido, en el Estado de Coahuila, México, Análisis Gravimétrico. Congreso Internacional de Tectónica, Moscú, Rusia, Febrero 2005.
5. Salazar. A., 2005. Características de los taludes. Bogotá, Colombia.
6. Zwanzinger.J.A., 1976. Geología Regional del Sistema Sedimentario Cupido. III Simposium de Geología de Subsuelo Zona Noreste, Reynosa, Tamaulipas. Pág. 134-159. Mayo 1976.

7.6. ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO EN EL CERRO DE LA CORONA UBICADO EN EL MUNICIPIO DE SAN PEDRO GARZA GARCÍA, NUEVO LEÓN

Resumen ejecutivo

Los eventos provocados por las lluvias torrenciales ocurridas el año pasado (2010) en el área Metropolitana, ocasionaron desprendimientos de grandes bloques y la remoción de masas del suelo proveniente de la parte alta de las laderas, en las zonas residenciales de Olinalá y los Colorines, municipio de San Pedro Garza García, Nuevo León.

Durante los recorridos realizados en la toma de datos geológicos, se logró comprobar que algunos bloques se encuentran en los bordes de la brecha sedimentaria, con el riesgo de deslizarse en cualquier momento, pudiendo generar daños a la casa habitación ubicada en la parte sur del predio

El estudio realizado en el Cerro de la Corona, principalmente en el perímetro de la Brecha sedimentaria arrojó que los sitios de riesgo se ubican en los puntos 1 y 2 según se describen en la **Figura 10**. Para el Punto 1, las observaciones pertinentes ya se han manifestado en estudios anteriores, sin embargo, si se llegase a utilizar maquinaria pesada con el propósito de urbanización o modificación del entorno, se debiera tomar las precauciones pertinentes. Para el Punto 2, el caso es diferente, debido al posible retroceso del corte del talud, que al parecer se observa muy probable, es necesario tomar las medidas necesarias antes que un evento hidrometeorológico continúe el escenario ya establecido.

Antecedentes

El departamento de Geohidrología y Geofísica (DGG) ha realizado en el Cerro de la Corona dos estudios de riesgo geológico con anterioridad, el *primero* “**ESTUDIO DE RIESGO GEOLÓGICO EN EL CERRO DE LA CORONA, MUNICIPIO DE SAN PEDRO GARZA GARCÍA, N. L.**”, realizado en abril del 2006, posteriormente “**ESTUDIO IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CÁRSTICAS MEDIANTE, TÉCNICAS DE GEORADAR (SIR-3000) EN EL CERRO DE LA CORONA, MUNICIPIO DE SAN PEDRO GARZA GARCÍA, N. L.**” llevado a cabo en diciembre del 2007, sin contar aquellos estudios realizados por otras instituciones de servicio público. Como es de notarse el área de estudio cuenta con un sinnúmero de registros y estudios, sin embargo, las condiciones geodinámicas del sitio hasta el día de hoy, es afectado por los eventos hidrometeorológicos, escenarios que en esta última década se han registrado siniestralidades en dicha localidad; situaciones que nos llevan a concluir que los riesgos geológicos son considerados como de las peores catástrofes, originando grandes pérdidas humanas y materiales, dichos riesgos son productos de las condiciones geoestructurales del área tales como fallas geológicas, deslizamiento de materiales (bloques), inundaciones, combinación de eventos meteorológicos y la acción antropogénica.

A fines del 2002 se presentaron desprendimientos de bloques provenientes de la parte superior del Cerro de La Corona, ocasionando daños materiales en una de las casas habitación localizada en el Fraccionamiento Residencial Chipinque, ubicado al poniente del cerro.

Las causas que provocaron los deslizamientos en el 2002 en el Cerro de La Corona fueron las siguientes:

- La desestabilización del talud por el corte de la pista del Club Alpino Chipinque.
- La construcción de un depósito para abastecer de agua a la zona, el cual fue construido sobre rocas cuya estructura y estabilidad fue modificada.
- Socavamiento generado por las fugas del aljibe (cisterna) formando cárcavas, las que provocaron deslizamientos y fracturaron la estructura del aljibe lo que aceleró el proceso de erosión y el desprendimiento de grandes bloques que rodaron pendiente abajo.

Los eventos provocados por las lluvias torrenciales ocurridas el año pasado (2010) en el área Metropolitana, ocasionaron desprendimientos de grandes bloques y las fluencias de suelo proveniente de la parte alta de las laderas, en las zonas residenciales de Olinalá y los Colorines, municipio de San Pedro Garza García, Nuevo León.

Durante los recorridos realizados en la toma de datos geológicos, se logró comprobar que algunos bloques se encuentran en los bordes de la brecha sedimentaria, con el riesgo de deslizarse en cualquier momento, pudiendo generar daños a la casa habitación ubicada en la parte sur del predio.

Justificación

El desarrollo de la sociedad prácticamente es inevitable, parte de este desarrollo está íntimamente relacionado con el crecimiento urbano, el cual ha extendido a zonas de de residenciales de alto riesgo; la planeación del crecimiento del Municipio de San Pedro Garza García, N. L. en zonas de montaña debe de incluir la variable de riesgo a fin de orientar este crecimiento y evitar asentamientos en zonas inestables. El presente estudio tiene, debido a las condiciones del sitio, una plena justificación para los propósitos de desarrollo en esta área y para todas las zonas de montaña, por lo que cualquier trabajo, que lleve al conocimiento y prevención del desarrollo estará siempre justificado.

Localización

El área de estudio se localiza en la cima del Cerro La Corona, el cual a su vez se encuentra en el flanco norte de la Sierra Madre Oriental dentro el municipio de San Pedro Garza García, N.L. **Figura 7.6.**

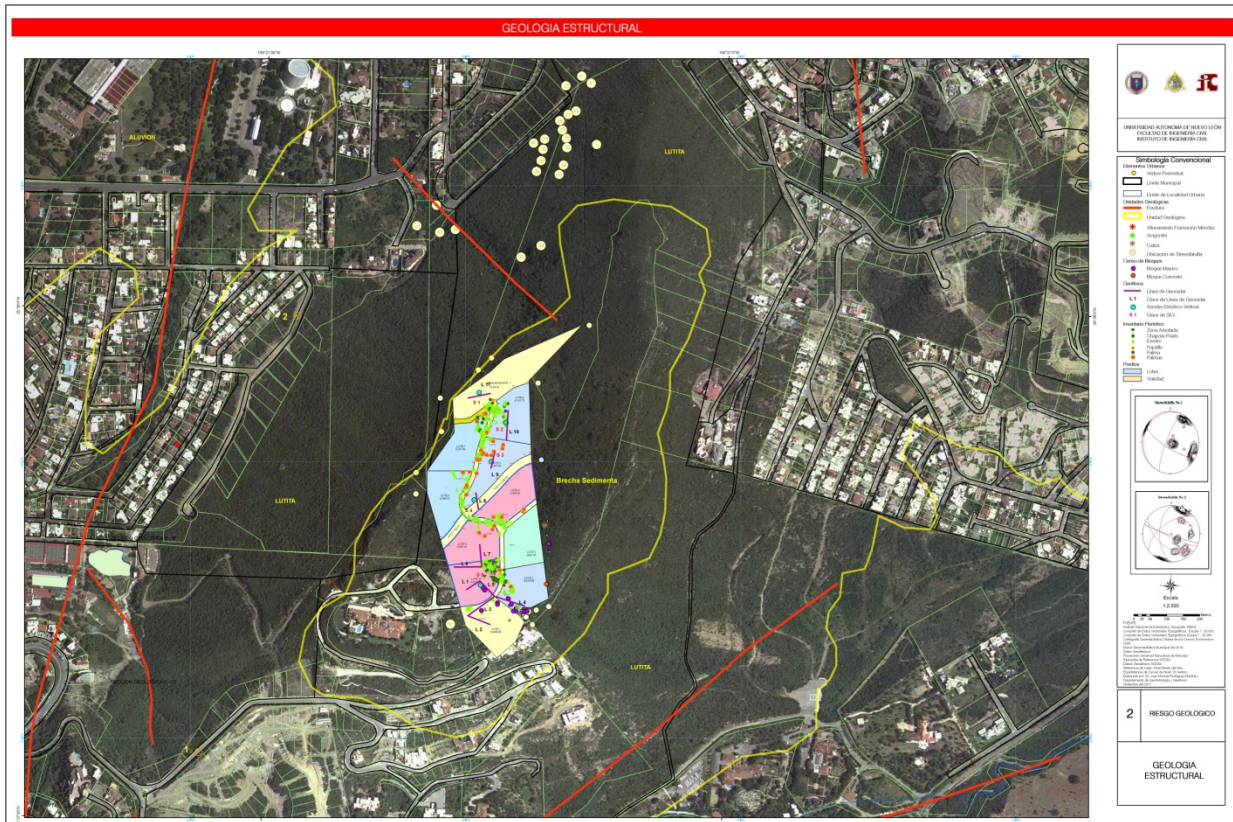


Figura 7.6. Ubicación del área de estudio.

Geología

El Cerro de La Corona está formado principalmente por dos unidades sedimentarias cuyas características difieren en composición, en tiempo y origen; a continuación se describen cada una de ellas a partir de la base, hacia la cima. Como se muestra en la figura 7.6.2 donde podemos notar el cómo se encuentran estos dos bloques en las Secciones geológicas A-A', B-B' y C-C' localizados en la figura 7.6.2, estas secciones se pueden detallar en el plano 1 de riesgo geológico.

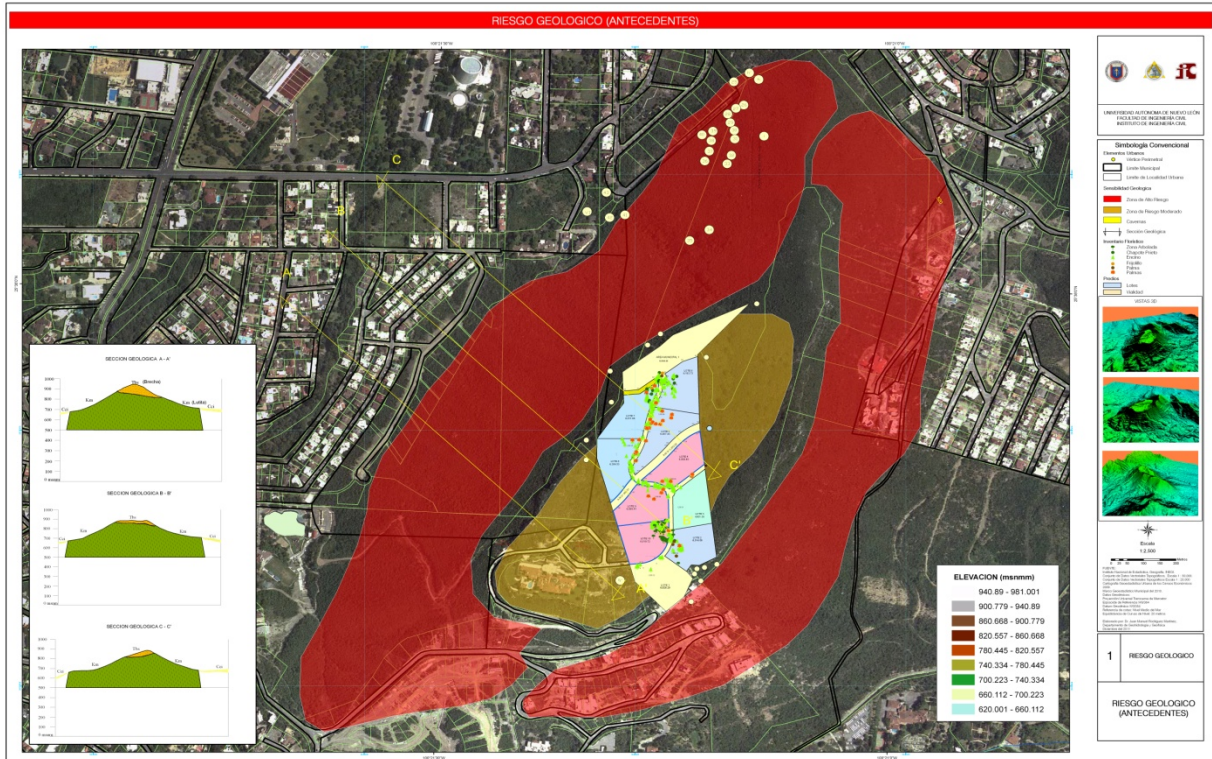


Figura 7.6.2. Mapa de riesgo geológico.

Formación Méndez (Cretácico Superior)

Esta formación es parte de la base del cerro, su composición litológica, son rocas del tipo de las lutitas, compuestas por arcillas, en general material de grano fino.

Se le observa a una altura promedio de los 800 msnm, entre las cotas 700-890; tiene una distribución muy generalizada en la región aledaña, como en el Cerro El Mirador hacia el Fraccionamiento Privanzas, por su flanco Norte o en Renacimiento hacia el flanco Sur; al poniente hacia el rumbo de la UDEM, en el Fraccionamiento Almena I, etc.

Debido a la composición mineralógica de la roca, esta es común que presente un intemperismo en forma de almendras o desgajamientos alargados; generalmente se muestra en rocas expuestas a la intemperie un color café claro a beige, aunque en la roca fresca se presente más oscura a tonos gris oscuro (figura 7.6.3).



Figura 7.6.3. Formación Méndez.

Brecha sedimentaria

Recibe este nombre a una unidad litológica que se encuentra ubicada encima de la Formación Méndez, se le observa formando escarpes en la parte alta del Cerro, el contacto entre ambas es de tipos discordante sobre la Méndez, esto quiere decir que no existe una secuencia de una litología a otra. La brecha sedimentaria está compuesta por fragmentos angulosos de diversos tamaños, sus clastos son rocas del tipo de las calizas cementadas por el mismo material de carbonato de calcio (CaCO_3). El alto contenido de carbonatos hace posible que la brecha sedimentaria se altamente susceptible a la disolución, reacción química muy común en este tipo de rocas debido a la disolución de los carbonatos por los ácidos carbónicos contenidos en el agua (figura 7.6.4).



Figura 7.6.4. Brecha sedimentaria.

Sección litológica

El Cerro de La Corona tiene una distribución vertical prácticamente bien diferenciada, como ya se ha descrito anteriormente, la brecha sedimentaria está bien definida debido a sus características propias en respuesta al intemperismo y erosión, esta características de diferenciación radican en la dureza de la caliza la cual se muestra como una unidad dura bien compacta, con paredes o taludes verticales y un espesor aproximado de 10-15m En cuanto a la Formación Méndez se muestra menos resistente que la caliza debido a su composición arcillosa, por lo que se le observa con pendientes fuertes pero no abruptas, con pendientes de 50-60 grados, (Figura 7.6.5).

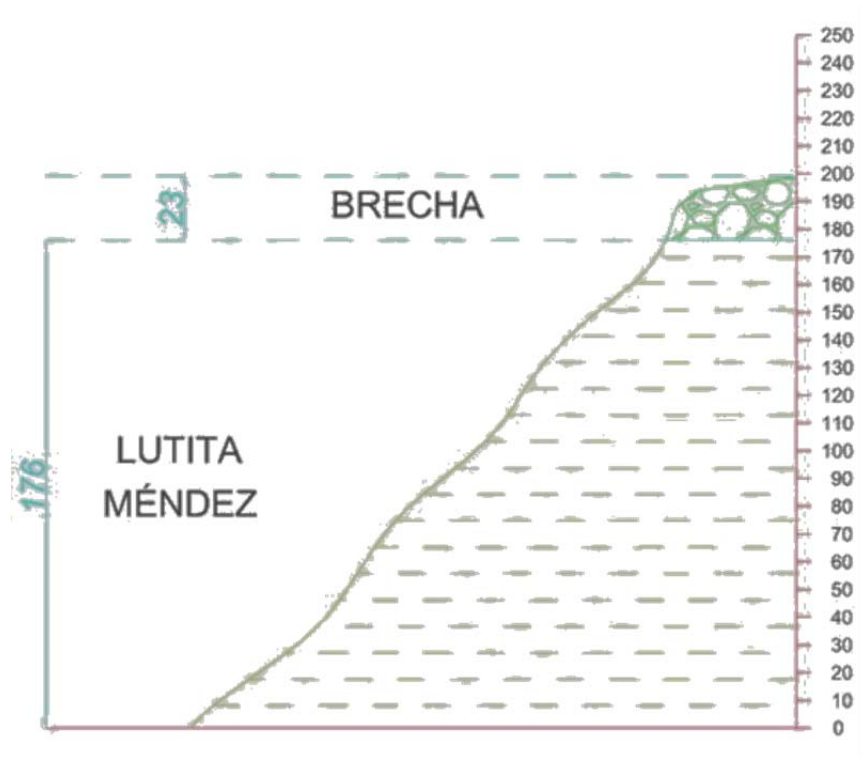


Figura 7.6.5. Sección esquemática de la distribución vertical de litología en el Cerro de la Corona.

Mapa geológico

La distribución espacial de la litología en el Cerro de la Corona es apreciable a simple vista en el área de estudio, la Brecha sedimentaria se encuentra coronando al cerro (**figura 7.6.6**) con un espesor aproximado de 10-15m.

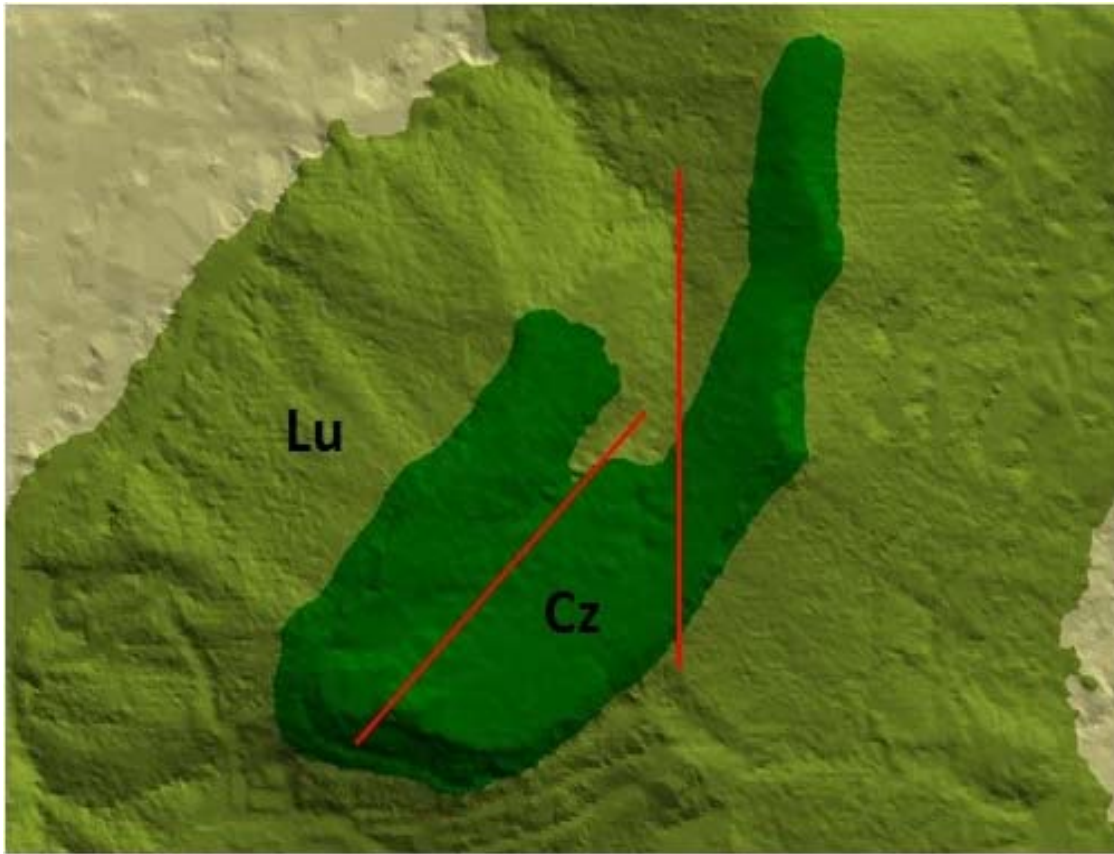
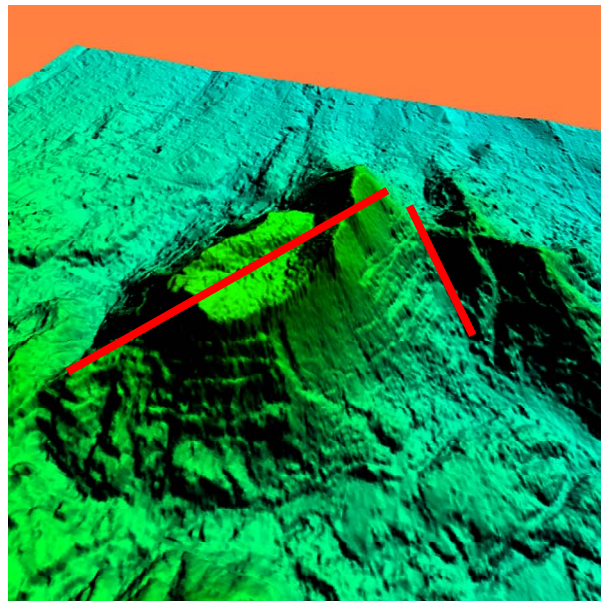
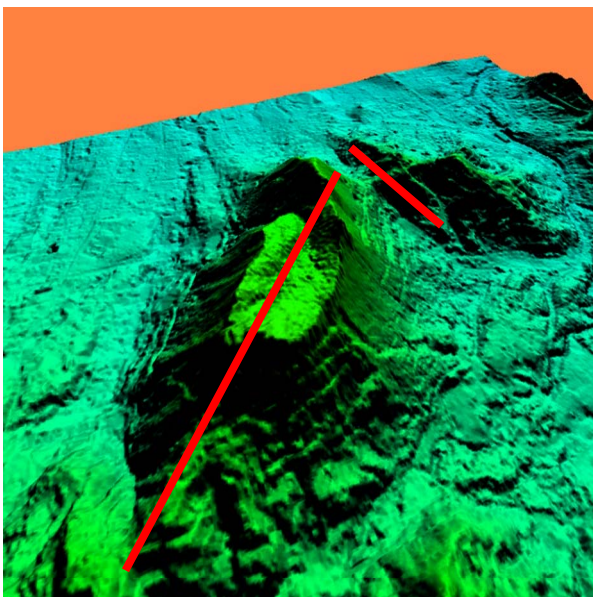


Figura 7.6.6. Mapa geológico esquemático.

De esta forma se distingue también dos fallas que pasan por el cerro de la corona que van norte a sur franco como se muestra en la **figura 7.6.6**. Esto se puede observar de mejor forma en las figuras en tercera dimensión en las **figuras 7.6.7 y 7.7.8** donde se distinguen mejor estas fallas.



Figuras 7.6.7 y 7.6.8. Bloques tridimensionales de altitud que muestran la estructura del Cerro de la Corona en rojo se marcan las fallas que pasan por el mismo.

Debido a su dureza esta roca muestra en su periferia pendientes abruptas casi de 90 grados (**figura 7.6.9**), así mismo es común observar una extrema disolución de la caliza, formando numerosas oquedades en la superficie rocosa y ensanchamientos de las fracturas provocando con esto la separación entre bloques.



Figura 7.6.9. Verticalidad de los bloques y disolución en planos de fractura.

Las lutitas están representadas por la Formación Méndez que se encuentra por debajo de la brecha, compone la mayor parte del cerro, inclusive en la mayoría de los cerros circunvecinos; esta formación debido a sus características propias que la identifican, tiene la tendencia general de degradarse por intemperismo en forma de almendrilla, sus pendientes son más suaves que la brecha.

El cerro muestra un sistema de fracturamiento con dos direcciones principales, la primera en una dirección casi N-S y la segunda con una dirección NE-SW (**Figura 7.6.6, 7.6.7 y 7.6. 8**).

Análisis del riesgo geológico

Como se comentó anteriormente, la brecha sedimentaria que corona el cerro del mismo nombre, muestra en sus taludes perimetrales fuertes escarpes producto de sus características propias; la roca, producto del intemperismo y probablemente de antiguos eventos de movimiento, presenta un sin número de fracturamiento, que junto con el proceso de disolución de la caliza en los planos de debilidad, como el de las fracturas, han producido: bloques aislados, aberturas entre bloques, dislocamiento de bloques, etc.

La Figura 7.6.10 representa las pendientes donde el color verde corresponde a los valores críticos (45-90 grados); los recorridos por el área, evidenciaron algunas zonas donde se observó algún riesgo de desprendimiento, estos, se describen en la misma Figura 10. Para su descripción se identificó las zonas de riesgo en dos sitios:

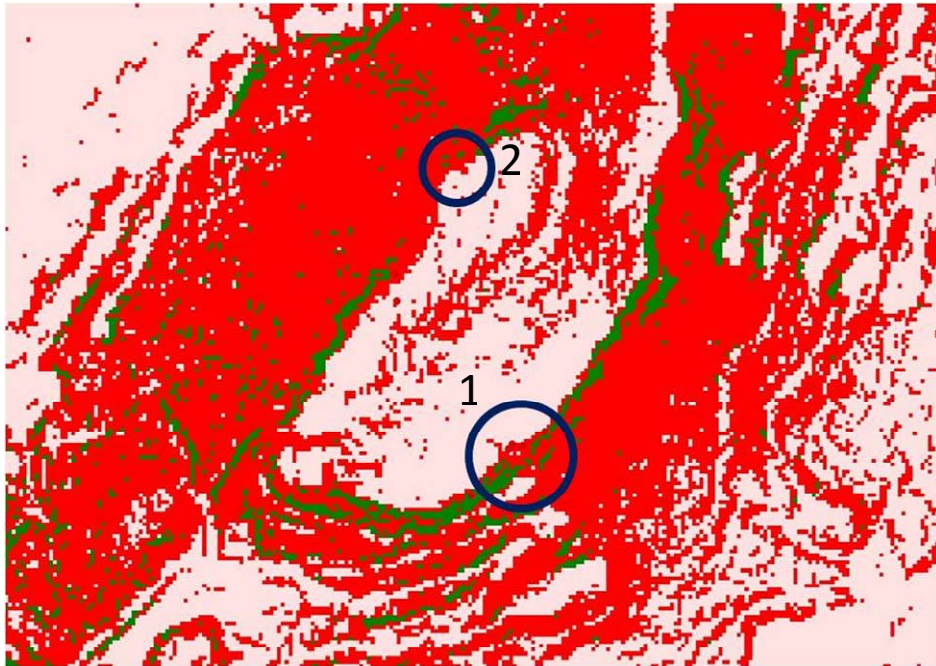


Figura 7.6.10. Mapa de pendientes y puntos de riesgo.

La figura 7.6.11 se muestran las pendientes que se tiene en el terreno denotándose los puntos más críticos con pendientes mayores de 45° en rojo y mostrando los lugares donde los deslizamientos se pueden presentar de forma inmediata.

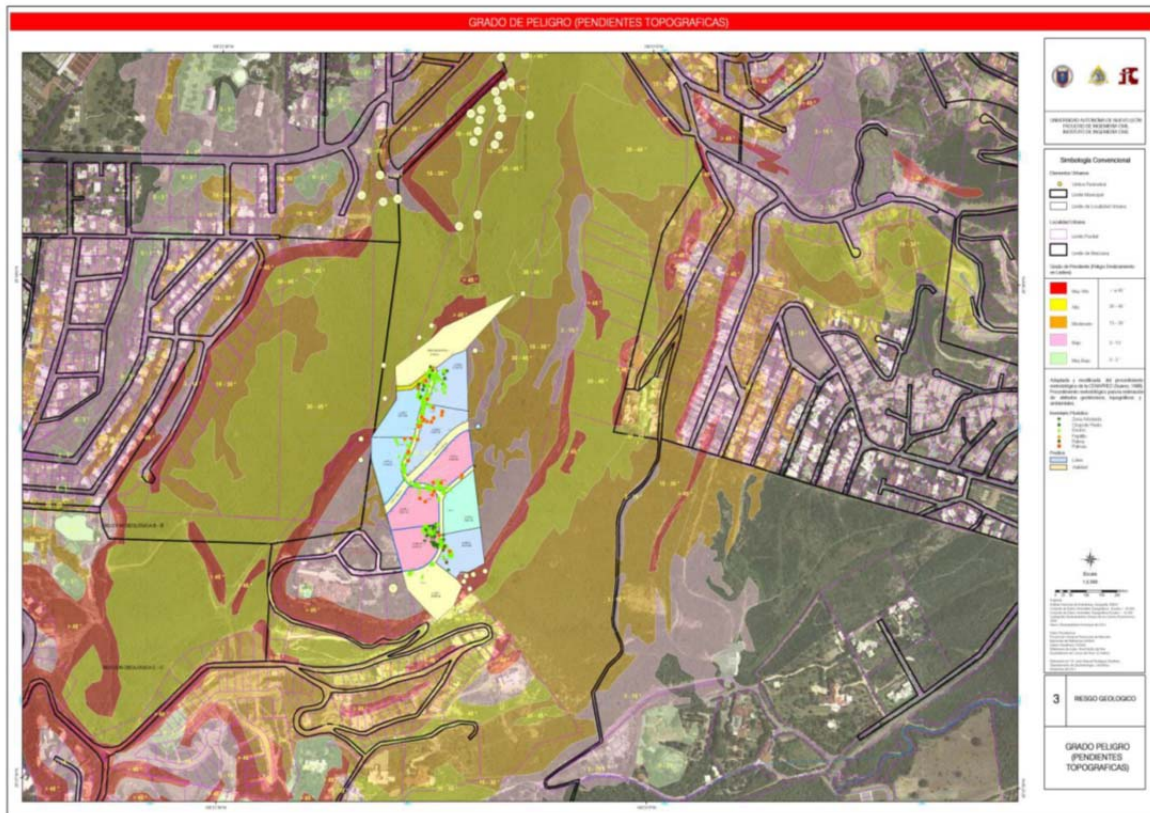


Figura 7.6.11. Mapa de pendientes del terreno en grados.

Punto 1a: Se ubica en la esquina sur oeste del predio; ahí se observó un bloque muy fracturado con planos de separación bien definidos con direcciones tanto verticales como inclinadas que ponen en riesgo a la infraestructura al pie del talud (Figura 7.6.12).

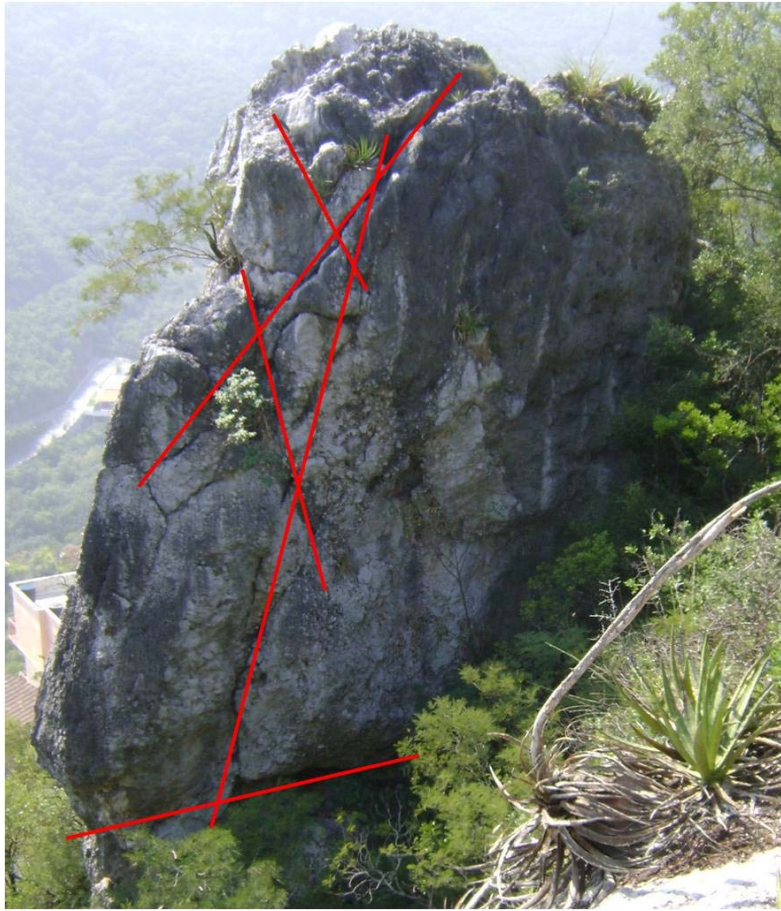


Figura 7.6.12. Planos de fractura.

Punto 1b: Este punto se localiza en la mojonera 21, donde la referencia también, es un tinaco para almacenamiento de agua; aquí la roca muestra fracturas verticales de despegue con planos inclinados hacia el sur, con riesgo de pateo hacia inmuebles domésticos en la parte baja (Figura 7.6.13).



Figura 7.6.13. Plano de fractura

Punto 1c: Se localiza en la esquina sur oeste del predio, en la mojonera 24; aquí se observaron fracturas verticales paralelas al plano del talud, como se muestra en la foto, el riesgo por deslizamiento es alto (Figura 7.6.14).



Figura 7.6.14. Plano de separación paralelo al plano del corte del talud.

Punto 2: Este punto está ubicado en el vértice Norte; donde se localiza un monolito que aparentemente se encuentra desprendido, sin embargo, con las lluvias de la tormenta del Álex, se suscitó un movimiento de tierra producto de la saturación de humedad del suelo; la ladera debido al peso, perdió estabilidad provocándose un alud de tierra; debido a que esto sucedió casi al pie del mencionado monolito, la situación de riesgo por deslizamiento aumentó. El mismo alud de tierra dejó el canal dispuesto para que el bloque en cuestión ruede si algún evento perturbador removiera dicha estructura o por lo contrario, la remoción de tierra continúe y descalce el bloque provocando que este se venga abajo (Figura 7.6.15).



Figura 7.6.15. Dirección de la remoción de masa provocada por la depresión tropical Álex en el mes de julio del 2010 en el Área Metropolitana de Monterrey y región periférica.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio realizado en el Cerro de La Corona, principalmente en el perímetro de la brecha sedimentaria arrojó que los sitios de riesgo se ubican en los puntos 1 y 2 según se describen en la Figura 7.6.6 para el Punto 1, las observaciones pertinentes ya se han manifestado en estudios anteriores, sin embargo, si se llegase a meter maquinaria con el propósito de urbanización o modificación del entorno mediante el uso de equipo pesado se debiera tomar las precauciones pertinentes. Para el Punto 2, el caso es diferente, debido al posible retroceso del corte del talud, que al parecer se observa muy probable, es necesario tomar las medidas necesarias antes que un evento hidrometeorológico continúe el escenario ya establecido.

7.7. COMPORTAMIENTO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO EN LA PARTE NOROESTE DEL CERRO EL MIRADOR, FRACCIONAMIENTO BALCONES DEL CAMPESTRE, SAN PEDRO GARZA GARCÍA, N. L.

Introducción

Este estudio está enfocado a la evaluación de las características geológicas, geomorfológicas, geotécnicas, estructurales, litológicas y geofísicas del área. El análisis de estas actividades servirá de base para complementar el proyecto de desarrollo urbano en Balcones del Campestre. La información generada en este estudio, permitirá proponer las medidas necesarias de seguridad para un desarrollo armónico del proyecto, aplicando técnicas de remediación y mitigación para controlar la erosión provocada por fenómenos meteorológicos en taludes y cañadas.

Antecedentes

La presente propuesta surge como una necesidad por parte del Instituto de Ingeniería Civil, a través de los Departamentos de Geohidrología y Geofísica y Mecánica de Suelos de la Universidad Autónoma de Nuevo León, de proporcionar normativas a la empresa Rondonia S. A. de C. V. para planificar el desarrollo urbanístico en Balcones del Campestre, tomando en cuenta los aspectos de riesgo geológico; con base en un conjunto de factores, entre los que destacan los siguientes: lineamientos estructurales (fallas y fracturas), pendiente del terreno, tipo de litología, identificando las zonas de riesgo que cumplan con una condicionante lógica que involucre los tres factores citados (Goodman, 1993).

Descripción del problema

El deslizamiento que se presenta en la zona está asociado a un conjunto de factores, entre los que destacan: intemperismo intenso, corte de talud vertical, lineamientos estructurales (fallas y fracturas), pendiente del macizo rocoso, tipo de litología y ausencia de drenaje pluvial en los muros.

Impacto y alcance del estudio

Se entiende por riesgo geológico al conjunto de procesos que asociados a la litosfera pueden llegar a dañar la integridad de los hombres y de sus bienes materiales (Aragón, 1993).

Todos los fenómenos considerados en el estudio están ligados a la geodinámica externa, es decir, a procesos modeladores del relieve, mismos que están controlados por accidentes geológicos profundos, como fallas y fracturas. De acuerdo con el IGME (1987), los riesgos ligados a la geodinámica externa se asocian a inundaciones, desprendimientos, deslizamientos, subsidencia, expansividad de suelos y erosión. Los deslizamientos ocurridos en el año 2002 y 2003 en la zona residencial de Olinalá y Lomas del Campestre en San Pedro Garza García, N. L., son de movimiento de ladera, el primero, y de deslizamiento de bloques el segundo (Delgado Argote, 1993).



A (Antes)



B (Después)

Fotografías 7.7. En ambas fotografías se observa el empuje del bloque sobre casa habitación y en la foto B se muestran las fracturas producto del esfuerzo compresivo del bloque.

Objetivo

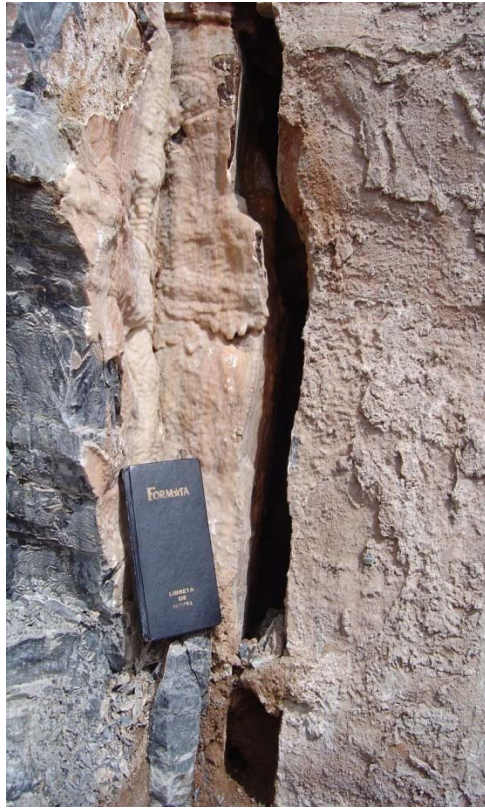
Garantizar la seguridad humana y de los bienes materiales mediante un estudio de riesgo geológico estableciendo las zonas con mayor vulnerabilidad sujetas a deslizamientos de bloques, asentamientos diferenciales, gradación de suelos por la acción de flujos turbulentos que descienden a través de las cañadas en el área investigada.



Fotografía 7.7a. Fracturas producto del empuje del bloque sobre la casa.



Fotografía 7.7b. Toma de datos estructurales para determinar la descomposición de las fuerzas del bloque.



Fotografía 7.7c. Fractura generada por procesos de disolución en rocas calcáreas. Fraccionamiento Bosques del Campestre. San Pedro Garza García, N.L.



Fotografía 7.7d. Vista del talud que se deslizó sobre la casa habitación en el Fraccionamiento Bosques del Campestre, San Pedro Garza García, N.L.

Medidas regulatorias de construcción, que se deben de tomar en cuenta en el Fraccionamiento Balcones del Campestre, Municipio de San Pedro Garza García, N. L.

1. Deberá realizarse una supervisión diaria en el desarrollo de la obra, para determinar el equipo idóneo a utilizar, durante todos los trabajos de corte y excavación; lo anterior debido a la inestabilidad del material y la existencia de grietas y fracturas en el sitio.
2. Se deberá realizar un desmante en forma manual, en una superficie de aproximadamente ½ hectárea, cercana al bloque a perfilar, con el propósito de zonificar el área agrietada.
3. No se permitirá ninguna vía de acceso mientras el desmante en forma manual no se halla concluido.
4. Para realizar los cortes de las bermas, se recomienda utilizar una excavadora de brazo largo, el empuje de los materiales en forma lateral, de preferencia se debe de hacer con equipo ligero Bull Dozer D-5 o D-6.
5. Se recomienda que los cortes se realicen con un ángulo de 60°, la altura máxima de los taludes no deberá de ser mayor de 5.00 m, con una berma de 3.00 m de ancho, en el área colindante con las casas.
6. Previamente a estos trabajos, deberán efectuarse cortes escalonados como los que se muestran en el diagrama anexo, para formar bermas, las que serán utilizadas como plataformas de trabajo, donde se instalará el equipo requerido para realizar los cortes de cada escalón, hasta llegar al área afectada.
7. Por ningún motivo se deberá laborar en los cortes bajo condiciones lluviosas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL DEPARTAMENTO DE GEOHIDROLOGÍA Y GEOFÍSICA

- El patrón de fracturamiento observado en campo, en los afloramientos correspondientes a la Formación San Felipe, en el bloque expuesto en la zona afectada como en el área de estudio tiene un rumbo NE-SW.
- El fracturamiento que presenta la Formación San Felipe y toda la secuencia sedimentaria en el Cerro El Mirador, son producto de una tectónica compresiva.
- La Formación San Felipe presenta fracturamiento secundario en algunas partes, dichas fracturas se encuentran rellenas de calcita, esto nos conlleva a pensar que la mineralización está vinculada con procesos hidrotermales.
- En los caminamientos realizados se observó en la parte superior del bloque grietas paralelas al reliz; esto hace más riesgoso los trabajos de corte y perfilaje.
- Mediante la aplicación de sondeos eléctricos verticales, se logró definir la presencia de tres unidades litológicas, las cuales presentan diferente grado de intemperismo.

Recomendaciones

1. Antes de realizar la limpieza del área de deslizamiento, es necesario perfilar el bloque, colocando andamios para poder realizar los trabajos de corte y de esta manera poder proteger las propiedades de caídos.
2. Si la estabilidad del bloque lo permite, los cortes se pueden realizar mediante cuatro variantes:
 - a) Manualmente
 - b) Con martillo neumático
 - c) Equipo mecánico (excavadora de brazo largo)
 - d) Utilización de productos químicos para demoler el bloque.
3. Se debe de realizar un desmante en una superficie de aproximadamente ½ hectárea, cercana al bloque a perfilar, con el propósito de zonificar el área afectada por grietas.
4. Los trabajos de limpieza se deben de realizar en forma manual.
5. De acuerdo al bloque diagrama del macizo rocoso, se recomienda anclarlo con 12 torones distribuidos en forma proporcional al área expuesta.
6. Anclas de fricción de diámetro de 1" de 4200 Kg/cm² de presión colocadas a una profundidad de 10.00 m embebidas en mortero.
7. Se recomienda que los cortes se realicen con un ángulo de 60°, la altura máxima de los bancos (taludes) no debe de ser mayor de cinco metros, con una berma de 3.00 m de ancho.
8. A medida que se avance en los cortes del bloque, y la carga de éste sea aligerando la placa de las anclas se puede ir cortando ya sea con segueta o soplete. *(A fin de no modificar las propiedades físicas del material por calentamiento, es recomendable utilizar segueta en el corte).

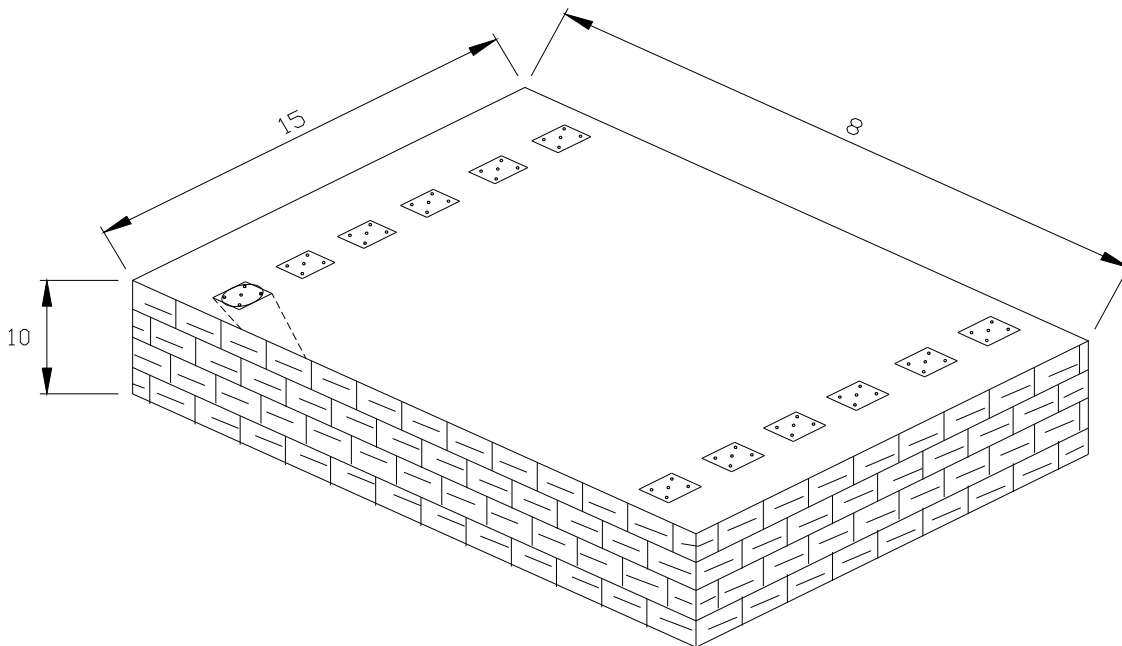
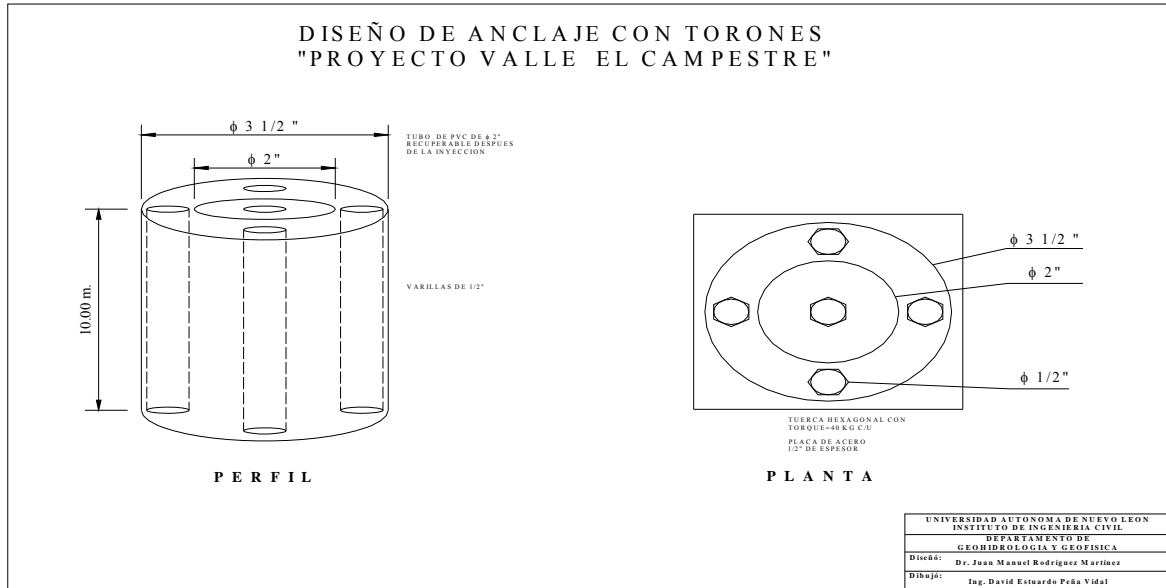


Figura 7.7. Distribución de las anclas para estabilizar el talud.

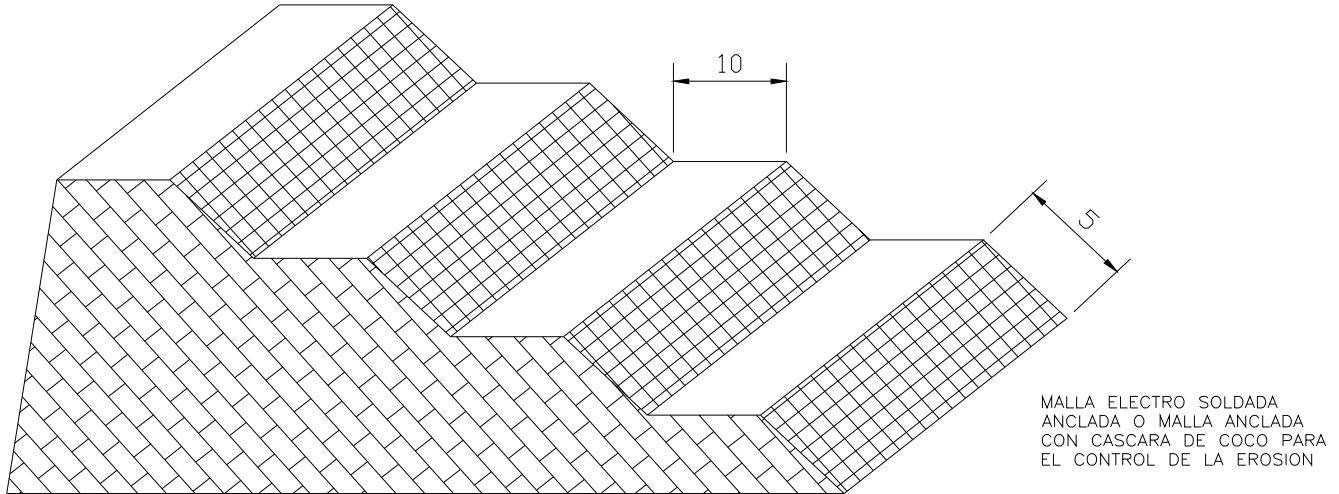
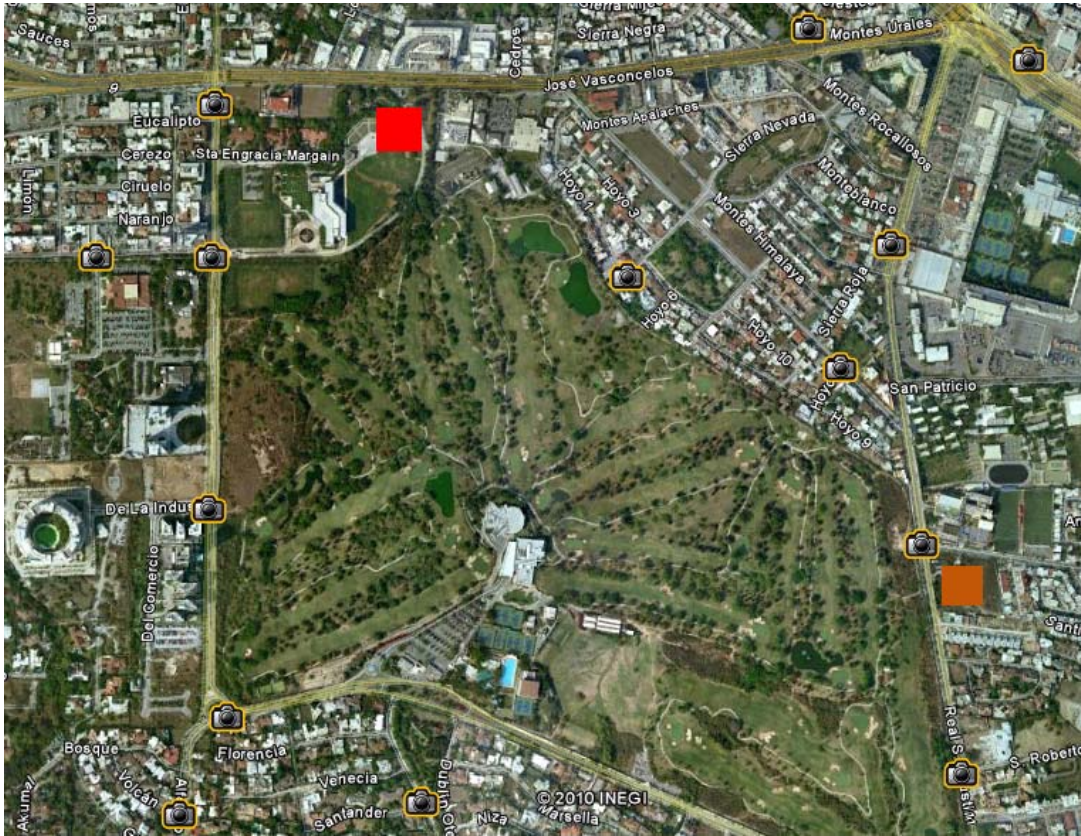


Figura 7.7a. Diseño de bermas Proyecto Valle del Campestre. San Pedro Garza García.

7.8. ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN Y DE MITIGACIÓN PARA EL CONTROL DE LOS ESCURRIMIENTOS PLUVIALES EN EL CORPORATIVO CEMEX, UBICADO EN LA AVE. VASCONCELOS, MUNICIPIO DE SAN PEDRO GARZA GARCÍA, N. L.



7.8.1 Introducción

Después de la visita realizada al Corporativo CEMEX, localizado sobre la Avenida Ricardo Margain, en compañía de personal del Departamento de Hidráulica y del Departamento de Geohidrología y Geofísica, durante la visita nos acompañó amablemente la Arquitecta Ana Patricia Treviño La Madrid, durante el recorrido por el área, nos explicó sobre la problemática que presenta la zona de estacionamiento subterráneo, y cómo fue inundado por las lluvias torrenciales que dejó la depresión tropical Álex; que azotó el estado de Nuevo León, los días 30 de junio y el 1 y 2 de julio del 2010. Después de analizar la problemática del sitio, ambos departamentos se abocaron a realizar los estudios pertinentes a fin de presentar soluciones, que nos permitan un mejor control de los escurrimientos pluviales, implementando técnicas, de mitigación y remediación para subsanar los problemas de inundación en el Corporativo CEMEX.

En dicho informe se presenta el diseño y construcción de los pozos de absorción y de achique para abatir el nivel freático en el área investigada a la vez se diseñan obras pluviales tipo cajón, trapezoidal de concreto o de pasto así como rediseñar el sistema de alcantarillado que ha quedado obsoleto, dicha información se muestra en el anexo.

7.8.1.1. Objetivo

- a). Los pozos de absorción se utilizan en sustitución del empleo de drenaje convencional, siempre y cuando se cumpla con los requisitos establecidos por la **Norma Oficial MEXICANA (NOM -006-CNA- 1997)** y la **N M X-C-4-13-1999 ONNCCE. NOM 014 CNA 2005**.

7.8.1.2. Geohidrología

La conductividad hidráulica en el terreno se comporta de manera heterogénea, esto se debe a la estratificación de los diferentes paquetes de roca que fueron cortados, en algunas áreas, se observa un dominio de material arcilloso- limoso; en la parte superior de la secuencia litológica se puede observar el dominio de este tipo de depósitos. En la correlación que se presenta en los isométricos; se puede observar muy claramente entre los sondeos 3,4 y 5 una zona de paleocanales, los que continúan hacia la batería de pozos correspondiente a los sondeos 7,8 y 9. La zona de paleocanales, presenta una dirección preferencial de SW-NE. Figura 4.

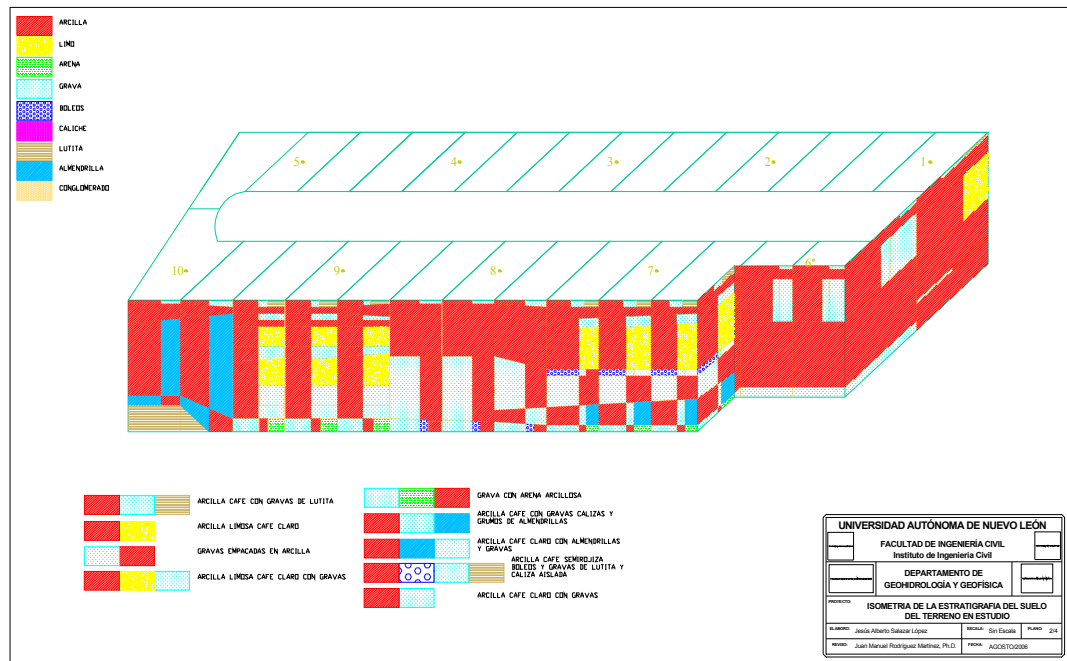
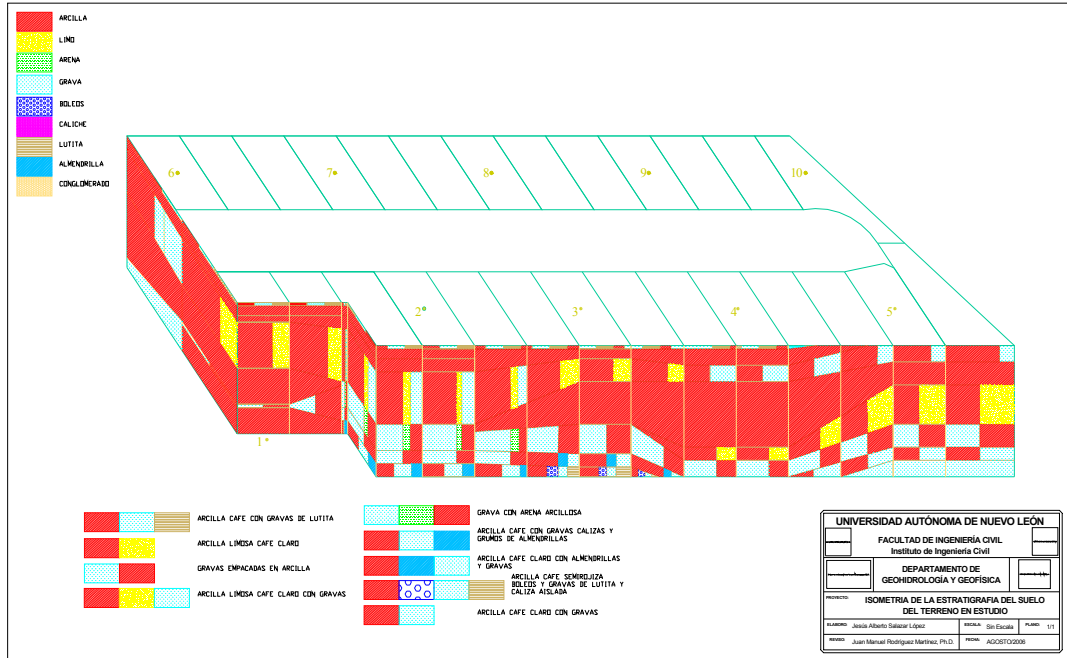


Figura 7.8.1.2. Bloque diagramático en 3D, sobre un sitio cercano al Corporativo CEMEX.

Para el análisis geohidrológico de esta área es importante la información que nos da la litología, el marco estructural y la estratigrafía. Como ya se había comentado anteriormente la alta solubilidad de las rocas carbonatadas de la Brecha sedimentaria, hace que estos materiales tengan una alta permeabilidad de modo que el agua de lluvia se infiltre rápidamente. Las arcillas de la F. Méndez por su misma naturaleza reducen esta permeabilidad y si agregamos que la inclinación de estas lutitas forman un acuñamiento en el contacto discordante con la brecha, tenemos que el agua es obligada a almacenarse y moverse subterráneamente bajo condiciones estructurales, este almacenamiento se les conoce como “acuíferos colgados” y que durante los excedentes los niveles de agua superan los niveles del almacenamiento suscitándose el escurrimiento y alumbramiento del agua . Podríamos concluir que tres factores son los que intervienen en la movilidad del agua en el área:

- Alta permeabilidad de los paquetes de gravas intercaladas en una matriz limo arcillosa
- Baja permeabilidad de la Formación Méndez.
- Patrón estructural de fracturamiento en los estratos intercalados de gravas, limos y arenas limosas.

A partir del plano sobre el manejo de aguas subterránea y superficial se logró definir la dirección preferencial de los flujos subterráneos, los cuales poseen una traza con rumbo SW- NE, las líneas de color amarillo representan la dirección del flujo subterráneo, las de color azul corresponden a los escurrimientos superficiales y perenes. Los datos presentados en los isométricos asociados a antiguos cauces, corroboran los resultados que se presentan en la figura 7.8.1.2a.

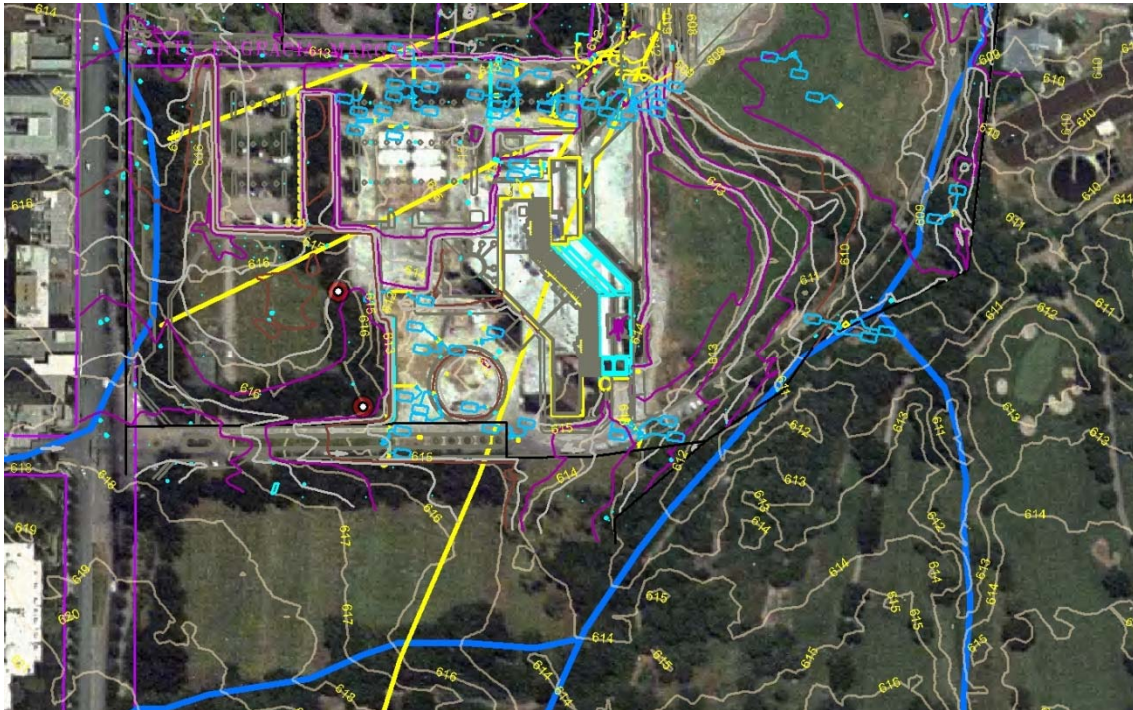


Figura 7.8.1.2a. Configuración de flujos subterráneos y superficiales en el Corporativo CEMEX.

7.8.1.3. Geofísica aplicada

Aplicación de técnicas de georadar para la localización del sitio más adecuado para la perforación de un pozo para el manejo de los flujos subterráneos, en el Corporativo CEMEX.

7.8.1.3.1. Introducción

La técnica de georadar o GPR (Ground Penetrating Radar) es una técnica no destructiva, relativamente reciente, pues pese a que los primeros ensayos datan de las primeras décadas del siglo XX. Solo hasta la década de los 70's se logró el desarrollo de un método práctico. Los primeros estudios fueron realizados en el área de la geología y glaciología, pero rápidamente se pasó al campo de la ingeniería civil.

El georadar es una técnica no destructiva orientada al estudio del subsuelo superficial y que se fundamenta en la capacidad de las ondas de radar de baja frecuencia (10 MHz - 2,5 GHz) para propagarse a través de medios poco conductivos. El método emplea una antena emisora para dirigir pulsos electromagnéticos de 1-20 ns de duración hacia el interior del terreno.

La técnica de georadar está basada en la emisión y recepción de ondas electromagnéticas. Los principios de funcionamiento de un georadar no difieren mucho de los de un radar común, lo que cambia es el medio de propagación; el primero es un material sólido (generalmente no homogéneo), mientras que en el segundo se trata de aire (material homogéneo). La incidencia de la energía de una onda electromagnética sobre las heterogeneidades, provocará fenómenos reflexión, refracción y difracción que serán detectados por la antena receptora. Por lo tanto, lo que un GPR detectará, son los cambios en propiedades de los materiales del subsuelo, pues estas propiedades, junto con las características de la onda, serán las que rigen la propagación de la energía por el medio.

De esta forma se obtienen los llamados radargramas, similares a los registros clásicos de sismica de reflexión, pero con la gran diferencia de que, en el caso del radar, la propagación de las ondas está condicionada por las características electromagnéticas del medio de propagación. El empleo del GPR se ha ido popularizando con el paso de los años desde que en la década de los 70 aparecen publicados los primeros trabajos centrados en el ámbito geológico y minero (Unterberger, 1974; Annan y Davis, 1976; Rubin y Fowler, 1977), cuyo objetivo principal perseguía estimar la capacidad de penetración máxima de las ondas en el subsuelo empleando antenas de 50-100 MHz. Posteriormente, en los años 80, el método comienza a ser aplicado para estudios más superficiales, y cobran protagonismo las antenas de 200-500 MHz, de penetración somera pero resolución submétrica, siendo posible destacar los trabajos doctorales de Ulriksen (1982) y Glover (1987), con aportaciones novedosas en estudios medioambientales y el campo de la geotecnia. A partir de los años 90, las antenas de 500 MHz - 1,5 GHz son prolíficamente utilizadas para el análisis de construcciones y estructuras en ingeniería civil tales como carreteras o puentes (Chung et al. 1994; Saarenko y Roimela, 1998; Lorenzo et al. 2001) y también en estudios arqueológicos (Goodman, 1994; Carcione, 1996; Pérez-Gracia et al. 2000).

También ha sido en estos últimos 15 años cuando se ha multiplicado el empleo del sistema para investigaciones en entornos Harari, 1996; Fitzgerald y Van Heteren, 1999; Bristow et al. 2000; Van Dam et al. 2000; Jol et al. 2002). De singular interés en este ámbito es la selección de artículos resultado del congreso "*Ground Penetrating Radar (GPR) in Sediments: Applications and Interpretation*" editada por Bristow y Jol (2003), donde se pone de manifiesto el potencial del GPR para obtener información 2D y 3D de alta resolución en estructuras sedimentarias. Una completísima y actualizada revisión del *estado del arte* sobre el tema puede ser consultada en Neal (2004).

7.8.1.3.2. Justificación

Este estudio pretende ser un instrumento que permita a la Empresa CEMEX DE MÉXICO el manejo y control de los flujos subterráneos a fin de mitigar y atenuar los efectos que provoca el acuífero; mediante la perforación de un pozo, se podrá abatir el nivel freático antes de llegar al estacionamiento.

Para la selección del sitio se aplicaron técnicas de georadar, mediante dicha técnica se logró definir una zona de antiguos cauces, los cuales se observan claramente en las dos líneas de escaneo.

7.8.1.3.3. Objetivo general

Detección de la zona con mayor saturación para la ubicación de un pozo, que nos permita abatir e interceptar los flujos antes de que lleguen al estacionamiento.

7.8.1.3.3.1. Objetivos técnicos

Mediante la aplicación del georadar (SIR 3000) ó GPR (Ground Penetrating Radar) que es una técnica no destructiva, fue posible lo siguiente:

- Detección de zonas saturadas.
- Zonas de antiguos cauces.
- Secuencia estratigráfica.

7.8.1.4. Fundamentos del método

Las antenas GPR han sido diseñadas para emitir un pulso de muy corta duración con el fin de mejorar la resolución vertical del método. Habitualmente este pulso está constituido por $1\frac{1}{2}$ - 2 periodos de la frecuencia nominal que caracteriza la antenna. Su corta duración en el dominio de los tiempos (Δt) lleva asociado un aumento inversamente proporcional de la aportación de sus componentes frecuenciales (Δf) según la relación $\Delta t=1/\Delta f$. Así, la mayor parte de las antenas GPR han sido diseñadas para operar con un ancho de banda similar a su frecuencia central y una duración inversamente proporcional a su centro de frecuencias. Figura 6.

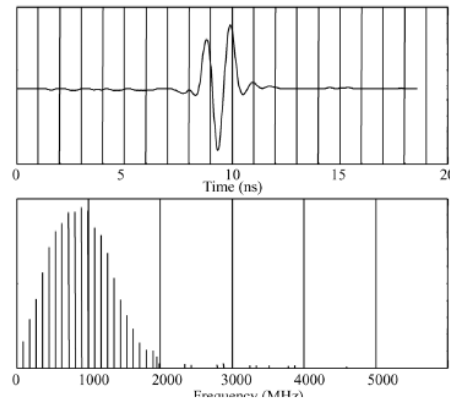
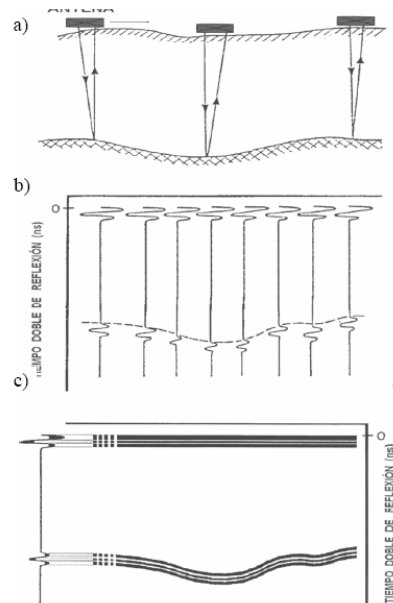


Figura 7.8.1.4. Forma de la señal (arriba) y espectro (abajo) del impulso generado por una antena de 100 Mhz.

Una descripción pormenorizada de las características de las señales GPR puede encontrarse en los trabajos de Annan (2003) y Daniels (2004). La adquisición de datos con el georadar suele realizarse orientando la antena hacia el subsuelo y registrando las reflexiones detectadas tras la emisión del impulso electromagnético, obteniendo así una traza. Al desplazar la antena sobre la superficie del terreno se irán detectando y almacenando el conjunto de reflexiones existentes bajo la línea de desplazamiento de la antena. De esta forma, el eje de abscisas de los *radargramas*, o registros de georadar, representará el movimiento de la antena en una determinada dirección, mientras que el eje de ordenadas muestra el tiempo de retardo entre la emisión del pulso y la detección de las reflexiones en la superficie por parte de una antena receptora, siendo éste, por lo tanto, un viaje de ida y vuelta, tal y como se escenifica en la figuras (6a, 6b, 6c).



Figuras 7.8.1.4a, 7.8.1.4b, 7.8.1.4c. Proceso de adquisición (a), radargrama en formato *wiggle* (b) y radargrama en formato *line scan* (c).

Si la velocidad (v) de propagación de las ondas en el medio es conocida, el eje temporal de ordenadas puede ser transformado a profundidades (z) a través de la simple relación $z = v \cdot t \cdot w / 2$. Por su parte, la velocidad puede ser deducida a partir de la siguiente ecuación:

(1)

$$v = \frac{1}{\sqrt{\frac{\mu \epsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \epsilon} \right)^2} + 1 \right)}}$$

Donde ϵ es la constante dieléctrica del material, σ su conductividad, μ la permeabilidad magnética y ω es la frecuencia angular central del pulso emitido. En medios poco conductivos, aquellos en los que se pueda aceptar que $\sigma \ll \omega \epsilon$, la ecuación (1) admite una simplificación, pudiendo aproximarse la velocidad a través de la siguiente expresión

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Donde c es la velocidad de propagación de las ondas en el vacío y ϵ_r es la constante dieléctrica relativa del material (variando entre 1-81). En la mayor parte de medios susceptibles de estudio con georadar la velocidad oscila entre los 0.3 m/ns (aire) y los 0.03 m/ns (agua dulce). Como se ha comentado, la antena emisora genera un impulso de corta duración que es transmitido al terreno; mientras tanto, la antena receptora permanece activa tratando de detectar la energía reflejada en los elementos presentes en el subsuelo. La técnica es, en principio, similar a la del sonar o a los métodos de sísmica de reflexión -salvo el empleo de ondas electromagnéticas-, y en ocasiones los usuarios prefieren interpretar los radargramas con la misma apariencia de los perfiles sísmicos (*wiggle plot*, Fig. 6b). La velocidad de procesamiento de los sistemas radar permiten almacenar muchos más datos que los métodos sísmicos, que deben ser considerados puntuales. Los equipos de georadar disponen de relojes internos de 50-100 KHz que les permiten procesar gran cantidad de pulsos con los cuales generan varias trazas por segundo. Por este motivo, si la antena se desplaza a baja velocidad es preferible transformar las trazas individuales en un formato de áreas de barrido (*line scan*, Fig. 6c), el cual ofrece una sensación de continuidad que facilita la interpretación.

Cuando el pulso emitido detecta una discontinuidad electromagnética (por ejemplo un cambio en las propiedades del medio de propagación o una capa de material diferente), parte de la energía es reflejada de vuelta mientras que el resto continúa su camino a través del nuevo medio. La energía reflejada en la interfase de dos medios depende del contraste entre sus impedancias (η) que se manifiesta en el llamado coeficiente de reflexión (r), que puede expresarse según la siguiente ecuación, siempre y cuando pueda aceptarse incidencia normal:

$$r = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_1 + \eta_2}$$

La ecuación (3) admite una expresión simplificada cuando se trate de medios poco conductivos, tal y como sucedía en la simplificación de la ecuación (1), obteniendo r en función del contraste entre constantes dieléctricas relativas de ambos materiales:

$$r = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}}$$

Así pues, para garantizar la obtención de buenos resultados al aplicar la técnica en un determinado entorno, será necesario que se den, de forma simultánea, dos factores externos e independientes del sistema y del equipo humano que lo maneje: que exista suficiente contraste electromagnético entre ambos medios y, sobre todo, que el medio de propagación sea suficientemente resistivo para no atenuar dramáticamente la señal emitida. Estos medios poco conductivos, aquellos donde $\sigma \ll \omega\epsilon$, son los susceptibles de ser estudiados mediante la técnica del georadar. Una discusión detallada sobre las posibilidades de empleo de la técnica puede consultarse en Lorenzo (1996) y Pérez-Gracia (2001).

7.8.1.5. Metodología

El georadar o radar de subsuelo, internacionalmente conocido como GPR, es una técnica de teledetección cercana y prospección basada en la emisión de un pulso electromagnético de muy corta duración (1-20 ns) caracterizado por una frecuencia nominal que puede oscilar entre los 10 MHz y los 2,5 GHz, en función de la antena seleccionada, en nuestro caso se utilizó la antena de 100Mhz con una capacidad de penetración de 5.00m El modelo de georadar utilizado en la zona de estudios en terrenos del Corporativo CEMEX, es un SIR-3000 equipo de nueva generación. La capacidad de penetración de la antena de 100Mhz es de 25.00m con una resolución del 90.0%.

Su objetivo final es la obtención de radargramas, pseudoimágenes que se aproximan a una sección transversal del subsuelo bajo la línea de desplazamiento de las antenas, de modo similar a las obtenidas por los métodos clásicos de sismica de reflexión.

La metodología que se utilizó para la realización de este trabajo fue dividida en tres etapas las cuales se describen a continuación:

- Trabajo de campo, toma de datos, líneas de escaneo, coordenadas del punto, etc.
- Procesamiento de radargrama en gabinete
- Elaboración de planos con la ubicación de los ductos

7.8.1.5.1. Interpretación de radargramas en las dos líneas realizadas en el Corporativo CEMEX.

Para la realización del escaneo en terrenos del corporativo CEMEX, el equipo es acondicionado en forma de carro portátil, el cual es deslizado en forma manual por el operador en fotografía 5 se muestran los componentes del equipo utilizado para la realización de los trabajos en los diferentes transectos sobre las zonas de jardinería. En la fotografía 6 se muestra el equipo utilizado en la realización del trabajo así como algunos de los radargramas obtenidos durante el desarrollo del proyecto.



Fotografía 7.8.1.5.1. Monitor del georadar SIR 3000.



Fotografía 7.8.1.5.1a. Equipo de georadar SIR 3000 con su antena de 100 Mhz y odómetro.

En las imágenes siguientes se muestran las dos líneas de Georadar trazadas en terrenos del Corporativo CEMEX, dentro del área de la nogalera, también la línea de color amarillo, corresponde al sitio para la perforación del pozo propuesto. Figura 7.8.1.5.1b.

Línea 1

En la secuencia de dicha línea a diferentes intervalos de profundidad se observa la interdigitación de lentes delgadas de limos y arcillas, relleno de huecos se presentan algunos lentejones de gravas empotrados en una matriz arcillo limosa de textura suave, maleable y plástica. La longitud de la línea 1 es de 12.05m

Línea 2

El comportamiento estratigráfico en el radargrama correspondiente a la Línea 2 es muy similar al radargrama 1, la única diferencia que se detectó en ésta línea es la presencia de un antiguo cauce, tomando en cuenta la problemática que presenta el estacionamiento subterráneo en época de lluvias, como por flujos subterráneos, una solución para controlar la subpresión y el aporte de agua del subsuelo es factible controlarla mediante pozos de achique, de ahí que el sitio detectado por dicha técnica, llena los requisitos para el manejo del acuífero, controlando el nivel freático en la zona.

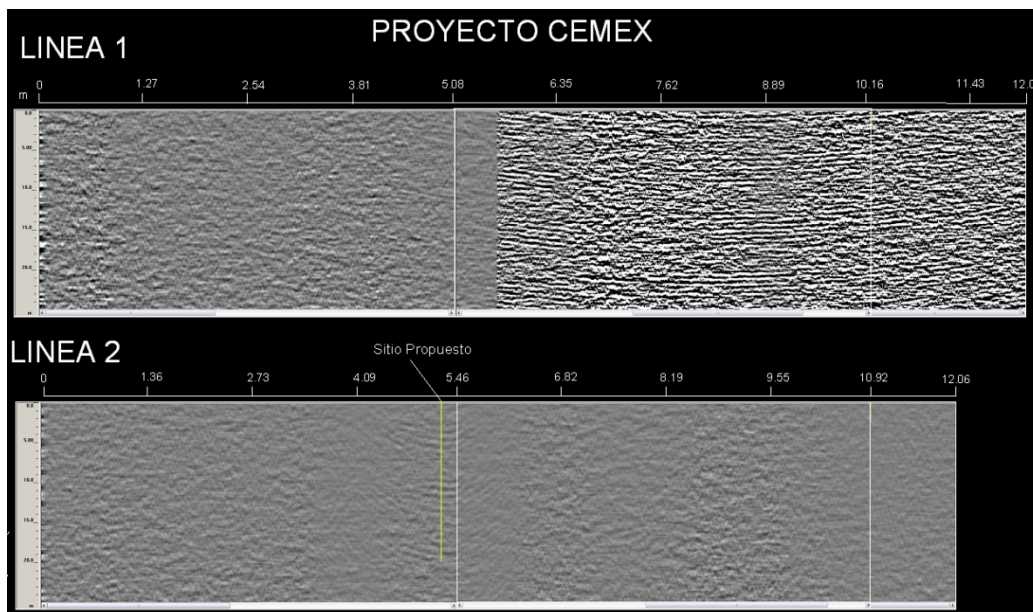


Figura 7.8.1.5.1b. Radargramas realizados en terreno del Corporativo CEMEX.

7.8.2. Diseño de construcción de obras hidráulica para el manejo de los escurrimientos superficiales mediante pozos de achique y de absorción

7.8.2.1 introducción

Después del analizar en forma detallada cada uno de los problemas que se presentaron después de un evento meteorológico como el que azotó el estado de Nuevo León (depresión tropical Álex) ambos departamentos buscaron soluciones a la problemática que presenta el manejo de los escurrimientos pluviales, dichas soluciones están vinculadas con la perforación de pozos de absorción, como de achique así como el rediseño de sistema de alcantarillado, construcción de secciones tipo cajón, trapezoidales de concreto reforzado y de canal trapezoidal de pasto.

En dicho informe se presenta el diseño y construcción de los pozos de absorción, de achique y secciones de cajón y trapezoidales. Ver anexos.

7.8.2.1.1. Objetivo

Los pozos de absorción se utilizan en sustitución del empleo de drenaje convencional, siempre y cuando se cumpla con los requisitos establecidos por la **Norma Oficial MEXICANA (NOM -006-CNA- 1997)** y la **N M X-C-4-13-1999 ONNCCE**

7.8.2.2. Metodología

Para determinar la capacidad de filtración de subsuelo es necesario realizar pruebas de permeabilidad como se indican en el reporte del Departamento de Geotecnia, para ello se utilizó un equipo rotario para la perforación de los sondeos con una profundidad de 10.00 m. Las pruebas de permeabilidad fueron tipo Nasberg con apego a la Norma ASTM 2434. También se procedió a calcular el tiempo de absorción del pozo mediante la aplicación de la ecuación para acuíferos libres la que en forma detallada se describe así como la ecuación de goteo. En la figura 8 se muestra la localización de los sitios propuestos para la perforación de pozos de absorción. En el diagrama anexo figura 9 se da el diseño de construcción del pozo(s) de absorción.

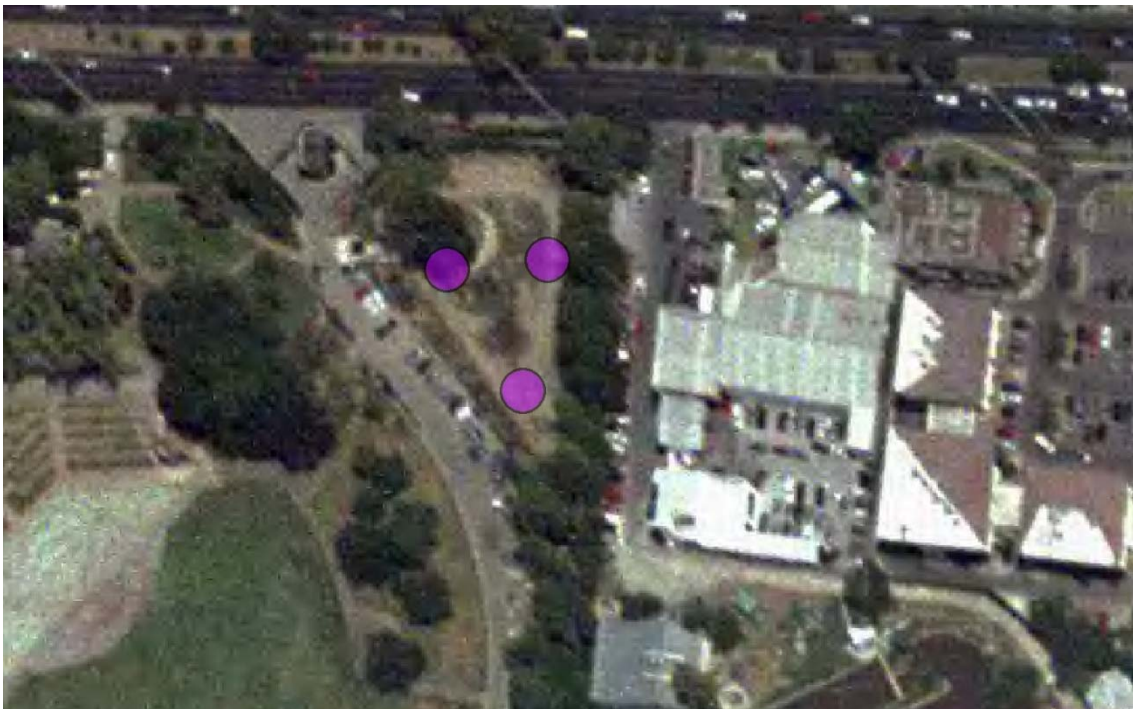


Figura 7.8.2.2. Localización de sitios propuestos para la construcción de pozos de absorción.

7.8.2.2.1. Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica en el terreno se comporta de manera heterogénea, esto se debe a la estratificación de los diferentes paquetes de roca que fueron cortados, en algunas áreas se observa un dominio de material arcilloso- limoso; en la parte superior de la secuencia litológica se puede observar el dominio de este tipo de depósitos. En la correlación que se presenta en los isométricos se puede observar muy claramente entre los sondeos 3,4 y 5 una zona de paleocanales, los que continúan hacia la batería de pozos correspondiente a los sondeos 7,8 y 9. La zona de paleocanales, presenta una dirección preferencial de SW-NE. Ver figura 4.

7.8.2.3. Memoria de cálculo pozos de absorción

POZOS 3, 4, y 5.

Partiendo de que se tiene una superficie del terreno de 269.75 m² y teniendo en cuenta las condiciones de la zona y la precipitación que se tiene en el lugar que son 300 mm por hora.

Tenemos un gasto de $8.0925 \text{ m}^3 / \text{hr}$.

Un diámetro del pozo de 0.90 m (rp = 0.45 m).

Los cálculos se realizaron a partir de los resultados de las pruebas de permeabilidad tipo Nasberg realizadas por el Departamento de Geotecnia a solicitud del Departamento de Geohidrología y Geofísica; en la siguiente tabla se muestra el espesor del estrato en estudio y el comportamiento de la conductividad hidráulica.

Tabla 7.8.2.3. Características de subsuelo de los sondeos 3,4, 5.

PROFUNDIDAD	ESTRATO	CONDUCTIVIDAD
9 – 10 m	Arcilla café claro con gravas, calizas y grumos de almendrilas.	0.03672 m/día

La conductividad hidráulica vertical (K_v) y Conductividad hidráulica horizontal (K_h)

Se calculó a partir de las siguientes ecuaciones:

$$k_v = \frac{b_{TOTAL}}{\sum \left(\frac{b_i}{k_i} \right)}$$

$$k_v = \frac{10 \text{ m}}{\left(\frac{1 \text{ m}}{0.03672 \text{ m/día}} \right)} = 0.3672 \text{ m/día}$$

$$k_h = \frac{\sum (b_i * k_i)}{b_{TOTAL}}$$

$$k_h = \frac{(1 \text{ m})(0.03672 \text{ m/día})}{10 \text{ m}} = 3.672 \times 10^{-3} \text{ m/día}$$

La transmisibilidad real del terreno (T)

$$T = k_h \times b_{TOTAL}$$

$$T = (3.672 \times 10^{-3} \text{ m / día})(10 \text{ m}) = 0.03672 \text{ m}^2 / \text{día}$$

El Coeficiente de almacenamiento (S) partiendo de la ecuación inicial para un acuífero libre es de S = 0.2.

Factor de goteo

$$B = \sqrt{\frac{T}{\left(\frac{k_v}{b_{TOTAL}}\right)}}$$

$$B = \sqrt{\frac{0.03672}{\left(\frac{0.3672}{10}\right)}} = 1 \text{ m}$$

A partir de la ecuación de Caudal específico en acuíferos libres se calculan cada una de las variables establecidas en la ecuación.

$$Q = \frac{4 \pi T s}{W(u)}, u = \frac{r_p^2 S}{4 T t}$$

$$W(u) = \frac{4 \times \pi \times S p \times T}{Q}$$

$$W(u) = \frac{4 (\pi) (1 \text{ m}) (0.03672 \text{ m}^2 / \text{día})}{194.22 \text{ m}^3 / \text{día}} = 2.3758 \times 10^{-3}$$

Buscando en las tablas de funciones hidráulicas de captación de agua, el valor de “u” fue el siguiente: u=5.4575 (Hidrología subterránea., páginas 938-953.E. Custodio M R. Llamas., 1970, Barcelona, España)

$$u = \frac{r_p^2 S}{4 T t} \text{ Despejando t}$$

$$t = \frac{rp^2 \times S}{4 \times T \times u}$$

$$t = \frac{(0.45)^2 \times (0.2)}{4 (0.03672) (5.4575)} = 0.050524 \text{ días} \left(\frac{24 \text{ hrs}}{1 \text{ día}} \right) = 1.21 \text{ hrs}$$

Se concluye que los pozos diseñados y recomendados en los lotes No. 3,4, y 5 absorben toda el agua inducida al sitio hasta quedar completamente secos en 0.050524 días.

POZOS 6, 7, y 8.

Partiendo de que se tiene una superficie del terreno de 269.75 m² y teniendo en cuenta las condiciones de la zona y la precipitación que se tiene en el lugar que son 300 mm por hora.

Tenemos un gasto de 8.0925 m³/hr.

Un diámetro del pozo de 0.90 m (rp = 0.45 m).

Los cálculos se realizaron a partir de los resultados de las pruebas de permeabilidad tipo Nasberg realizadas por el Departamento de Geotecnia a solicitud del Departamento de Geohidrología y Geofísica; en la siguiente tabla se muestra el espesor del estrato en estudio y el comportamiento de la conductividad hidráulica.

Tabla 2. Características del subsuelo sondeos 6.7.8.

PROFUNDIDAD	ESTRATO	CONDUCTIVIDAD
9.25 – 10 m	Arcilla café semirojiza, boleos y gravas de lutita y calizas aisladas.	1.4256 x 10 ⁻⁴ m/día

La conductividad hidráulica vertical (K_v) y Conductividad hidráulica horizontal (K_h)

Se calculó a partir de las siguientes ecuaciones:

$$k_v = \frac{b_{TOTAL}}{\sum \left(\frac{b_i}{k_i} \right)}$$

$$k_v = \frac{10 \text{ m}}{\left(\frac{1 \text{ m}}{1.4256 \times 10^{-4} \text{ m/día}} \right)} = 1.4256 \times 10^{-3} \text{ m/día}$$

$$k_h = \frac{\sum (b_i * k_i)}{b_{TOTAL}}$$

$$k_h = \frac{(1 \text{ m}) (1.4256 \times 10^{-4} \text{ m/día})}{10 \text{ m}} = 1.4256 \times 10^{-5} \text{ m/día}$$

La transmisibilidad real del terreno (T)

$$T = k_h \times b_{TOTAL}$$

$$T = (1.4256 \times 10^{-5} \text{ m/día})(10 \text{ m}) = 1.4256 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{día}$$

El Coeficiente de almacenamiento (S) partiendo de la ecuación inicial para un acuífero libre es de S = 0.2.

Factor de goteo

$$B = \sqrt{\frac{T}{\left(\frac{k_v}{b_{TOTAL}}\right)}}$$

$$B = \sqrt{\frac{1.4256 \times 10^{-4}}{\left(\frac{1.4256 \times 10^{-3}}{10}\right)}} = 1 \text{ m}$$

A partir de la ecuación de Caudal específico en acuíferos libres se calculan cada una de las variables establecidas en la ecuación.

$$Q = \frac{4 \pi T s}{W(u)}, u = \frac{r_p^2 S}{4 T t}$$

$$W(u) = \frac{4 \times \pi \times S p \times T}{Q}$$

$$W(u) = \frac{4 (\pi) (1 \text{ m}) (1.4256 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{día})}{194.22 \text{ m}^3 / \text{día}} = 9.2238 \times 10^{-6}$$

Buscando en las tablas de funciones hidráulicas de captación de agua, el valor de "u" fue el siguiente: u=11.0191 (Hidrología subterránea., páginas 938-953.E. Custodio M R. Llamas., 1970, Barcelona, España)

$$u = \frac{r_p^2 S}{4 T t} \text{ Despejando t}$$

$$t = \frac{r_p^2 \times S}{4 \times T \times u}$$

$$t = \frac{(0.45)^2 \times (0.2)}{4 (1.4256 \times 10^{-4}) (11.0191)} = 6.4683 \text{ dias} \left(\frac{24 \text{ hrs}}{1 \text{ día}} \right) = 155.24 \text{ hrs}$$

Se concluye que los pozos diseñados y recomendados en los lotes No. 6, 7, y 8 absorben toda el agua inducida al sitio hasta quedar completamente secos en 6.4683 días.

7.8.2.4. RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE PERMEABILIDAD TIPO NASBERG EN UN TERRENO CONTIGUO AL SITIO INVESTIGADO.

LOTE No.	POZO DE ABSORCIÓN No.	SONDEO No.	Coefficiente de permeabilidad (m/día)	Conductividad hidráulica vertical (m/día)	Conductividad hidráulica horizontal (m/día)	Tiempo de absorción (días)
3	3	3	3.672x10-2	3.672x10-1	3.672x10-3	0.050524
4	4	4	3.672x10-2	3.672x10-1	3.672x10-3	0.050524
5	5	5	3.672x10-2	3.672x10-1	3.672x10-3	0.050524
6	6	6	1.4256x10-4	1.4256x10-3	1.4256x10-5	6.4683
7	7	7	1.4256x10-4	1.4256x10-3	1.4256x10-5	6.4683
8	8	8	1.4256x10-4	1.4256x10-3	1.4256x10-5	6.4683

En la figura 7.8.2.4. se muestra el diseño de construcción de los pozos de absorción. Los pozos recomendados para controlar los escurrimientos pluviales se realizarán en diámetro de 1.20m, la profundidad programada en cada sondeo será de 10.00m, la tubería del ademe será de un Ø de 0.90m, colocando en el espacio anular entre el ademe y la perforación filtro de grava redondeada de 1- 2 “de Ø, en la parte interna del pozo se colocará una cama de matacanes con diámetros que oscilan entre 3-5” el espesor de la cama de matacanes será de 1.00m



Figura 7.8.2.4. Diseño de construcción de pozos de absorción en el área del lago en el Corporativo CEMEX.

7.8.2.5. Diseño de construcción de pozo de achique

La construcción del pozo de achique se debe de ajustar a las especificaciones que establece la NOM CNA 003- 1996. La localización del sitio propuesto para la perforación del pozo se realizó con el apoyo del Geo Radar, para ello se realizaron dos transectos con una longitud de 12.05m el primero y de 12.06m el segundo. El sitio donde se pretende perforar está asociado con una zona de un antiguo cauce, por lo que es factible interferir la dirección del flujo subterráneo antes de que llegue al estacionamiento subterráneo, El agua que se llegase a extraer del pozo de achique, después de caracterizar la calidad química de ella, con apego a lo que establece la NOM SSA 127- 1996, se puede utilizar para cubrir servicios internos en los baños y de riego en el área de jardinería.

En la figura 7.8.2.5, se muestra la localización del sitios propuesto, el primero se localiza en la parte izquierda de la vía de acceso principal para entrar al estacionamiento subterráneo; el segundo sitio se localiza en la zona de jardines enfrente del tiro vertical de control que monitoreo, a la entrada al estacionamiento.



Figura 7.8.2.5. Localización de sitio propuesto para la perforación de pozo de achique.

La profundidad programada en cualquiera de los sitios recomendados, será de 20.00m, la construcción de la obra hidráulica recomendada, se hará de acuerdo a diseño propuesto el cual se muestra en la figura 11. La construcción del pozo se hará con apego a la NOM CNA 003 1996. También es necesario después de terminada la obra, realizar una prueba de bombeo de 48 horas con el propósito de determinar los parámetros hidráulicos que rigen al acuífero: Transmisibilidad ($T \text{ m}^2/\text{día}$), Coeficiente de almacenamiento (S), Caudal específico ($Q= \text{l/s}$) y Radio de influencia (R, m).

La obtención de dichos parámetros nos permitirá establecer el régimen de explotación del acuífero, estableciendo el nivel dinámico de operación a fin de reducir o eliminar la presencia de agua en el estacionamiento subterráneo, otro de los aspectos que se observaron durante los recorridos de campo; fue la presencia de humedad en los muros del estacionamiento, la presencia de ésta como de incrustaciones carbonatadas en las paredes, nos muestra que la zona de jardines está sobresaturada por lo que se recomienda regar una o dos veces por semana.

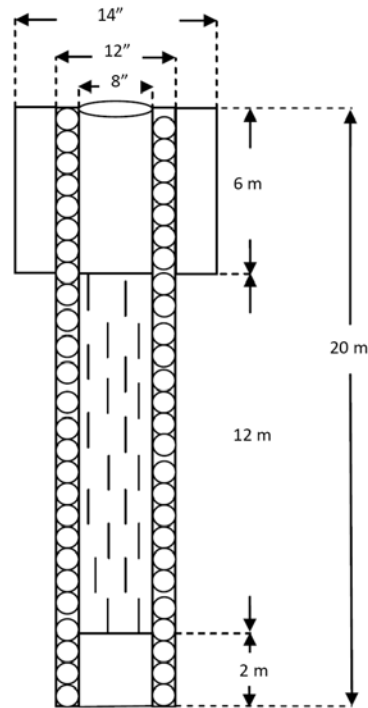


Figura 7.8.2.5a. Diseño de construcción de pozo de achique.

7.8.3. Resultados y Discusiones

Los cálculos realizados para determinar la capacidad de absorción del suelo a partir de la ecuación sobre acuíferos libres como de goteo nos permitieron establecer lo siguiente:

A partir del análisis de los resultados de permeabilidad se determinó la capacidad de filtración a la profundidad (entre 9.00 y 10.00).

Se concluye que los pozos diseñados y recomendados en área correspondiente al lago ubicado en la esquina noreste del predio, tienen la capacidad de absorber el agua inducida en un período corto.

La selección del sitio propuesto para la perforación de un pozo de achique, nos permitirá controlar los flujos subterráneos en el área del estacionamiento subterráneo.

7.8.3.1 Conclusiones

Los resultados obtenidos durante la perforación de los sondeos exploratorios y las pruebas de permeabilidad tipo Nasberg, además de los cálculos realizados para determinar el tiempo de absorción y la conductividad hidráulica vertical y horizontal se muestran en el **parágrafo 9.4**.

7.8.3.2 Recomendaciones

- La zona del lago se utilizará para la perforación de tres pozos de absorción como técnica de control de los escurrimientos superficiales.
- La profundidad programada en cada sondeo será de 10.00m
- La construcción de los pozos de absorción se hará con apego a la NOM CNA 006 1997, y CNA 014, 2005.
- Se debe de tener cuidado con el proceso de colmatación, el cual nos puede reducir la permeabilidad, producto de los sólidos en suspensión presentes en las aguas de los escurrimientos superficiales.
- Se recomienda una vez al año dar mantenimiento al pozo de absorción con un escariador a fin de eliminar los finos depositados durante el proceso de infiltración de las aguas pluviales.
- A partir de estos datos fueron diseñados los pozos de absorción de los cuales se muestra un diseño tipo en los anexos.
- Se recomienda la perforación de un pozo de achique con una profundidad de 20 de acuerdo a diseño propuesto. CNA 003 1996

7.9 TÉCNICAS DE DEMOLICIÓN DE BLOQUES EN EL FRACCIONAMIENTO COLORINES CERRO DE LA CORONA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS (DEXPAN, PYROBLAST)



Fotografía 7.9. En la fotografía se observa en la parte superior la presencia de un bloque de 200 toneladas en riesgo de volcadura del bloque sobre la casa.



Fotografía 7.9.a. Bloque con fracturamiento intenso, con alto riesgo de deslizarse.



ANTES DE LA DEMOLICIÓN



Fotografías 7.9a. 7.9b y 7.9c. Después de la demolición con martillo neumático y aplicación de productos químicos expansivos.



ANTES DE LA DEMOLICIÓN DEL BLOQUE VISTO DE ORTO ÁNGULO



Fotografías 7.9d, 7.9e y 7.9f. Arrope de bloque mediante malla triple torsión sujeta con escarpas de acero de 2 pies de longitud con diámetro de 11". Sujeta con cable de acero de 1/4"

CAPÍTULO VII. Conclusiones y recomendaciones

A fin de que el Gobierno del Municipio de San Pedro Garza García, N.L. cuente con una herramienta que proporcione información de los peligros y riesgos que pueden causar desastres a nivel municipal; el Instituto Municipal de Planeación Urbano (IMPLAN) firmó un convenio de colaboración con la Universidad Autónoma de Nuevo León a fin de desarrollar el Atlas de Riesgos Naturales de Municipio de San Pedro Garza García, Nuevo León. Este atlas, está integrado en un Sistema de Información Geográfica, para establecer mejores políticas, planes y programas de planeación urbana, ordenamiento territorial sustentable y estrategias de prevención, mejorando la toma de decisiones para una efectiva planeación y gestión urbana.

La información base para la elaboración de este Atlas, comprende la carta topográfica escala 1:50,000 del INEGI, con clave G 14 A25, correspondiente al municipio de San Pedro Garza García, N.L.

El estudio incluye el análisis de peligros por los fenómenos naturales geológicos e hidrometeorológicos, así como los antropogénicos: sanitario-ambientales, químicos y socio organizativos que afectan a la zona de estudio. Derivado de este análisis, se genera una matriz de riesgos Naturales del Municipio de San Pedro Garza García, en la cual se hace una recopilación de los diversos factores de riesgo que afectan el municipio, ésta se encuentra dividida en microcuencas y a su vez en sectores relacionados con el relieve.

Si bien el presente trabajo es para uso de la administración es importante dar a conocer y poner a disposición de la ciudadanía la información que no sea considerada crítica. **El método más versátil para realizar esta labor es por medio de un sistema web, el cual se recomienda que sea bajo un esquema de cliente/servidor, como servicios de datos y con un dominio propio; estableciendo una ruta crítica de inteligencia para manejo de desastres.**

La ciudad tiene, como lo revela el análisis, una serie de riesgos que se han evaluado y calificado en el estudio, donde se han establecido parámetros de comportamiento, acciones concretas y formas de responder ante las eventualidades, sin embargo, la principal acción es la prevención. Por consecuencia de esta premisa, surgen algunas recomendaciones generales para establecer acciones que, a nuestro juicio, resultan necesarias:

- a) El Plan Rector de Desarrollo Urbano del Municipio de San Pedro Garza García, deberá prever una organización y estructura vial que, además de favorecer el uso y función cotidiana de la ciudad, contemple las vías de desalojo, escape y evacuación de las áreas afectadas por situaciones de riesgo.
- b) En la zonificación para el crecimiento y expansión de la ciudad se deberán establecer áreas que, por su ubicación, sean espacios protegidos que permitan el resguardo de la comunidad, construyendo albergues y habilitando refugios temporales.
- c) Para el caso de la zonificación se deberá reubicar a los giros industriales y comerciales que obstruyen la imagen urbana y la arquitectura natural del paisaje.
- d) Se recomienda que sea determinada una idea concepto, con la intención de desarrollar un Proyecto de Arquitectura de Paisaje Integral de la ciudad, que contemple además la reforestación urbana, la promoción y desarrollo de un estilo propio de un municipio como lo es San Pedro Garza García.
- e) Se recomienda el desarrollo de un programa de reordenamiento urbano que permita identificar y reubicar usos y usuarios para generar los espacios de desarrollo y seguridad que se requieren.
- f) Dado el número de habitantes en viviendas vulnerables, es posible generar con bajo presupuesto un programa de rescate de la vivienda y mejorar la imagen urbana, la cual brindaría los elementos para eliminar este riesgo.

8.1. Recomendaciones sobre peligros geológicos

Para el análisis de peligros geológicos se tomaron en cuenta litología y estructura geológica de la roca, así como la orientación e inclinación de laderas y taludes. Para la valoración de este nivel de peligros se contó con el apoyo del personal técnico que labora en el Departamento de Geohidrología y Geofísica de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Identificar peligros geológicos y cuantificar la amenaza que estos implican, no tiene sentido si no se pretende reducir la vulnerabilidad de la población e infraestructura. Es complejo emitir recomendaciones generales para la diversidad de problemáticas que se han identificado para los diversos fenómenos de remoción de masas. Lo más adecuado es desarrollar estudios geotécnicos detallados por zonas.

Es altamente probable que, de los estudios detallados, con perforaciones exploratorias, ensayos de laboratorio y pruebas directas de campo, así como de exploración geofísica, se desprendan recomendaciones del siguiente tipo:

- En sitios definidos como de alta susceptibilidad; con pendientes fuertes y litología de intercalaciones de lutitas, areniscas o calizas es recomendable realizar actividades que nos permitan mitigar y reducir el nivel de riesgo mediante la aplicación de las siguientes técnicas:
 - a) Reforestar con vegetación nativa en sitios con estructura masiva.
 - b) En sitios con fracturamiento denso mantenerse libre de vegetación con raíces profundas, ya que facilitan la apertura de las fracturas y, con ello, se desestabiliza mayormente las laderas.
 - c) Realizar un inventario detallado de bloques en las zonas de mayor riesgo por desprendimientos, sobre todo en las partes altas. Demoler aquellos que han perdido sustentabilidad. Hacerlo manualmente o mediante el uso de químicos, evitando explosivos. Anclar aquellos bloques que, por sus dimensiones, sea posible y exista una masa de roca razonablemente aceptable.
 - d) Levantar muros de mampostería y de gaviones para dar apoyo a grandes y medianos bloques.
 - e) Independientemente del grado de fracturamiento, drenar la masa de roca para evitar sub-presiones que aumenten el grado de inestabilidad de la masa de roca.
- Para zonas de susceptibilidad media, se restringirá el uso de malla electrosoldada y concreto lanzado, salvo para el caso de afloramientos de material clástico (lutitas y limolitas de fuerte grosor o masivas).

El diseño de taludes con bermas mejora la estabilidad cuando se conforman de materiales de roca suave o granulares poco consolidados; siempre y cuando la masa de roca no tenga una estructura con echados a favor de la pendiente del terreno.

Los muros de contención, independientemente de su diseño, serán útiles siempre y cuando se permita el drenado de la masa de roca.

Por otro lado, la autorización de nuevas construcciones, ya sea individuales o de fraccionamientos, deberá estar ligada a la presentación de estudios geotécnicos, en los cuales se definan las condiciones de estabilidad de laderas y taludes, no restringiendo al predio o fraccionamiento, sino al entorno de la ladera completa. Los estudios geotécnicos incluirían conclusiones y recomendaciones para la estabilización definitiva de laderas y taludes.

San Pedro Garza García, es uno de los municipios donde se presentan los escenarios más desfavorables en cuanto a inestabilidad de laderas. Los volteos se pueden presentar en 40% de su área total (Cerro de Las Mitras) y deslizamientos en 20% en el flanco Norte y Noroeste de la Sierra Madre Oriental. En el flanco suroriental del Cerro de Las Mitras se identificó susceptibilidad a desprendimientos por volteo en el flanco sur poniente de la Loma Larga.

8.2. Conclusiones sobre peligros por erosión

La identificación de diferentes tipos de erosión se basó en fichas técnicas que incluyen litología, tipo de suelo, fotografías, vegetación asociada y tipo de roca, entre otros parámetros, además se recurrió al análisis de las imágenes satelitales y su interpretación. Las sierras se encuentran rodeadas por depósitos de abanicos aluviales poco consolidados, en ellos se está deforestando y lotificando para la construcción de nuevos fraccionamientos, implicando que sea alterada la inestabilidad del suelo, por medio de la erosión, ya que está expuesta a los diferentes agentes naturales.

Las erosiones hídricas laminar moderada y alta son las de mayor predominio en el área con un 32 % cada una de ellas, y es donde actualmente se localizan las nuevas construcciones y, por lo tanto, próximas deforestaciones.

En la porción suroeste del área se registraron zonas de cárcavas, característica de erosión concentrada, donde existen asentamientos irregulares en los cuales se puede observar la socavación de las cárcavas en dirección a las viviendas.

8.3. Conclusiones sobre peligros antropogénicos

El crecimiento en el municipio de San Pedro Garza García requiere planeación bien definida por parte de las autoridades municipales, restringiendo aquellas zonas con riesgo eminente de que ocurran peligros antrópicos. Es imprescindible no sólo en términos de protección civil, mantener y planear el crecimiento, sino también en culturales y sociales, ya que de éstos emanan las soluciones a la mayor parte de las amenazas y riesgos.

Los peligros y riesgos antropogénicos son producidos por actividades humanas, aunque las circunstancias naturales pueden condicionar su gravedad. Incluyen los químicos, sanitario-ambientales y socio-organizativos.

Los peligros sanitario-ambientales se refieren a aquellos que pueden sufrir los seres vivos al exponerse a elementos contaminantes. Este nivel de información se realizó de forma documental, apoyado con datos y estadísticas del sector salud, así como verificaciones de sitios de interés como son: rastros, basureros, tanques de agua, hospitales y plantas de tratamiento, entre otros.

Por su parte, los peligros socio-organizativos incluyen accidentes y aquellos que se derivan de grandes concentraciones de población. La cartografía de este nivel de información se realizó por municipio, a través de un censo. Se ubicaron albergues, gimnasios, centros comerciales, mercados, terminales de autobuses, escuelas, templos, teatros, hoteles, entre otros.

Dentro de los peligros químicos se tiene que todas las zonas detectadas como propensas a sufrir incidentes de bolas de fuego (BLEVE) o explosiones por depósitos de gaseras y gasolineras en el área norponiente del municipio en los límites con el municipio de Santa Catarina son consideradas como riesgos mitigables, esto se debe a que algunos municipios cuentan con personal capacitado para el control y manejo de este tipo de eventualidades (Monterrey, San Pedro Garza García, Santa Catarina y San Nicolás de los Garza son de los municipios mejor preparados para el control y manejo de estas contingencias).