

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE ARQUITECTURA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**Urbanismo vulnerable a los procesos de remoción en
masa en el municipio de San Pedro Garza García,
Nuevo León (México).**

Por

Arq. Lydia Marcela Adame Rivera

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRIA EN CIENCIAS PARA LA PLANIFICACIÓN DE LOS
ASENTAMIENTOS HUMANOS**

Director de Tesis Dr. DIEGO SÁNCHEZ GONZÁLEZ

Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza N. L. México, Abril de
2013.

Aprobación de la Tesis

Cuerpo de Sinodales

Dr. Diego Sánchez González
Facultad de Arquitectura, UANL.
Director de tesis
Presidente

Dr. Guadalupe Gerardo Veloquio González
Facultad de Arquitectura, UANL.
Secretario

Dr. José Rosbel Chapa Guerrero
Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL.
Vocal

M.C. José Miguel Román Cárdenas

Subdirector de Estudios de Postgrado

AGRADECIMIENTOS

Dedicada a Dios.

A mis padres, Lydía y Juan, mis ejemplos de vida.

A mi esposo, Arnulfo, mi compañero de vida, mi complemento, mi base.

A mis hermanos, Melissa y Juan, mi apoyo.

Gracias a mis asesores de tesis, Dr. Diego Sánchez González, Dr. José Rosbel Chapa Guerrero y Dr. Gerardo Veloquio, por la formación profesional y nuevos conocimientos.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
Aprobación	ii
Agradecimientos	iii
Tabla de contenido	iv
Lista de tablas	vii
Lista de figuras	viii
Nomenclaturas	ix
Resumen	x
Capítulo 1: Naturaleza y dimensión del estudio	
Introducción	13
1.1. Planteamiento del problema	18
1.1.1. Antecedentes	18
1.1.2. Preguntas de Investigación	23
1.1.3. Justificación	24
1.1.4. Alcances y limitaciones	25
1.2. Objetivos y metodología	26
1.2.1. Objetivo general	29
1.2.2. Objetivos Particulares	30
1.3. Hipótesis de partida	30
Capítulo 2: Riesgos Naturales	
Precipitaciones extremas y su implicación en procesos de remoción en masa.	
2.1. Precipitaciones extremas	31

2.1.1. Distribución de precipitaciones mediante el Índice Modificado de Fournier (IMF).....	36
2.1.2. Variabilidad espacial de las precipitaciones	39
2.2. Procesos de remoción en masa	40
2.3. El riesgo natural: estudio del peligro, exposición y vulnerabilidad.....	48
Capítulo 3: Diagnóstico y Resultados	
3.1. Área de estudio.....	54
3.1.1. Geomorfología y topografía del área de estudio.....	54
3.1.2. Edafología.....	67
3.1.3. Climatología.....	70
3.1.4. Islas de Calor (Urban Heat Island, UHI).....	72
3.1.5. Cobertura vegetal.....	75
3.2. El riesgo por remociones en masa: Peligrosidad, exposición y vulnerabilidad	78
3.2.1. Distribución y variabilidad de las precipitaciones.....	79
3.2.2. Variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones.....	81
3.3. Aspectos sociodemográficos	83
3.3.1. Análisis de vulnerabilidad.....	87
3.3.1.1. Densidad de población.....	89
3.3.1.2. Población con discapacidad.....	90
3.3.1.3. Población no derechohabiente a salud.....	91
3.3.1.4. Población de lengua indígena.....	93
3.3.1.5. Sistemas de acción o alerta.....	94
3.4. Aspecto urbano.....	95

3.5. Instrumentos jurídicos	98
3.5.1. Bases legales de intervención en la planificación urbana.....	98
Capítulo 4: Síntesis y discusión	
4.1. Síntesis de la problemática.....	102
4.2. Discusión y conclusiones.....	104
Bibliografía	111

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1.1. Clasificación de precipitaciones y ciclones tropicales (CENAPRED, 2004).....	33
1.2. Precipitaciones intensas causadas por ciclones tropicales (CENAPRED, 2004).....	34
1.3. Clasificación de las remociones en masa (Cruden y Varnes, 1996).....	71
1.4. Evolución de la población total en los años 2005 -2010, San Pedro Garza García, NL.....	60
1.5. Análisis geológico del área de estudio, San Pedro Garza García, NL (2010).....	64
1.4. Análisis edafológico del área de estudio, San Pedro Garza García, NL. (2010).....	69
1.5. Distribución de las temperaturas medias anuales en estaciones climáticas e Índice de Aridez de años 1971-2000 (Datos en grados centígrados.....	71
1.6. Análisis de cobertura vegetal de zona de estudio, San Pedro Garza García, NL. (2010).....	76
1.7. Indicadores de peligrosidad según la zona de estudio, San Pedro Garza García, NL. (2012).....	79
1.8. Distribución temporal de precipitaciones por medio del Índice Modificado de Fournier e Índice de Agresividad Climática de años 1971-2000. (Datos en mm).....	80
1.9. Distribución temporal de precipitaciones máximas diarias durante el período 1971-2000 (Datos en mm).....	81
1.10. Evolución de la población absoluta según Agebs, San Pedro Garza García, NL. (2005-2010).....	83
1.11. Distribución de la población por edades y discapacidad por Agebs, San Pedro Garza García, NL. (2005-2010).....	84

1.12. Evaluación de la peligrosidad de factores que implican procesos d remoción en masa, San Pedro Garza García, NL. (2010).....	88
1.13. Tabla de obtención y nivel de porcentaje de densidad de población.....	89
1.14. Porcentaje del factor de densidad de poblacional como indicador de riesgo, San Pedro Garza García, NL. (2010).....	90
1.15. Tabla de obtención y nivel de porcentaje de población con discapacidad, San Pedro Garza García, NL. (2010).....	91
1.16. Porcentaje del factor de personas con discapacidad como indicador de vulnerabilidad, San Pedro Garza García, NL. (2010).....	91
1.19. Tabla de obtención y nivel de porcentaje de población no derechohabiente, San Pedro Garza García, NL. (2010).....	95
1.17. Porcentaje del factor de población no derechohabiente como indicador de vulnerabilidad, San Pedro Garza García, NL. (2010).....	92
1.18. Tabla de obtención y nivel de porcentaje de población de lengua indígena, San Pedro Garza García, NL. (2010).....	93
1.19. Porcentaje del factor de población de lengua indígena como indicador de vulnerabilidad, San Pedro Garza García, NL. (2010).....	94
1.20. Tabla de obtención y nivel de porcentaje de sistema de alerta poblacional y protección civil (2010).....	95
1.24. Evaluación de la peligrosidad de factores que implican procesos de remoción en masa, San Pedro Garza García, NL (2010).....	108

LISTA DE GRÁFICOS

Figura	Página
1.1. Localización geográfica del área de estudio en la Sierra Madre Oriental, Municipio de San Pedro Garza García, N.L.....	27
1.2. Clasificación de deslizamientos de masa (Cruden y Varnes, 1996).....	45
1.3. Tipos de remociones en masa Cruden y Varnes (1996).....	46
1.4. Localización geográfica del área de estudio en la Sierra Madre Oriental, Municipio de San Pedro Garza García, N.L.....	57
1.5. Clasificación de topografía y Agebs del área de estudio, San Pedro Garza García, NL. (2010).....	58
1.6. Mapa del área de estudio con ubicación de Agebs y total de población, municipio de San Pedro Garza García 2010.....	60
1.7. Cartografía geológica del área de estudio, Municipio de San Pedro Garza García, NL (2010)	64
1.8. Análisis de cartografía geológica del área de estudio, Municipio de San Pedro Garza García, NL.	65
1.9. Análisis comparativo de cartografía geológica del área de estudio, Municipio de San Pedro Garza García (2012).....	65
1.10. Análisis de cartografía edafológica del área de estudio, Municipio de San Pedro Garza García, NL. (2010).....	68
1.11. Análisis comparativo de cartografía edafológica del área de estudio, Municipio de San Pedro Garza García, NL.....	70
1.12. Localización de temperaturas tomadas en recorrido del área de estudio (2012)....	72

1.13. Interpolación de las islas de calor del área de estudio mediante método Inverse Distance Weighted (IDW), Municipio de San Pedro Garza García, NL. (2012).....	73
1.14. Análisis de cartografía de cobertura vegetal del área de estudio, Municipio de San Pedro Garza García, NL. (2010).....	76
1.15. Análisis comparativo de zonificación de cobertura vegetal del área de estudio, Municipio de San Pedro Garza García, NL. (2012).....	77
1.16. Análisis comparativo entre zonificación urbana y cobertura vegetal del área de estudio, Municipio de San Pedro Garza García, NL. (2012).....	78
1.15. Distribución temporal de precipitaciones máximas diarias 1971- 2000. (Datos en mm).....	82
1.14. Análisis comparativo entre zonificación urbana y cobertura vegetal del área de estudio, Municipio de San Pedro Garza García, NL. (2012).....	85

LISTA DE IMÁGENES

Imagen	Página
1.1. Localización del área de estudio en el Área Metropolitana de Monterrey, Municipio de San Pedro Garza García, NL.....	27
1.2. Partes de la remoción en masa de Cruden y Varnes (1996).....	43
1.3. Detalle de deslizamientos de rocas y material en zona de Olinalá.....	48
1.4. Detalle de cartografía de zona considerada de riesgo por desechos sólidos (IMPLAN, 2011).....	51
1.5. Corte estratigráfico de la Sierra Madre Oriental, en el anticlinal de los muertos, San Pedro Garza García, NL. (Chapa Guerrero, Meiburg, Schetelig, 1993).....	55
1.6. Cortes de taludes para urbanización en Lomas de San Agustín y Lomas del Campestre (2012).....	59
1.7. Erosión de suelo por urbanización en Lomas del Campestre (2012).....	59
1.8. Mapa geomorfológico con detección de zonas de peligro por edificación (IMPLAN).....	61
1.9. Zonas de alto riesgo determinadas por diagnóstico del Plan de Desarrollo Urbano (IMPLAN).....	61
1.10. Remociones en masa en área de San Ángel y acceso al Parque Ecológico Chipinque al paso de la Tormenta Tropical “Alex” (2010).....	66
1.11. Muestra de lutita en suelo del área de estudio, Municipio de San Pedro Garza García, NL (2012).....	67
1.12. Área de estudio en Colonia San Patricio 5to Sector (Ageb 1046-9), Municipio de San Pedro Garza García, NL. (2008).....	74
1.13. Área de estudio actual en Colonia San Patricio 5to Sector (Ageb 1046-9), Municipio de San Pedro Garza García, NL. (2012).....	74

1.14. Evolución de la población total del área de estudio, San Pedro Garza García, NL (2005-2010).....	86
1.15. Cartografía De áreas urbanas y zonas naturales protegidas de San Pedro Garza García, NL. (2010).....	96
1.16. Cartografía de áreas urbanizables y no urbanizables, San Pedro Garza García, NL. (2010).....	96
1.17. Cartografía de zonificación urbana del área de estudio, San Pedro Garza García, NL (2010).....	97
1.18. Detalle de zonas de riesgos geomorfológicos del área de estudio, San Pedro Garza García, NL. (IMPLAN, 2010).....	99
1.20. Características analizadas mediante método de planeación estratégica del Distrito San Ángel, San Pedro Garza García, NL (2010).....	100

NOMENCLATURA
ABREVIATURAS (INGLES Y ESPAÑOL)

AMM: Área Metropolitana de Monterrey.

AGEBS: Áreas Geoestadísticas Básicas.

ARCGIS: Software de análisis espacial con base de datos alfa numérico georeferenciada al sitio.

HAS: Hectáreas.

IPCC: Intergovernmental Panel of Climate Change

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

CENAPRED: Centro Nacional de Prevención de Desastres.

SME: Servicio Meteorológico Nacional.

SIG: Sistemas de Información Geográfica.

M.S.N.M.: Metros sobre nivel del mar.

RESUMEN

Urbanismo vulnerable a los procesos de remoción en masa en el municipio de San Pedro Garza García, Nuevo León (México).

Publicación No. 1

Universidad Autónoma de Nuevo León, 2013

Director de Tesis: Dr. Diego Sánchez González

Capítulo 1: Naturaleza y dimensión del estudio.

Introducción

En la actualidad el cambio climático se ha convertido en un tema de importancia, debido a los riesgos que implica para la población y el medio ambiente, por lo tanto es necesario fomentar la investigación con la intención de desarrollar el tema a fondo para lograr diferentes estrategias desarrollando métodos de prevención de los desastres naturales (Alcántara-Ayala, 2002¹; IPCC, 2007²).

Uno de los fenómenos naturales que se asocian al cambio climático, son las precipitaciones extremas. Este tipo de precipitaciones han ido aumentando su intensidad y frecuencia por medio del desarrollo de ciclones que azotan los márgenes aledaños a las costas, en este caso el Golfo de México (IPCC, 2007).

Diversos estudios han previsto las variaciones de las precipitaciones en el clima de México y como inciden en los procesos de remoción en masa o movimientos en masa los cuales han provocado daños materiales y pérdidas humanas (Alcántara- Ayala, 2002, Méndez, 2008³).

Los procesos de remoción en masa van en aumento debido a factores naturales y factores antrópicos (como la intervención del hombre en el ambiente natural en forma de asentamiento humano) (Scheidegger, 1998⁴).

Las remociones en masa son definidas, por autores como Cruden-Varnes (1991⁵) y Scheidegger (1998), como deslizamientos, movimientos o modificaciones del terreno,

¹ Alcántara- Ayala, I. (2001): “Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries”. *Geomorphology*, No. 47, pp, 107-124.

² IPCC (2007): “Cambio climático 2007”, Informe de síntesis. en Intergovernmental Panel on Climate Change. Ginebra.

³ Méndez González, J; Návar Chíadez, J; González Ontiveros, V. (2008): “Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México”, en *Investigaciones Geográficas*, No. 65, pp. 38 -55.

⁴ Scheidegger, A. (1994). “Hazards: singularities in geomorphic systems”. *Geomorphology*, No. 10, pp 19–25.

de masas de roca, tierra o escombros (Scheidegger, 1998), sin embargo, el estudio de los peligros naturales, como las remociones de masa, no han sido investigados a fondo debido a lo complejo que es analizarlos en el espacio y tiempo (Chivitá, 2008⁶).

En las consideraciones sobre la geomorfología del área de estudio es importante realizar un análisis de ocurrencia del fenómeno que se presenta, en este caso sobre las remociones en masa o deslizamientos; por tanto, es necesario que se tomen en cuenta las propiedades geológicas y de los procesos de la dinámica de cambio que sufren las superficies (Ariztazabal y Yokota, 2006⁷).

En México las poblaciones se encuentran expuestas a peligros naturales, como remociones en masa e inundaciones. La mayor parte de los datos se encuentran registrados en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y el Centro Nacional de Prevención de Desastres, las cuales son organizaciones importantes para estudios sobre fenómenos naturales y las afectación que tienen sobre las personas que habitan zonas de riesgo.

En el año 2007 en México, uno de cada cuatro municipios del país recibió apoyo económico por los desastres asociados a los fenómenos naturales, proporcionando el 55% del presupuesto destinado para la recuperación ante las remociones en masa (FONDEN, 2008⁸).

En México la planificación urbana, falta de investigación sobre el tema de la exposición de la población al peligro natural, es necesario el aumento de conocimiento y

⁵ Cruden, D; Varnes, D. (1996): "Landslides types and processes", en Turner, AK y Schurter, RL.(Ed.), "Landslides: investigation and mitigation. Transportation Research board, Special Report", Washington, DC: National Academy Press, No. 247, pp. 36-75.

⁶ Chivitá Cárdenas, I (2008): "Estimación de la susceptibilidad ante deslizamientos: aplicación de conjuntos difusos y las teorías de la posibilidad y de la evidencia", en Ingeniería e Investigación, Abril, Vol. 28, No. 1, pp. 26-40.

⁷ Ariztazabal, E y Yokota, S (2006): "Geomorfología aplicada a la ocurrencia de deslizamientos en el Valle de Aburrá" en Dyna, Julio, Vol. 73, No. 149.

⁸ Fondo de Desastres Nacionales, FONDEN (2008): "Recursos autorizados 2007", en Sistema Nacional de Protección Civil, México.

sobre los fenómenos naturales, el actuar sobre el medio ambiente natural y la reacción al riesgo, con efecto de favorecer la prevención de desastres naturales (Mardones y Vidal, 2001⁹; Sánchez, 2011).

La investigación analiza el riesgo de remociones en masa por sobre los asentamientos humanos que se encuentran en suelos inestables y pendientes pronunciadas inadecuadas para su urbanización en el anticlinal de la Sierra Madre Oriental, en el municipio de San Pedro Garza García. Aquí, se realiza un análisis de las variaciones espacio temporales de las precipitaciones extremas y las formas en que inciden en la zonificación de las zonas urbanas que se encuentran expuestas a movimientos en masa.

Asimismo, se utilizarán los Sistemas de Información Geográfica (SIG) agregando datos estadísticos físicos (geomorfología, climáticos) y sociodemográficos, los cuales reforzarán la evaluación y zonificación de las remociones en masa del área de estudio.

El estudio sobre el riesgo de las remociones en masa, implica un método para la evaluación y zonificación en el contexto de los asentamientos humanos irregulares, la planificación urbana y ordenación del territorio del Área Metropolitana de Monterrey, esperando contribuir a la mejora de la prevención de riesgos.

El área de estudio se localiza en el municipio de San Pedro Garza García, sobre el anticlinal de la Sierra Madre Oriental, dentro del área conocida por el investigador Padilla y Sánchez (1985) en Chapa Guerrero (1993) como “Curvatura de Monterrey” (Chapa Guerrero, Meiburg, Schetelig, 1993¹⁰) donde se localizan colonias como: Lomas del Campestre, San Agustín, San Patricio, San Ángel, Olinalá y Bosques del Valle,

⁹ Mardones, M; Vidal, C. (2001): “ La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción” en Revista Latinoamericana de Estudios Urbanos y Regionales (EURE), Vol. 27, No. 81, pp. 97 -122.

¹⁰ Chapa Guerrero, J; Meiburg, R; Schetelig, K. (1993): “ Riesgos geológicos en la Sierra Madre Oriental (Estado de Nuevo León), México”, pp. 555-566.

donde existe la erosión de suelo y remociones en masa debido a la geomorfología del lugar, como sus pendientes dominantes y suelos inestables.

Las precipitaciones extremas y ciclones tropicales entre los años 1971 al 2010, determinaron la peligrosidad y exposición para la zona de estudio, por lo tanto fue necesario completar el análisis de riesgo natural mediante la obtención de la vulnerabilidad de acuerdo a índices determinados por las características poblacionales, como ingresos socioeconómicos, personas con discapacidad, adultos mayores y aumento de población, vivienda y sistemas de alerta.

La información coincide con la que se presenta en el Atlas de Riesgo del Estado de Nuevo León (2010) debido a la serie de desastres en el Área Metropolitana de Monterrey, en el cual se indica que la tormenta tropical “Alex”, se presentaron lluvias intensas con captaciones de hasta 600 mm en 48 horas, lo que provocó inundaciones y remociones en masa en zonas montañosas y cauces de ríos y arroyos, principalmente en el municipio de San Pedro Garza García y Santa Catarina.

El municipio de San Pedro Garza García es considerado como una de las zonas más inestables y de mayor riesgo de movimientos en masa por su ubicación sobre el anticlinal de la Sierra Madre Oriental, por la inestabilidad de taludes, la geomorfología y erosión del suelo, en donde existen áreas residenciales de nivel económico alto, como zonas de niveles bajos.

El municipio tiene una extensión de 7, 091.46 hectáreas, con un área urbana de 3,946.29 hectáreas y un área que no se encuentran urbanizadas de 3, 145.13 hectáreas, mientras que el área de estudio cuenta con 126627.57 has.

Las determinadas colonias residenciales del municipio de San Pedro Garza García, como San Patricio, Cerro de la Corona, San Ángeles, Villa Montaña, San Ángel y Olinalá, por mencionar algunas de ellas, presentan pendientes abruptas, y existen

discontinuidades por fracturas y por estratificación del suelo, las cuales se ven afectadas por los cortes que se realizan para la urbanización, lo que favorece problemas de volteos, deslizamientos y caídos (como se explicaron según información de Cruden y Varnes, 1996).

Estos problemas se vuelven de gravedad por la falta de manejo y cuidado de las cañadas, la afectación al medio ambiente del ecosistema de la Sierra Madre Oriental y la zona conocida como Chipinque y por lo tanto requieren de planes u obras para la prevención de desastres (Atlas de Riesgo del Estado de Nuevo León, 2010¹¹).

¹¹ Atlas de Riesgo del Estado de Nuevo León, Primera Etapa (2010). Secretaría de Desarrollo Sustentable.

1. Planteamiento del problema.

1.1.1. Antecedentes.

Los estudios sobre riesgos naturales han adquirido relevancia en el contexto del cambio climático y, por lo tanto, se han vuelto comunes para la investigación, siendo importantes en la aplicación de soluciones en las ciudades desarrolladas o en vías desarrollo.

Estos cambios se han dado con más énfasis (entre los años de 1960 y 2000), debido a que se incrementaron los riesgos naturales, como terremotos, inundaciones, remociones de masas, sequias, incendios forestales, ciclones y tormentas, y esto causó impacto no solamente en las poblaciones sino también en los ecosistemas que se encontraban débiles. Sin embargo, los riesgos van a seguir presentándose, estos pueden aumentar o reducirse en el grado que se actúe como lo menciona la Estrategia Internacional para la reducción de Desastres Naturales (EIRD¹²).

En el informe de síntesis sobre el cambio climático del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC¹³), se menciona acerca de la importancia que presenta el clima de forma global, y la necesidad de incrementar los estudios de la zona del Golfo de México por el incremento constante de los ciclones tropicales; ante un aumento inminente de las precipitaciones, es más la probabilidad que se presenten remociones en masa.

Algunos investigadores, como Sánchez, D. (2011¹⁴), mencionan que la mayoría de los riesgos se convierten en desastres naturales cuando son la consecuencia de la deficiencia en la ordenación de los territorios.

¹² Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD).

¹³ IPCC (2007): "Cambio climático 2007". En Informe de síntesis, Intergovernmental Panel on Climate Change, Ginebra.

¹⁴ Sánchez-González, Diego (2011): "Precipitaciones extremas y sus implicaciones en procesos de remoción en masa en la planificación urbana de Tampico, México", en Cuadernos Geográficos, N° 48, 2011-1, Abril-Septiembre, pp. 135-159.

Los fenómenos hidrometeorológicos, como las precipitaciones intensas, son el objeto de estudio para determinar en buena medida los procesos de remoción en masa en el área de estudio. Para este fin es necesario definir los dos fenómenos y la manera en que influyen en las precipitaciones en los efectos geomorfológicos.

Las precipitaciones intensas son eventos hidrometeorológicos que presentan gran intensidad, y baja frecuencia temporal, por lo que tiene una distribución irregular, los cuales provocan los peligros naturales, como los geomorfológicos, procesos de erosión de suelo, inundaciones, cambios en cauces y llanuras y movimientos en masa (Beguería y Lorente, 1999¹⁵, Sánchez, 2011¹⁶).

Las precipitaciones intensas presentan variabilidad, en especial en el clima regional de México, como menciona Méndez (2011¹⁷), el cual en su investigación analiza la variabilidad del clima de la región de México, enfocando la atención en la distribución de las precipitaciones, debido al manejo deficiente de los recursos naturales y también, de la gestión del riesgo. Por lo tanto, se convierte en un tema de relevancia, no solamente a escala local o regional, sino que concierne a lo global.

En cuanto a las precipitaciones extremas, se han registrado datos meteorológicos, de ocurrencia, frecuencia, variabilidad e intensidad, sin embargo los procesos de remoción en masa no han sido investigados lo suficiente debido a la complejidad que presentan para obtener la ocurrencia del fenómeno, la cual es aleatoria e incierta, como menciona Chivitá (2008¹⁸).

México es un país que se encuentra situado en una zona que es afectada por diversos fenómenos naturales y cada año causan pérdidas materiales y humanas.

¹⁵ Beguería, S; Lorente, A. (1999): "Distribución espacial del riesgo de precipitaciones extremas en el Pirineo Aragonés Occidental", en *Geographicalia*, No. 37, pp. 17-36.

¹⁶ Sánchez-González, Diego (2011): "Precipitaciones extremas y sus implicaciones en procesos de remoción en masa en la planificación urbana de Tampico, México", en *Cuadernos Geográficos*, N° 48, 2011-1, Abril-Septiembre, pp. 135-159.

¹⁷ Méndez González, J; Nívar Chiádez, J; González Ontiveros, V. (2008): "Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México", en *Investigaciones Geográficas*, No. 65, pp. 38 -55.

¹⁸ Chivitá Cárdenas, I (2008): "Estimación de la susceptibilidad ante deslizamientos: aplicación de conjuntos difusos y las teorías de la posibilidad y de la evidencia", en *Ingeniería e Investigación*, Abril, Vol. 28, No. 1, pp. 26-40.

También su ubicación favorece la presencia de fenómenos hidrometeorológicos, como por ejemplo los 25 huracanes que se estiman llegan al país por las zonas costeras, de las cuales, las precipitaciones extremas se asocian, teniendo como consecuencia las inundaciones y los movimientos geomorfológicos (CENAPRED, 2004¹⁹)

En México 34.9 millones de personas habitan en zonas de riesgo de inundación, sin embargo, no existe un estimado para asentamientos humanos que se encuentren en zonas de riesgo por remociones en masa que hayan sido causados por precipitaciones intensas (CENAPRED, 2004).

Se propone fomentar el conocimiento y aportaciones sobre los riesgos y crear nuevas metodologías que usen datos sobre procesos geomorfológicos para que este instrumento de evaluación y zonificación sea funcional en la planeación urbana (Mardones y Vidal, 2001²⁰).

Para realizar una evaluación y zonificación de los riesgos por procesos geomorfológicos, investigadores como Mardones y Vidal (2008), Sánchez (2011) y Bignardello (1997)²¹, indican que es necesario determinar los patrones espacio-temporales del fenómeno natural las precipitaciones extremas, por medio de tres factores que se componen los riesgos naturales: peligrosidad, exposición y vulnerabilidad.

El riesgo es la probabilidad que ocurra en un lugar y momento un fenómeno natural que sea peligroso para la comunidad y que pueda causar algún daño a las personas que la habitan y a los bienes que poseen; mientras que la vulnerabilidad es la capacidad en que responden la población ante una amenaza o exposición de la población en número de habitantes o bienes por unidad de superficie que se encuentran en el área de riesgo. (Mardones, Vidal: 2004).

¹⁹ CENAPRED (2004). "Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos", en Serie Atlas Nacional de Riesgos, México: Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación.

²⁰ Mardones, M; Vidal, C. (2001): "La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción", en Revista Latinoamericana de Estudios Urbanos y Regionales (EURE), vol. 27, No. 81, pp. 97 -122.

²¹ Bignardello, L. (1997): "Proposición metodológica para la evaluación y zonificación integrada de riesgos naturales mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfica", en Revista de Geografía Norte Grande, No. 24, pp. 91-102.

Para otros autores, como Bignardello (1997), la peligrosidad se define a partir de la frecuencia e intensidad en que sucede un evento, como también la fragilidad que presente el sistema natural; por otro lado la exposición se refiere a la población, territorio o asentamiento que se encuentren expuestos al peligro y la vulnerabilidad es la capacidad de respuesta intrínseca con la que una comunidad reacciona y que se encuentra expuesta a padecer algún daño (Cardona, 2003²²).

Mardones y Vidal (2003), presentan un estudio de zonificación y evaluación de riesgos por procesos geomorfológicos, basados en un método propuesto por la ONU, a partir de la constitución del suelo. En el estudio se presenta la cartografía manual de la peligrosidad, vulnerabilidad y exposición, los tres elementos que conforman el riesgo natural. Posteriormente Mardones y Vidal en el estudio realizaron una jerarquización de los peligros naturales o amenazas; de esta forma se procedió a realizar la zonificación y evaluación mediante el análisis del comportamiento de las estructuras y materiales de vivienda, como método de medición de la vulnerabilidad de los asentamientos, basándose en el método de agregación de cartografía de Tarlet (1985²³).

La propuesta consiste en la valoración de las condiciones biofísicas frente a los usos en forma independiente de los elementos socioeconómicos (Peña y Mardones, 1999²⁴).

Las investigaciones sobre procesos de remoción en masa a causa de precipitaciones intensas, refuerzan lo mencionado en el Intergovernmental Panel of Climate Change sobre los ciclones tropicales. Sin embargo, en registros actuales, la mayor parte de estos fenómenos naturales, han estado cambiando sus trayectorias e intensidad, como por ejemplo el cambio que han tenido en el Golfo de México u océano atlántico continuando

²² Cardona, O (2003): "The need of rethinking the concepts of vulnerability and risk from Holistic Perspective: A necessary review and criticism for effective risk management", en Bankoff, GFG, Hillhost. D. (Ed.) Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People. London: Earthscan.

²³ Tarlet, J. (1984). La planificación ecológica. Méthodes et Techniques, París: Editorial Económica.

²⁴ Peña, F y Mardones, M. (1999): "Planificación ecológica en el curso inferior del Río Itata", en Revista Geográfica de Chile: Terra Australis, No. 44, pp. 45-62.

con dirección al norte, afectando la costa Este de Estados Unidos, probablemente por las variaciones de los fenómenos de “El Niño y La Niña”.

En el análisis se utilizan los Sistemas de Información Geográfica (SIG), mediante la introducción de datos hidrometeorológicos, como resultados históricos de las precipitaciones y geomorfológicos, como pendientes, tipo de suelo, estabilidad del suelo, para determinar las variaciones espacio temporal, tanto de lluvias intensas como de remociones en masa.

A continuación, favorecerá al estudio el conocimiento sobre la zonificación de las áreas urbanas o asentamientos irregulares expuestos a los procesos de remoción en masa, y que posteriormente, apoyarán como instrumento, a la planificación urbana y la ordenación territorial.

1.1.2. Preguntas de investigación.

En el Área Metropolitana de Monterrey, los riesgos por remociones en masa han aumentado considerablemente debido a las llegadas de tormentas tropicales y precipitaciones extremas (CONAGUA, 2010)²⁵.

Las precipitaciones extremas favorecen los procesos de remoción en masa, como los desplazamientos, caídas, deslaves de tierra, lodo y rocas consolidadas en la zona de la Sierra Madre Oriental, donde se encuentra en el área de estudio. El peligro, exposición y vulnerabilidad, aumentan debido a las características geomorfológicas del lugar, como las pendientes pronunciadas, tipo de suelo y la erosión de la urbanización al eliminar cobertura vegetal.

Por esta razón, se propone la obtención de resultados a las siguientes preguntas de investigación:

- 1) ¿Existe una relación entre el incremento de las precipitaciones extremas y los procesos de remoción en masa ocasionadas por ciclones tropicales en el Área Metropolitana de Monterrey?
- 2) ¿Las remociones en masa que se presentan en el área de estudio se deben a la erosión de suelo por urbanización?
- 3) ¿Cuáles Agebs presentan mayor peligro y exposición a las remociones en masa?
- 4) ¿Cuál es la población con mayor vulnerabilidad al riesgo de remoción en masa en el área de estudio?

²⁵ CONAGUA (2010): Normales Climatológicas. Comisión Nacional del Agua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

1.1.3. Justificación.

Los riesgos naturales por precipitaciones extremas y remociones en masa se ha incrementado en el Área Metropolitana de Monterrey en los últimos años, debido a que las precipitaciones extremas se han convertido en un fenómeno meteorológico de relevancia en la ciudad, por su irregularidad, frecuencia e intensidad, que han causado daños materiales y pérdida de vidas.

En la actualidad la ciudad ha pasado por desastres naturales, el más reciente es la tormenta tropical Alex (2010). Con esto se observaron inundaciones y remociones en masa en diferentes zonas en riesgo, como ríos, arroyos y faldas de los cerros en la Sierra Madre (Evaluación de Riesgos Naturales: 2010).

Los programas de desarrollo urbano y los reglamentos de construcción no han sido respetados y presentan deficiencias en relación a los riesgos, esto se observa en el Área Metropolitana de Monterrey, la cual presenta casos de asentamientos irregulares en zonas expuestas a peligros naturales.

El estudio sobre el riesgo de remociones en masa causadas por precipitaciones extremas apoyan a la determinación de procesos geomorfológicos y de la vulnerabilidad de la población, permitiendo hacer aportaciones para la eficiencia de la planificación urbana.

Diferentes organizaciones y asociaciones como la Organización Meteorológica Mundial (OMM), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) comenzando por la aportación en la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD), han determinado el inminente aumento de ciclones tropicales en el Golfo de México y el Océano Atlántico, sin embargo, actualmente, se han detectado modificaciones en trayectoria y acumulados de precipitaciones, se refuerza la necesidad

de retomar el tema de los riesgos naturales con nuevas propuestas de métodos para evaluarlos y zonificarlos

1.1.4. Alcances y limitaciones.

En la investigación se realizará un análisis de datos estadísticos sociodemográficos, geomorfológicos y de cobertura vegetal urbana del área de estudio en el municipio de San Pedro Garza García, N.L., localizada en la Sierra Madre Oriental.

Los datos que se obtengan del área del estudio serán definidos por medio de Agebs que se encuentren en zona de peligro por precipitaciones intensas y remociones en masa que se han presentado en el Área Metropolitana de Monterrey, sobre todo por localizarse en zona de Sierras y bosques. Se evaluará y zonificará las áreas con mayor potencial de peligro de deslizamientos, caídas y deslaves de tierra, lodo y piedras en asentamientos humanos que se encuentren expuestos y, a su vez, obtener la vulnerabilidad de la población que la habita.

De esta forma, se busca obtener un instrumento de localización y análisis de vulnerabilidad poblacional, que sirva de apoyo a las leyes, reglamentos y planes de desarrollo, con la finalidad de un mejor funcionamiento de la planificación urbana.

1.2. Objetivos y metodología.

Para el estudio de los riesgos naturales es necesario tomar en cuenta los tres elementos que la conforman: peligrosidad, exposición y vulnerabilidad.

La peligrosidad se obtiene mediante la intensidad y el tiempo en que sucede un fenómeno natural de ciertas magnitudes, en este caso lluvias, dependiendo de factores como el medio natural en que se encuentra el espacio (Bignardello, 1997²⁶, Sánchez, 2011); mientras que la exposición se refiere al asentamiento humano que se encuentra en alta exposición al peligro y se convierte en vulnerable; por tanto la vulnerabilidad es la capacidad en que la población puede responder al encontrarse ante la exposición de algún daño (Cardona, 2003²⁷); se refiere a el desconocimiento; puede ser de las estructuras construidas, de capacidad de respuesta de la población (no conocen el riesgo).

El objetivo general analiza el riesgo de remociones en masa en los asentamientos humanos en el municipio de San Pedro Garza García. Asimismo, el estudio comprende diferentes objetivos específicos;

-Ampliar el estudio de la influencia de las variaciones temporales de las precipitaciones extremas que se presentan, las cuales determinaran los peligros que representa la geomorfología del AMM.

-Evaluar los procesos de remoción en masa en el área de estudio para determinar la exposición, peligrosidad y vulnerabilidad, permitiendo crear un instrumento de aportación para la planificación urbana, zonificando y elaborando cartografía de zonas de alto riesgo.

²⁶ Bignardello, L. (1997): "Proposición metodológica para la evaluación y zonificación integrada de riesgos naturales mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfica", en Revista de Geografía Norte Grande, No. 24, pp. 91-102.

²⁷ Cardona, O (2003): "The need of rethinking the concepts of vulnerability and risk from Holistic Perspective: A necessary review and criticism for effective risk management". En Bankoff, GFG, Hillhost. D. (Ed.) Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People. London: Earthscan.

Es importante la aportación del instrumento y método de análisis, ya que de esta forma contribuirá a la planeación, como también en el apoyo al incremento de conocimientos sobre las remociones en masa causadas por precipitaciones extremas en el área de estudio en el Municipio de San Pedro Garza García, N.L.

La metodología se implementó fue por medio de trabajo en campo, haciendo visitas de campo durante período Agosto 2011 y Junio 2012, para observar el aumento de erosión de suelo y crecimiento de asentamientos comerciales y habitacionales, obteniendo pruebas fotográficas, muestras de suelo y medición de temperatura para determinar las islas de calor en diferentes puntos del área de estudio.

La zona de estudio está localizada al Noreste del anticlinal de “Los Muertos” en la Sierra Madre Oriental en el Municipio de San Pedro Garza García, considerando el área de Lomas del Campestre, San Agustín, San Patricio, Olinalá, San Ángel y Bosques del Valle, zona con características de suelo particulares como rocas sedimentarias (debido a la erosión de suelo), estructuras con pliegues y pendientes pronunciadas que se muestra a continuación.

Imagen 1.1. Localización del área de estudio en el Área Metropolitana de Monterrey, Municipio de San Pedro Garza García, NL.



Imagen 1.1. Fuente: Inegi, 2010)

Los tipos de análisis realizados al área de estudio fueron por medio de áreas geoestadísticas (AGEBS) y diagnósticos geomorfológicos como: topografía, geología, edafología y cobertura vegetal, con apoyo de información de INEGI, datos obtenidos en campo y uso de Sistemas de Información Geográfica (ArGis).

Al momento de obtener estos datos e introducirlos en un SIG, se logran obtener zonificaciones espacio temporales de acuerdo a la peligrosidad y la exposición de los procesos geomorfológicos en el lugar de estudio, logrando así un mapa donde se zonifican, detectan los peligros, y pueden ser aplicados para proyectos y planes de desarrollo, con el objetivo de lograr una planificación organizada.

El análisis geológico demuestra que el suelo de la mayor parte del área de estudio presenta Lutita, la cual es una roca sedimentaria con características edafológicas donde predomina la materia orgánica, suelos calizos y poco consolidados, por lo tanto, es propensa a la remoción en masa por erosión de suelo (Muñoz, 2011)²⁸, y en la zona se aprecian el incremento de asentamientos humanos y en áreas que anteriormente presentaban cobertura vegetal.

El área de estudio está ubicado en el flanco norte del anticlinal los muertos en donde aparecen estratos casi verticales de diferentes formaciones geológicas del cretácico superior, como son: Cupido, La Peña, Aurora, Cuesta del Cura, Agua Nueva San Felipe y Méndez. Cabe señalar, que la mayor parte del área urbanizada se localiza sobre suelo del cuaternario el cual se formo debido a la desintegración de las rocas antes mencionadas. Aquí se pueden observar grandes relieves, favorable para que se presente indistintos tipos de movimientos en masa (Chapa-Arce et al., 2010).

²⁸ Muñoz, B; Conde, R; Rincón, J (1991): "Evaluación de riesgos por urbanización en zonas montañosas de Monterrey, NL". Universidad Autónoma de Nuevo León, Ingeniería Civil, Abril.

La climatología del área de estudio presenta características de clima templado y semiseco y fue necesaria la obtención de islas de calor²⁹, en una visita al sitio, tomando la temperatura en puntos estratégicos a las 13:00 horas, donde el sol incide más para determinar la acumulación de calor por el medio físico alterado, localizando las zonas donde la precipitación puede ser mayor y encontrando que los puntos que presentaron 2 grados mayor en comparación con las áreas con vegetación densa fueron Alfonso Reyes, Roberto G. Sada, Parque Rufino Tamayo e Iglesia de San Agustín.

Los problemas para realizar la investigación se debieron a la falta de cartografía elaborada por Desarrollo Urbano del Municipio de San Pedro, no estaba definido el riesgo por remoción en masa. También, se recurrió al Instituto Municipal de Planeación Urbana de San Pedro (IMPLANSP) donde proporcionaron mapas de riesgos para hacer la comparación con el medio físico natural.

La investigación utiliza datos estadísticos para elaborar análisis poblacionales, geomorfológicos, cobertura vegetal y urbana, determinado el estado en que se encuentra el área de estudio. Con los datos obtenidos, se realizarán cálculos de índices de probabilidad, y evaluaciones espacio temporal de las precipitaciones intensas, donde se determina la ocurrencia de las remociones en masa y como el grado de vulnerabilidad que presenta la población de la zona y finalmente obtener el grado de riesgo de los Asentamientos Humanos a los procesos de remoción en masa teniendo como resultado las afectaciones ante un desastre natural.

1.2.1. Objetivo general

Analizar el riesgo de remociones en masa asociadas a precipitaciones extremas en el Municipio de San Pedro Garza García, NL.

²⁹ Se analizarán las islas de calor para conocer si el incremento de los asentamientos humanos y la desaparición de las áreas verdes, están relacionadas con los procesos erosivos y los procesos de remoción en masa en el área de estudio.

1.2.2. Objetivos particulares

Obtener datos estadísticos poblacionales y geomorfológicos para elaborar análisis de peligrosidad, exposición y vulnerabilidad ante las precipitaciones intensas, remociones en masa en el área de estudio.

Elaborar cartografía donde se muestre la evaluación y zonificación del riesgo de los asentamientos humanos y tener como resultado indicadores que permitan conocer los AGEBS con mayor vulnerabilidad.

1.4. Hipótesis de partida

Los procesos de remoción en masa están determinados por las precipitaciones extremas y el crecimiento urbano insostenible en áreas no aptas para su uso residencial en el municipio de San Pedro Garza García, Nuevo León.

Capítulo 2: Riesgos Naturales.

Precipitaciones extremas y su implicación en procesos de remoción en masa.

2.1. Precipitaciones extremas.

El sistema del calentamiento global evidencia los aumentos de temperatura en el aire y el mar, provocando el deshielo y el aumento del nivel de los océanos; dicho aumento se encuentra distribuido a lo largo del planeta (IPCC, 2007³⁰).

Según datos obtenidos por un grupo de especialistas que conforman la IPCC, se prevé que las ondas de calor y las precipitaciones extremas aumenten la intensidad, velocidad y abundancia de los ciclones tropicales.

Algunos investigadores, como Méndez-Navár (2008³¹), mencionan que para hacer evidente la existencia del cambio climático es necesario que se analicen las tendencias del clima de forma espacio-temporal, profundizando el conocimiento sobre su variabilidad (Guenni, Degryze, Alvarado, 2008³²).

Las tendencias como los cambios graduales de factores climáticos se definen como: el comportamiento de las precipitaciones, las enfermedades, fenómenos hidrometeorológicos extremos, inundaciones, deslaves, pérdidas materiales y de vidas (Díaz, 2010³³, Aristazabal y Yokota, 2006³⁴).

Algunos autores como Méndez y Navár, (2008)³⁵ han estudiado el cambio climático en diferentes regiones del mundo han evidenciado el problema del calentamiento global, dando resultados diferentes pero significativos.

³⁰ IPCC (2007). "Cambio climático 2007", en Informe de síntesis, Intergovernmental Panel on Climate Change, Ginebra.

³¹ Méndez González, J; Nívar Chíadez, J; González Ontiveros, V. (2008): "Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México", en Investigaciones Geográficas, No. 65, pp. 38 -55.

³² Guenni, L; Degryze, E; Alvarado, K. (2008): "Análisis de la tendencia y estabilidad de la precipitación, mensual en Venezuela", en Revista Colombiana de Estadística, Vol. 31, No. 1, Junio, pp. 41-65.

³³ Díaz, S. (2010): "Variabilidad de los ciclones tropicales que afectan a México", en Interciencia, vol. 35, No. 4, pp. 306-310.

³⁴ Aristazabal, E y Yokota S (2006): "Geomorfología aplicada a la ocurrencia de deslizamientos en el Valle de Aburrá" en Dyna, Julio, vol. 73, No. 149.

³⁵ Méndez González, J; Nívar Chíadez, J; González Ontiveros, V. (2008): "Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México", en Investigaciones Geográficas, No. 65, págs. 38 -55.

Las previsiones que mencionan diferentes extractos sobre el incremento de las inundaciones que se asocian a los ciclones tropicales en los próximos años (Martínez y Fernández, 2004³⁶). Sin embargo, estas previsiones climáticas deben implicar nuevos diseños en la planificación urbana, que vayan acorde a los contextos ambientales los cuales minimicen el riesgo natural (Perles, 2010³³, Rodríguez; 2007³⁷).

Actualmente, se investiga acerca de los riesgos naturales y como afectan los fenómenos climatológicos a las urbes. Sin embargo, a pesar de ser un tema de interés general, la falta de propuestas de prevención, del incremento del riesgo potencial y las pérdidas materiales y humanas.

Los fenómenos meteorológicos estudiados en el contexto del cambio climático, son las precipitaciones extremas, que presentan variaciones y distribución en espacio y tiempo que favorecen a la agresividad climática, determinando los procesos de erosión del suelo o procesos geomorfológicos, como las remociones en masa. Según lo estimado por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, estos procesos geomorfológicos irán en aumento de ocurrencia e intensidad, siendo determinante para la planificación al prever los posibles riesgos que afectarían poblaciones y viviendas.

Las precipitaciones intensas son eventos hidrometeorológicos extremos de gran intensidad, baja frecuencia temporal y presentan una aparente distribución espacial irregular (Beguería y Lorente, 1999³⁸). Este tipo de características provocan peligros naturales geomorfológicos, como los procesos de remoción en masa o la erosión de los suelos.

Algunas de las precipitaciones intensas o extremas proceden por los ciclones tropicales formados en el Golfo de México. Los ciclones tropicales son el nombre que

³⁶ Martínez, J; Fernández, A. (2004): "Cambio climático: una visión desde México", Ciudad de México, Instituto Nacional de Ecología.

³⁷ Rodríguez, J (2007): "La conformación de los "desastres naturales: Construcción social del riesgo y vulnerabilidad climática en Tijuana, B.C", en Frontera Norte, Vol.19, No. 31, pp: 83-112.

³⁸ Beguería, S; Lorente, A. (1999): "Distribución espacial del riesgo de precipitaciones extremas en el Pirineo Aragonés Occidental", en Geographicalia, Núm. 37, pp.17-36.

reciben las depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes (dependiendo de la magnitud que presenten), estos se forman en los océanos, principalmente en el ecuador.

Estos presentan una circulación superficial definida y conformada por un centro de baja presión atmosférica, la cual, gira en el hemisferio norte en sentido contrario a las manecillas del reloj, formado por zonas ciclogénicas (Díaz, 2010³⁹).

Las investigaciones realizadas subrayan la importancia de los ciclones, que afectan a las costas del país, debido a su incremento en el área del Golfo de México. Sin embargo, es destacable que los ciclones tropicales, como las precipitaciones intensas, presentan radios de acción, que pueden extenderse a áreas centrales del país, afectando regiones, e incluso de forma más peligrosa por asentamientos expuestos a remociones de masa.

Los ciclones tropicales se catalogan dependiendo de la intensidad de la siguiente manera:

Tabla 1.1. *Clasificación de precipitaciones y ciclones tropicales (CENAPRED, 2004).*

Categoría	Presión central (mb)	Vientos (km/h)	Tormenta de marea (m)	Características
Perturbación tropical	1008.1 a 1010			Ligera circulación de vientos
Depresión tropical	1004.1 a 1008	<62		Localmente destructivo
Tormenta tropical	985.1 a 1004	62.1 a 118	1.1	Tiene efectos destructivos
Huracán categoría 1	980.1 a 985	118.1 a 154	1.5	Altamente destructivo
Huracán categoría 2	965.1 a 980	154.1 a 178	2.0 a 2.5	Altamente destructivo
Huracán categoría 3	945.1 a 965	178.1 a 210	2.5 a 4.0	Extremadamente destructivo
Huracán categoría 4	920.1 a 945	210.1 a 250	4.0 a 5.5	Extremadamente destructivo
Huracán categoría 5	< 920	> 250	> 5.5	El más destructivo

Fuente. CENAPRED (2004). Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Serie Atlas Nacional de Riesgos, México: Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación

Es necesario puntualizar que el registro de los ciclones tropicales no presenta un récord desde el año 1921, como lo menciona Díaz (2010), pero no fue hasta el año 1963, mediante la observación satelital, cuando empezaron a realizar registros de forma

³⁹ Díaz, S. (2010): “Variabilidad de los ciclones tropicales que afectan a México”, en *Interciencia*, vol. 35, No. 4, pp. 306-310.

continua y mediante análisis espacio-temporales en el océano pacífico. En cuanto al océano Atlántico, los registros que se tienen son desde el año 1851, debido a su magnitud, que afectaron a ciudades ocasionando pérdidas económicas y de vidas humanas.

Según CENAPRED (2007), el registro de precipitaciones y ciclones tropicales, demuestra que México se ha visto afectado por estos tipos de fenómenos naturales, en especial en las zonas costeras del país, que han tenido como consecuencia daños materiales a viviendas e infraestructura, así como la pérdida de vidas humanas.

Tabla 1.7. Precipitaciones intensas causadas por ciclones tropicales (CENAPRED, 2004).

Huracán	Fecha	Localidad	Lluvia media anual(mm)	Lluvia máxima en 24h(mm)
Gladis	1 sep. 1955	Catemaco, Ver		253
Hilda	19 sep. 1955	Villa de Reyes, S.L.P.		384
Janet	29 sep. 1955	Villa de Reyes, S.L.P.		535
Beulah	22 sep. 1967	Monterrey		541
Naomi	13 sep. 1968	Río Baluarte, Sin		500
Liza	30 sep. 1976	La Paz	230	410
Gilbert	15 sep. 1988	Monterrey		310
Roxanne	20 oct. 1995	Martínez de la Torre		297
Pauline	9 oct. 1997	Acapulco	1400	411

Fuente. CENAPRED (2004). Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Serie Atlas Nacional de Riesgos, México: Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación

En la tabla 1.6 de CENAPRED (2007), contienen los huracanes que más destrucción han causado en la República Mexicana, entre los años 1955 a 1997. Asimismo, en la tabla 1.7, indica las precipitaciones extremas en un espacio de tiempo de 24 horas en el Área Metropolitana de Monterrey.

En la historia reciente de Monterrey se han registrado daños por el Huracán Gilberto en 1988, que causó pérdidas de 766 millones de dólares y 255 decesos, mientras que el huracán Beulah en 1967, causaron daños por 500 millones de dólares y 630 muertos.

Las precipitaciones han ido en aumento en la zona del Golfo de México. En la actualidad, el incremento de las lluvias se ha vuelto evidente; como por ejemplo en el caso del Huracán Alex en Julio del 2010, que a pesar de irse degradando de categoría a depresión tropical conforme se internaba a la República Mexicana por el Golfo de México, llegando como tormenta tropical al Área Metropolitana de Monterrey, trajo acumulados de lluvia mayores a los presentados por los huracanes Beulah y Gilberto. Este huracán convertido a tormenta tropical, tuvo precipitaciones intensas de más de 616 mm en 60 horas, de acuerdo a los datos recabados por las estaciones climatológicas La Estanzuela, Arroyo Seco en los municipios de Monterrey y San Pedro Garza García, NL. (CONAGUA, 2010⁴⁰).

Las diferentes estaciones climatológicas, como La Estanzuela, Arroyo Seco (en Monterrey y San Pedro Garza García), Santa Catarina, Protección civil, Cerro Prieto (Linares), Presa de la Boca, Los Ramones, San Martín, Fierro, Mitras y Obispo, presentaron acumulados de lluvias en 48 horas de 240 a 616.5 mm. Es importante tomarlo como referencia para la investigación, ya que los registros que se tienen acceso son entre los años 1971 al 2000.

Los registros climatológicos sobre los ciclones tropicales y las precipitaciones intensas, deben ser estudiados con más intervalos de periodo en años, esto permite el análisis de las variaciones de lluvias, a su vez la información que se obtenga se puede determinar en acumulados, que provoquen inundaciones y remociones en masa en suelos inestables (Mansilla, 2000⁴¹).

Actualmente, se elaboran propuestas disfuncionales por parte de los actuales gobiernos para evitar un desastre. Arango (2000⁴²) recomienda propuestas de diseño e

⁴⁰ CONAGUA (2010): Comunicado de prensa No. 156 -10. México. Comisión Nacional del Agua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

⁴¹ Mansilla, E. (2000): "Riesgo y ciudad". Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

⁴² Arango, J. (2000): "Relaciones lluvias-deslizamientos y zonificación geotécnica en la comunidad dos de la ciudad de Manizales". Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

implementación de sistemas de alerta en áreas de exposición al riesgo, por lo cual, se fomentaría la creación de estrategias de prevención de desastres, como las restricciones del uso de suelo, las modificaciones de reglamentos de construcción de obras, la estabilización de taludes y el manejo de las aguas pluviales. Por lo tanto, se debe fomentar el cambio de estrategias de los gobiernos ante la problemática del cambio climático y de los desastres naturales que traen consigo las variaciones climatológicas y deben poseer la capacidad de desarrollo para no permitir el incremento de la vulnerabilidad y riesgo de los asentamientos (CENAPRED: 2004⁴³).

2.1.1. Distribución de precipitaciones mediante el Índice Modificado de Fournier.

Las precipitaciones extremas se consideran como lluvias de gran intensidad (70 mm en 24 horas) que logran desencadenar procesos geomorfológicos de grandes dimensiones y, las cuales, traen pérdidas materiales, económicas y sobre todo humanas (Beguiría, Lorente: 1999)⁴⁴, un grave riesgo para los asentamientos humanos, localizados en pendientes abruptas, orillas de ríos, y laderas.

Algunos investigadores (García, 2003)⁴⁵ confirman que la variabilidad espacio temporal de las precipitaciones espacio temporal es complejo, sobre todo, en la zona del Golfo de México, por la proximidad que existen en las costas, la zona marítima, la orografía y la circulación que presenta la atmósfera.

Beguiría y Lorente (1999), indica que es necesario que se estudien las distribuciones espaciales del peligro que presentan las precipitaciones extremas, ya que pueden existir diferentes patrones en cuanto a la geografía del área de estudio,

⁴³ CENAPRED (2004). Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Serie Atlas Nacional de Riesgos, México: Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación.

⁴⁴ Beguiría, S; Lorente A. (1999). "Distribución espacial del riesgo de precipitaciones extremas en el Pirineo Aragonés Occidental", en Revista Geographicalia, No. 37, pp. 17-36.

⁴⁵ García, E. (2003): "Distribución de la precipitación en la República Mexicana", en Investigaciones Geográficas, México, No. 55.

presentando grandes potenciales para la cartografía del peligro natural, mediante diferentes técnicas y estadísticas, como las leyes de probabilidad y los cálculos de los períodos de retorno, así como la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)⁴⁶.

Para aplicar la metodología de Índice Modificado de Fournier es necesario tomar los estudios pluviométricos de nivel extremo, que son utilizados para analizar datos hidrológicos y geomorfológicos. Durante la presentación de este tipo de fenómenos, se llevan a cabo los efectos de erosión del suelo, como arroyamientos, movimientos de masa, cambios en las corrientes pluviales, los cuales provocan desastres que afectan a las poblaciones, la infraestructura urbana y las viviendas (García Ruiz, 1999)⁴⁷.

Según la metodología que aplican Beguería y Lorente (1999), es necesario determinar el nivel erosivo de las precipitaciones extremas, aparte de calcular el Índice de Fournier (IF), el Índice Modificado de Fournier (IMF) y el Índice de Concentración de Precipitaciones (ICP) tomando las precipitaciones mensuales. Cabe mencionar la existencia de otro tipo de métodos, como propuesto por Sánchez González (2011) que considera la obtención del Índice de Fournier.

Es necesario que se consideren los datos meteorológicos que presentan las diferentes estaciones que se encuentren y monitoreen la zona de estudio localizadas en el Área Metropolitana de Monterrey.

El índice de agresividad climática o Índice de Fournier se obtiene por medio de la siguiente operación:

$$IF = p_{\max}^2 / P$$

Donde:

IF: Índice de Fournier

⁴⁶ Sistemas de Información Geográfica (SIG).

⁴⁷ García Ruiz, J; Beguería, S; Lorente, A (1999): “Eventos hidrológicos de baja frecuencia en el Pirineo central español y sus efectos geomorfológicos”. Serie Geográfica.

P max: Precipitación media que corresponde al mes más lluvioso (mm)

P: Precipitación media anual.

Mientras que el Índice Modificado de Fournier (IMF) se obtiene de manera distinta tomando del monitoreo de precipitaciones mensuales y anuales de la siguiente manera:

$$\text{IMF} = \frac{\sum p^2}{P}$$

Donde:

IMF: Índice de agresividad de lluvia

p: precipitación mensual

P: precipitación anual.

Al calcular las precipitaciones mensuales y anuales, el método establece un factor de agresividad. Asimismo, se hace la relación entre las precipitaciones mencionadas. Se ha evaluado la distribución temporal de las precipitaciones y sus implicaciones dentro de la agresividad del clima que se presenta por lluvias, el cual causa procesos de erosión en los suelos y peligros geomorfológicos, como los procesos de remoción en masa dentro del área de estudio.

Se determina el Índice Modificado de Fournier sobre la variabilidad temporal de las precipitaciones que se encuentran en la zona de la sierra; por medio de la variabilidad temporal del record de precipitaciones que presentan las estaciones meteorológicas de 1971-2005.

El Índice Modificado de Fournier calcula las precipitaciones que presenten características extremas que puedan causar erosiones en el tiempo de un año, como también una estación climática, por medio de la suma de las precipitaciones mensuales del año, elevadas al cuadrado, tal como se presentó en la investigación de García (1999), mediante la fórmula del índice de agresividad de precipitaciones o Índice Modificado de Fournier (IMF).

2.1.2. Variabilidad espacial de las precipitaciones

La formación de este tipo de fenómenos sobre la zona del Atlántico se debe a las corrientes del Golfo de México, las cuales presentan temperaturas de 27 grados, de la que se derivan los ciclones durante el verano y el otoño, los cuales alcanzan hasta el mes de Diciembre (Capel Molina, 1989)⁴⁸.

La variabilidad climática de la zona de estudio se ve influenciada en el Golfo de México por los ciclones tropicales que se forman en el Atlántico, así como las precipitaciones intensas, que se presentan generalmente son por depresiones tropicales (Hurrell,1995)⁴⁹. El incremento de la intensidad y tiempo de las precipitaciones extremas, en el Área Metropolitana de Monterrey se ha visto traducida en inundaciones y remociones en masa de los cerros y sierras principales, como la Sierra Madre Oriental, el Cerro de las Mitras y el Cerro de la Silla.

Diferentes investigaciones, como Méndez (2008) e IPCC (2007), muestran que no hay tendencias en el incremento de los ciclones, esto debido a la falta de información de las series históricas. Sin embargo, existen otros tipos de estudios que se asocian a los fenómenos tropicales al fenómeno El Niño, lo que podría justificar la variabilidad climática, sobre todo en estados costeros.

Para tener una visión extensa sobre la variabilidad de precipitaciones, es necesario tener los registros históricos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), considerar las velocidades, extensiones del fenómeno, velocidad de desplazamiento y los acumulados de lluvias, como también la geomorfología del sitio.

⁴⁸ Capel Molina, J (1989): "El huracán Gilberto y su evolución en el Caribe, Golfo de México y Norteamérica", en Paralelo, Vol. 37, No. 11-12, pp.7-28.

⁴⁹ Hurrell, J. (1995): "Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation", en Science, No. 296, pp. 676-679.

Otros métodos que pueden ser utilizados para analizar las precipitaciones intensas son el Método Inverso de la Distancia (Inverse Distance Weighted IDW) y el Método de Gumbel, que forman parte de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

El método Inverso de la Distancia se utiliza para el análisis de variación espacial, utilizando las precipitaciones máximas diarias y las medias anuales que muestren las estaciones climáticas.

2.2. Procesos de remoción en masa

Los procesos de remoción en masa deben ser analizados y definirlos en espacio y tiempo (Bosque, 2005⁵⁰), de aquí la importancia de los análisis de ocurrencia, intensidad y exposición de las precipitaciones extremas y sus implicaciones en los procesos de remoción en masa que afectan a los asentamientos (Méndez y Navár, 2008 y Sánchez, 2011).

Los peligros naturales que implican procesos de movimientos, como terremotos, desplazamientos de piedras y tierra o volcanes, presentan índices de peligro para los asentamientos humanos, los cuales, no solamente está determinado por factores naturales y antrópicos, convirtiéndolo en peligro y vulnerabilidad para las personas que habitan este tipo de zonas irregulares en suelo. (Alcántara Ayala, 2000⁵¹).

Los procesos de remoción en masa son producto de los elementos de la morfología del sitio, como la evolución de las laderas, que forman un papel importante en los movimientos de masas; por lo tanto, es el riesgo más frecuente que causa desastres a nivel mundial, aumentando el nivel de peligrosidad al que se encuentran expuestos los asentamientos humanos que se localizan pendientes pronunciadas, como consecuencia

⁵⁰ Bosque, J; Ortega, A. y Rodríguez, V. (2005): "Cartografía de riesgos naturales en América Central con datos obtenidos desde Internet", en *Documents d'Análisi Geogràfica*, No. 45, pp. 47-70.

⁵¹ Alcántara Ayala, I (2000): "Landslides: ¿Deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología", en *Investigaciones Geográficas*, Abril, No. 41, pp. 7-25.

del crecimiento de la población, causando pérdidas económicas y humanas (Aristazabal y Yokota, 2006⁵²).

Investigadores, como Sánchez González (2011), indican en los estudios de peligros por remociones en masa, el error de emplear el término de remociones en masa como deslaves, ya que este último no especifica los diferentes tipos de riesgo por remociones que existen y especificarlos como tal.

Se busca zonificar y evaluar áreas de suelo inestable y con posibilidades de ocurrencia de procesos de remoción en masa, mediante datos geomorfológicos y análisis de precipitaciones para la geografía del lugar, así como los datos sociodemográficos para el análisis de vulnerabilidad de los asentamientos que se encuentran expuestos al peligro, como también de la capacidad de reacción.

Las remociones en masa son definidas como el deslizamiento o movimiento de una masa de roca, escombros tierra a lo largo de una ladera (Cruden 1991⁵³). También son las modificaciones que se dan dentro de un terreno en el ciclo geomorfológico continuo, que corresponden a la respuesta de sistemas complejos exogénicos y endogénicos (Scheidegger; 1998). Los sistemas complejos exógenicos son conocidos como los sistemas meteorológicos y los sistemas endogénicos, como los tectónicos. Estos procesos son el producto o consecuencia de la geomorfología, hidrología y las condiciones geológicas del lugar; que al modificar sus condiciones favorecen los procesos geodinámicos, la alteración ambiental, como el uso de suelo y la acción de hombre sobre el lugar, que activan los movimientos de forma lenta y casi perceptible. Los factores mencionados van a favorecer los procesos de remoción de masa, tanto por las precipitaciones intensas, como por un sistema complejo exogénico que va a incidir

⁵² Ariztazabal, E y Yokota S (2006): "Geomorfología aplicada a la ocurrencia de deslizamientos en el Valle de Aburrá", en Dyna, Julio, vol. 73, No. 149.

⁵³ Cruden, D; Varnes, D.(1996):"Landslides types and processes", en Turner, AK y Schurter, RL.(Ed.), "Landslides: investigation and mitigation". Transportation Research board, Special Report 247, Washington, DC: National Academy Press, págs. 36-75.

en este tipo de riesgos, de forma lenta o rápida en zonas de asentamientos que se encuentren en laderas o superficies con grados de pendientes marcados.

Los procesos de remoción en masa son conocidos como deslizamientos por fuerza de gravedad o deslizamientos que ocurren en las laderas, esto significa el movimiento de materiales por fuerza de gravedad, causados por factores antrópicos, como la erosión del suelo a causa de la urbanización. Este peligro aumenta cuando se presenta un fenómeno meteorológico que condicione la estabilidad del suelo (Cruden y Varnes, 1996)⁵⁴. Asimismo, CENAPRED (2004) define los deslizamientos como un desequilibrio o rompimiento de materiales en las laderas, que se desplaza por la acción de la gravedad, por lo tanto se alcanza la falla cuando el esfuerzo por corte se aplica sobre la superficie, y este llega a ser igual a la resistencia. Algunas definiciones coinciden con las causas del peligro sobre remociones en masa, como la actividad del hombre sobre el ambiente natural, asentándose en laderas, zonas de escurrimientos, cauces de arroyos y ríos, siendo las zonas de mayor vulnerabilidad al desastre natural.

Las precipitaciones provocan efectos sobre taludes y laderas debido a la infiltración, esto incrementaría el nivel de la superficie freática, la cual, es la zona de saturación de un acuífero. También las presiones y el peso unitario de la masa, disminuyen la resistencia al corte, y favorecen que la masa de suelo logre un desequilibrio (Arango; 2000⁵⁵). Por lo tanto, las precipitaciones, como la acción del hombre, causan movimientos geomorfológicos, que dependen del tipo de suelo donde se encuentren las fallas, esto puede acelerar el proceso de remoción de masa, de acuerdo a su resistencia, granulometría y presiones que se ejerzan en el lugar.

La elaboración de estudios eficientes sobre peligrosidad, exposición y vulnerabilidad, se han convertido en el enfoque para el análisis y determinación de las

⁵⁴ Cruden, D; Varnes, D.(1996): "Landslides types and processes", en: Turner, AK y Schurter, RL.(Ed.), "Landslides: investigation and mitigation", Transportation Research board, Special Report 247, Washington, DC: National Academy Press, pp. 36-75.

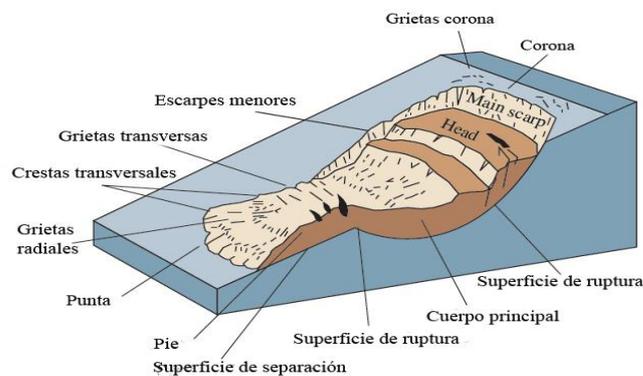
⁵⁵ Arango, J (2000): "Relaciones lluvias-deslizamientos y zonificación geotécnica en la comunidad dos de la ciudad de Manizales , Colombia" : Universidad Nacional de Colombia.

zonas de riesgo natural, debido al incremento de los desastres, producto del cambio del clima mundial, como de la acción del hombre sobre el medio ambiente (Alcántara Ayala; 2007⁵⁶). Asimismo, Alcántara Ayala- Murillo (2007), mencionan que se debe tomar en cuenta que las superficies y suelos no son estáticos, por lo tanto la interacción entre los sistemas complejos varía en la actuación del paisaje; por lo tanto, se le une a otra de las causas de los movimientos de masas.

Para considerar los estudios sobre la geomorfología con el objetivo de investigar los procesos de remoción en masa, es importante tomar en cuenta las características y propiedades de los materiales que conforman el lugar, mediante un análisis del suelo, como también de la ocurrencia del fenómeno.

En el gráfico 1.1 se representa la conformación de una remoción en masa, de acuerdo a los niveles de las partes de un movimiento de este tipo.

Imagen 1.11. *Partes de la remoción en masa de Cruden y Varnes (1996).*



Fuente: "Landslides types and processes" (Cruden y Varnes, 1996)

Las remociones en masa se dividen en diferentes tipos según la metodología e información que presentan Cruden y Varnes (1996).

⁵⁶ Alcántara Ayala, I; Murillo García, F (2007): "Procesos de remoción en masa en México: hacia una propuesta de elaboración de un inventario nacional". Investigaciones Geográficas; No. 66, México.

Tabla 1.3. Clasificación de las remociones en masa (Cruden y Varnes, 1996).

Tipo de movimiento		Tipo de material		
		Rocas	Suelos	
			Suelos	Finos
Caídas		Caída de roca	Caída de escombros	Caída de tierra
Derrumbes		Derrumbes de roca	Derrumbes escombros	Derrumbes de tierra
Deslizamientos	Rotacional	Deslizamiento de roca	Caída de escombros	Deslizamiento de tierra
	Translacional			
Esparcimiento Lateral		Esparcimiento de roca	Esparcimiento escombros	Esparcimiento de tierra
Flujos		Flujos de roca Arrastres profundos	Flujo de escombros (Suelos profundos)	Flujo de tierra
Complejo		Combinación de dos o más tipos de movimientos		

Fuente: "Landslides types and processes" (Cruden y Varnes, 1996)

Las remociones en masa son diferentes procesos, como los movimientos de la formación de materiales, como rocas, suelos, rellenos artificiales e incluso, la combinación de ellos (Cruden y Varnes, 1996); que pueden moverse por caídas, derrumbes, deslizamientos (rotacionales y translacionales), esparcimientos, flujos y el complejo, que es la combinación de varios de ellos.

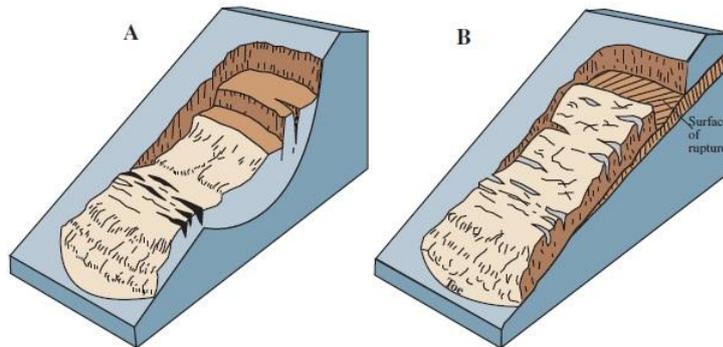
Los movimientos de masa se localizan en los sistemas montañosos, aunque también pueden en ocurrir en áreas de bajo relieve, tal es el caso del Área Metropolitana de Monterrey, que se encuentra rodeada del sistema montañoso de la Sierra Madre Oriental, donde se presentan diferentes tipos de suelo, algunos factibles a las remociones en masa.

Cruden y Varnes (1996), atendiendo a la clasificación de los deslizamientos que se conocen como los movimientos en masa donde existe una zona diferente a la debilidad que separa el material a partir de otros más estables; estos se dividen en rotacionales y translacionales.

Los rotacionales son los deslizamientos en donde la superficie de ruptura se encuentra curvada cóncava hacia arriba y en donde el deslizamiento es rotacional alrededor de un eje que es paralelo al campo de superficie y transversal, a través del deslizamiento; mientras que el translacional es un deslizamiento en donde el

movimiento de masa consiste en una unidad algunas relacionadas que se mueven cuesta abajo.

Imagen 1.2. Clasificación de deslizamientos de masa (Cruden y Varnes, 1996).



Fuente: "Landslides types and processes" (Cruden y Varnes, 1996)

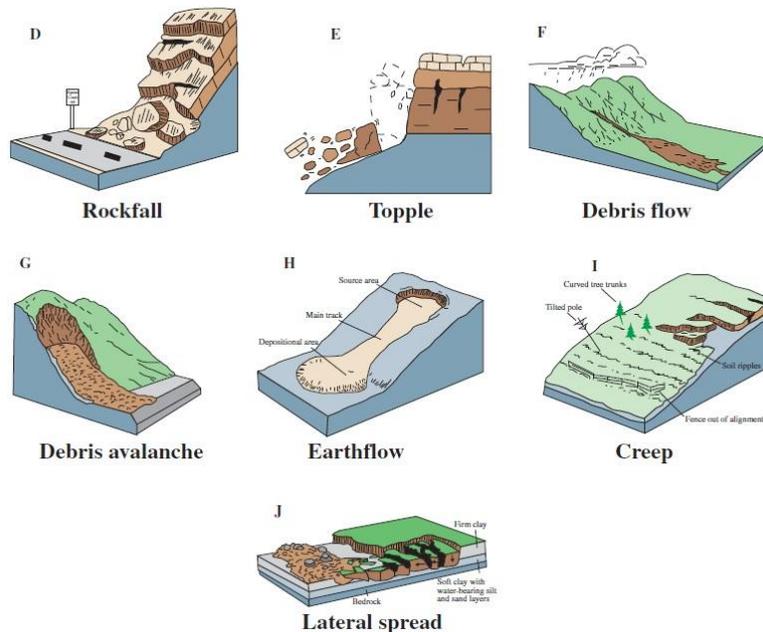
Otro tipo de movimiento son las caídas, que son movimientos abruptos de masas de materiales geológicos, como rocas y cantos rodados, que están separados de las pendientes de las laderas o acantilados. Esta separación puede ocurrir a través de discontinuidades como fracturas, juntas o terraplenes, y el movimiento ocurre por caída libre, rebote, rodamiento y se encuentran influenciados por gravedad, meteorización, como presencia de agua (el cual podría aplicar a las precipitaciones intensas).

Los derrumbes se distinguen por la rotación de masa que por la acción de gravedad y fuerzas de unidades adyacentes como fluidos en grietas. Por otro lado, los flujos se dividen en 5 categorías básicas como: flujo de escombros, avalancha de escombros, flujo de tierra, flujo de lodo, arrastres y esparcimientos.

Los esparcimientos son remociones se presentan en terrenos muy suaves o planos, son movimiento que se esparcen lateralmente acompañado de fracturas. Es un proceso mediante el cual se saturan los sedimentos que se encuentran sueltos y por lo general no son cohesivos, como las arenas y los limos, que se transforman de un estado sólido a líquido.

A continuación, se presenta el gráfico 1.3 donde se explican visualmente los tipos de remociones en masa que se presentan:

Gráfico 1.3. *Tipos de remociones en masa Cruden y Varnes (1996).*



Tipos de remociones en masa: Caídas (D), derrumbes (E), escombros (F)(G), flujos (H), esparcimientos (J). Fuente: “Landslides types and processes” (Cruden y Varnes ,1996)

Los movimientos entre capas o discontinuidades que se activan por factores antrópicos, como la construcción, al hacer cortes en taludes de las montañas, en lo que se conoce como “deslizamiento”, una definición que se viene trabajando en diferentes estudios (Mardones y Vidal, 2001)⁵⁷.

Chapa Guerrero (1993) hace mención acerca de los rodamientos con caída de bloques y flujos de materiales, producto de lluvias torrenciales, que corren a través de arroyos o cañadas, con el riesgo de azolvar los asentamientos con agua o materiales que fueron desplazados.

En el área de estudio existen depósitos de brecha calcáreos que componen bloques de grandes tamaños, que requieren cuidado al realizar los cortes. Otro ejemplo de

⁵⁷ Mardones, M; Vidal, C. (2001): “La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción”, en Revista Latinoamericana de Estudios Urbanos y Regionales (EURE), vol. 27, No. 81, pp. 97 -122.

composición son las rocas arcillosas o lutíticas, que se erosionan con facilidad y representan un riesgo importante.

Según la evaluación realizada por Muñoz, Conde y Rincón (1991), la formación de la Sierra Madre Oriental y su estratificación se formó por estratos horizontales que fueron plegados y fallados por fuerzas de compresión orogénica en una faja de anticlinales y sinclinales, los cuales son ejes paralelos al actual frente que presenta la Sierra Madre Oriental. En esta sierra existen pendientes fuertes donde se producen fallas de talud por desprendimientos de bloques y que caen por la fuerza de gravedad.

En esta evaluación elaborada por especialistas de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Muñoz, Conde, Rincón, 1991)⁵⁸ se realizaron sondeos por zonas, en el Área Metropolitana de Monterrey. Las muestras de la zona Valle se realizó a lo largo del frente Noreste de la Sierra Madre Oriental entre las elevaciones 640 y 1200 metros, en los fraccionamientos: Villa Montaña, La Cima, Mirasierra, El Rosario, Pedregal del Valle, Villa del Pedregal, Balcones del Valle, Sierra del Valle, San Ángel, Residencial Chipinque , y Olinala, los cuales son fraccionamientos de niveles económicos altos, con viviendas unifamiliares y que presentan una topografía accidentada y resueltas mediante calles con residuos sinuosos a base de taludes, terraplenes, muros de contención y puentes. Toda la zona urbanizada presenta lomeríos en las faldas de la sierra, cañadas, cauces de arroyos, con pendientes que varían desde un 5%, en la parte baja, hasta un máximo de un 33%, en la parte alta. Sin embargo, entre los años 1991-2012 las construcciones han ido en aumento considerable, como los daños por las precipitaciones.

El área de estudio presenta anticlinales, como el Cerro de las Mitras y el Cerro del Topo Chico al norte; mientras que las formaciones como la Loma Larga y Cerro de los

⁵⁸ Muñoz, B; Conde, R; Rincón, J (1991): "Evaluación de riesgos por urbanización en zonas montañosas de Monterrey, NL". Universidad Autónoma de Nuevo León, Ingeniería Civil, Abril.

mueritos se encuentran al sur, y el Cerro de la Silla al sureste. Se puede observar que las formaciones son alargadas y angostas, presentando recumbencias de los 2 últimos, con deformaciones en direcciones predominantes al Noroeste y Sureste, se encuentran erosionados con escarpes y pendientes donde se aprecian los esfuerzos de deformación y formas perpendiculares de los anticlinales actuales (Muñoz, Conde, Rincón; 1991⁵⁹).

Las caídas o derrumbes de rocas, se encuentran sobre la cota 900, presentando rocas calizas y rocas arcillosas, a lo que supone una alta exposición de este tipo de deslizamientos (Muñoz, Conde, Rincón, 1996)⁶⁰, encontrándose sobre fraccionamientos como San Ángel, Valle de San Ángel, La Joya y Olinalá.

Imagen 1.3. Detalle de deslizamientos de rocas y material en zona Olinalá.



Fuente: Elaboración propia

2.3. El riesgo natural: estudio del peligro, exposición y vulnerabilidad.

Para la elaboración del tipo de estudio que se presenta con el objetivo de determinar la peligrosidad y exposición los procesos de remoción en masa, es necesario conocer y desarrollar los términos que algunos investigadores, Sánchez (2011); Mardones y Vidal

⁵⁹ Muñoz, B; Conde, R; Rincón, J (1991): "Evaluación de riesgos por urbanización en zonas montañosas de Monterrey, NL". Universidad Autónoma de Nuevo León, Ingeniería Civil, Abril.

⁶⁰ Muñoz, B; Conde, R; Rincón, J (1991): "Evaluación de riesgos por urbanización en zonas montañosas de Monterrey, NL". Universidad Autónoma de Nuevo León, Ingeniería Civil, Abril.

(2004), sugieren para determinar y analizar los riesgos naturales, como son la exposición, peligrosidad y vulnerabilidad.

El riesgo natural es la probabilidad en que ocurra en un lugar un fenómeno natural que puede ser en potencia peligroso para un asentamiento humano como también en el medio ambiente y pueda causar daños físicos a las vidas humanas, económicas y sociales (Mardones y Vidal: 2004), para otros autores el riesgo es la probabilidad en que ocurre una amenaza o peligro natural y el cual se presenta en tres factores mencionados en el párrafo anterior; peligrosidad, exposición y vulnerabilidad, el cual puede calcularse de la siguiente manera (Ayala Carcedo:2000⁶¹) :

$$R = \Sigma P.E.V$$

Donde:

P: Probabilidad

E: Exposición (como personas, riesgo humano o económico)

V: Vulnerabilidad

La peligrosidad se define por medio de la frecuencia y de la intensidad de un evento como lo frágil que se encuentre un sistema natural, sin embargo también se encuentra condicionada por elementos como la recurrencia y la energía del fenómeno natural que se presenta (Bignardello- Castro: 1997⁶²)

Mardones y Vidal mencionan que la peligrosidad es una amenaza, por lo tanto, se considera como un fenómeno natural, que puede expresarse mediante la intensidad, la

⁶¹ Ayala -Carcedo, F (2000): "La ordenación del territorio en la prevención de catástrofes naturales y tecnológicas. Bases para un procedimiento técnico- administrativo de evaluación de riesgos para la población", en Instituto Geológico y Minero de España. No. 30, pp. 37- 49.

⁶² Castro, C; Bignardello, L; Cereceda, P (1995): "Determinación de áreas con riesgo morfodinámico de San Juan Bautista, Isla Robinson Crusoe, Comuna de Juan Fernández, V Región", en Revista Geográfica de Chile, Terra Australis, No. 40, pp. 43-61 Instituto Geográfico Militar. Santiago Chile.

magnitud y la localización, y cual puede provocar daños a las personas o poblaciones (Mardones y Vidal: 2004⁶³).

Por otro lado, el término o concepto de exposición se define como la población los asentamientos o territorios que se encuentran expuestos a dicho peligro; por lo tanto es necesario tener en cuenta que no todos los autores analizan la exposición al riesgo, sino que la mayoría se enfoca a la peligrosidad y la vulnerabilidad que presenta una población como lo mencionan Bignardello (1997) y Mardones- Vidal (2004).

La vulnerabilidad es la probabilidad en que una población se encuentra expuesta al peligro, a sufrir algunos daños humanos y materiales en el momento de impacto, según el grado de fragilidad que presentan (Mardones y Vidal, 2001)⁶⁴. La misma se analiza por medio de varios indicadores: estructurales, funcionales, sociales, económico, educativo, físico y comunitario; García (2008) menciona en el análisis acerca del peso que toman los indicadores en el estudio; ya que un indicador entre más importancia o resultado fuerte se obtenga, toma una mayor importancia.

La vulnerabilidad en su concepto general es la capacidad de respuesta que una comunidad o asentamiento presenta ante el territorio que está expuesto a padecer daños. La vulnerabilidad se condiciona por medio de la grado de exposición y resistencia, en el caso de los peligros naturales a los que se exponen los asentamientos humanos (Cardona, 2003)⁶⁵.

Se busca incrementar el conocimiento acerca de las variaciones espacio temporales de las precipitaciones extremas y la influencia en las evaluaciones y zonificaciones de las remociones en masa; ya que, actualmente se comprueban las deficiencias en la

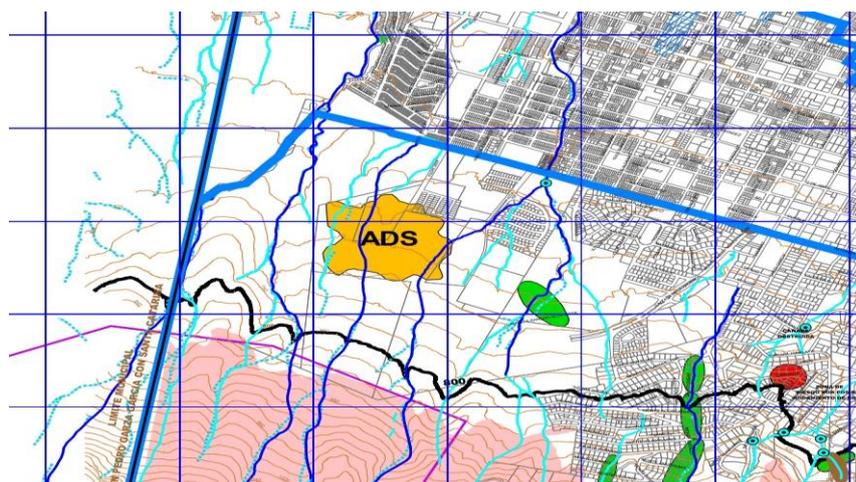
^{63,65} Mardones, M y Vidal, C. (2001): La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción. *Eure. Revista Latinoamericana de Estudios Urbanos y Regionales*, vol. 27, No. 81, págs. 97 -122.

⁶⁵ Cardona, OD (2003): The need of rethinking the concepts of vulnerability and risk from Holistic Perspective: A necessary review and criticism for effective risk management. En: Bankoff, GFG, Hillhost. D. (Ed.) *Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People*. London: Earthscan.

planeación urbana y zonificación de este tipo de riesgos en los diferentes municipios del Área Metropolitana de Monterrey, sobre todo en aquellos en que se acentúa este problema, como el municipio de San Pedro Garza García, Santa Catarina y Monterrey, los cuales se encuentran en zonas de alto riesgo por su localización sobre las diferentes cerros que forman parte de la Sierra Madre Oriental.

Cabe mencionar la falta de información específica sobre los riesgos por remoción en masa, ya que el principal tipo de peligro que presentan en el municipio de San Pedro Garza García es zonificación de riesgos por desechos sólidos sobre el área de la Avenida Alfonso Reyes entre la Zona Valle Poniente y la Universidad de Monterrey (UDEM).

Imagen 1.4. Detalle de cartografía de zona considerada de riesgo por desechos sólidos (IMPLAN, 2011).



Fuente: IMPLAN San Pedro Garza García.

En los siguientes puntos a exponer, se analizan las diferentes formas de estudio de las variaciones espacio temporales de las precipitaciones intensas para el análisis de riesgo por remociones en masa.

El concepto de riesgo se ha definido como la amenaza de un evento o fenómeno natural y la vulnerabilidad de la población que se expone a este peligro (Rodríguez; 2007⁶⁶). Es aquí donde el concepto de vulnerabilidad toma importancia, ya que se

⁶⁶ Rodríguez, J (2007): La conformación de los “desastres naturales”. Construcción social del riesgo y vulnerabilidad climática en Tijuana, B.C. Frontera Norte, Vol.19, No. 31, pp: 83-112.

analiza desde el punto de vista social, debido a la preocupación que atraen las comunidades afectadas, por lo tanto ello va a depender de los grados de exposición, protección y reacción, recuperación y reconstrucción del asentamiento humano (Foschiatti; 2004⁶⁷).

Para Rodríguez (2007), la vulnerabilidad representa un concepto complicado de analizar, debido a que es un factor social, resultando como la predisposición de la población a sufrir algún daño o verse afectada por un fenómeno natural.

Es necesario que se analice desde un punto de vista variado físico, social y económico.

La vulnerabilidad se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$D=V \times R$$

Donde

D: Desastre natural

V: Vulnerabilidad

R: Riesgo

La vulnerabilidad y el riesgo se unen, va a situarse un riesgo para una comunidad, mientras represente una amenaza y la población presente debilidad ante ello (Rodríguez; 2007).

Para otros autores, como García (2008⁶⁸), *“La vulnerabilidad se expresa como el porcentaje a que sea probable que una población que se encuentra en zonas de riesgo, presente daños a su persona y patrimonio, mostrando el grado de fragilidad.”*. Utiliza en su estudio, metodología basada en diferentes aspectos que presentan vulnerabilidad en algo o bajo índice; como por ejemplo: estructural, funcional, social, económica, educativa y comunitaria. Al tener varios índices, se vio en la necesidad de

⁶⁷ Foschiatti, A (2004): Vulnerabilidad global y pobreza: Consideraciones conceptuales. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina.

⁶⁸ García, R (2008). Riesgo de inundación por marea de tormenta en el municipio de Cd. Madero, Tamaulipas. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Tamaulipas.

estandarizarlos en 3 tipos: física, social y acción. El tipo físico se toma en cuenta la infraestructura del área de estudio, como la vivienda, la estructura que presente el asentamiento, vialidades o materiales de construcción; el tipo social, significa la salud, educación, ingresos económicos, vivienda; y el de alerta o acción, es la capacidad de reacción de las personas ante un fenómeno, asociaciones de emergencia y el grado de acción al responder después del riesgo.

Cada indicador debe ser evaluado, zonificado en cartografía y ser utilizados para cálculos como método de análisis de vulnerabilidad.

La investigación analiza por medio de estos factores que representen vulnerabilidad, pero adecuados al área de estudio, ya que los determinados por García (2008), van enfocados a asentamientos que presentan más margen de vulnerabilidad.

El área de estudio tiene mucho en común con las características de zonas con alta peligrosidad ante las precipitaciones que tienen como consecuencia movimientos de masa como flujos o desprendimientos, el cual se determina por la localización, como la Sierra Madre Oriental, la presencia de roca, las ladera, sin olvidar la cobertura vegetal de la zona que presenta niveles altos y un mayor nivel de susceptibilidad a este tipo de procesos.

Para lograr la zonificación de este tipo de riesgos, después del análisis de precipitaciones, variabilidad y períodos de retorno, es necesario analizar el tipo de suelo en que se encuentra y determinan las condiciones en que se encuentra el área de estudio.

Las evaluaciones que proponen autores como Mardones y Vidal (2001), son de acuerdo a la peligrosidad que se enfrenta, como factores de probabilidad de ocurrencia en años, tipo de morfología, pendientes en porcentajes, litologías y cobertura vegetal.

Capítulo 3: Diagnóstico y Resultados

3.1. Área de estudio

3.1.1. Geomorfología y topografía del área de estudio.

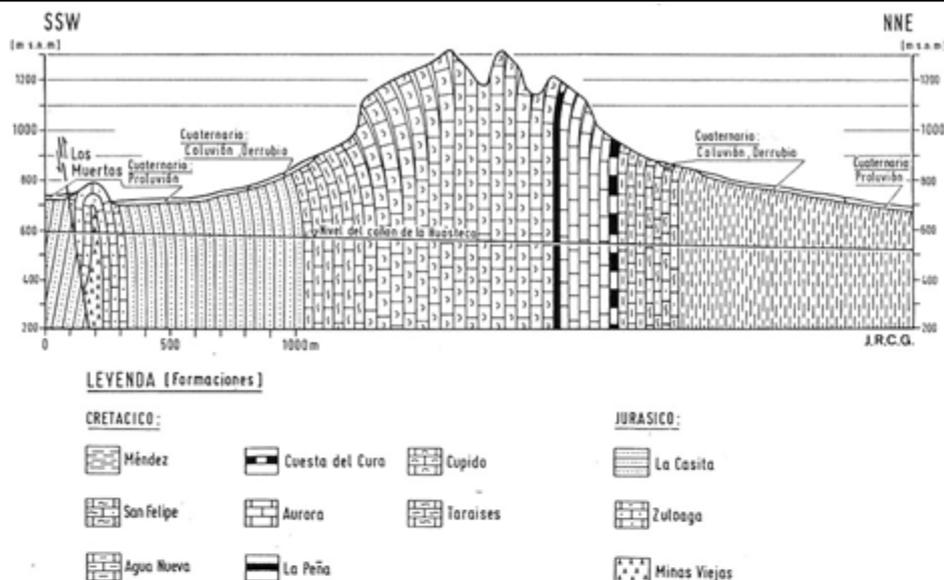
El Área Metropolitana de Monterrey se encuentra sobre el sistema montañoso de la Sierra Madre Oriental y la Llanura Costera del Golfo, donde se han formado asentamientos en zonas de riesgo, como laderas o faldas de los cerros, debido a la concentración de la población por el crecimiento urbano (Padilla y Sánchez (1985) en Chapa Guerrero (1993).

El municipio de San Pedro Garza García, se encuentra ubicado en su mayor parte sobre el anticlinal NE de la Sierra Madre Oriental, el cual presenta zonas con rocas calizas sobre la cota 1100, sin embargo, la mayor parte sobre la cota 800 y bajo ella, se encuentra conformado por la formación de Méndez, la cual presenta depósitos cuaternarios de escurrimientos y deslizamientos de rocas, llamados coluviones, proluviones y aluviones (Chapa Guerrero, Meiburg, Scheteling; 1993⁶⁹).

A continuación se muestra un corte estratigráfico del estudio geológico realizado por Chapa Guerrero (1993) del anticlinal de los Muertos en la Sierra Madre Oriental, donde se aprecia la altura máxima sobre el nivel del mar y las continuaciones en las paredes de la sierra, localizando el área de mayor inestabilidad en la formación de Méndez, donde se encuentra asentado la mayor parte del área del estudio.

⁶⁹ Chapa Guerrero, J; Meiburg, R; Scheteling, K. (1993): Riesgos geológicos en la Sierra Madre Oriental (Estado de Nuevo León), México, págs. 555-566.

Imagen 1.5. Corte estratigráfico de la Sierra Madre Oriental, en el anticlinal de los muertos, San Pedro Garza García, NL. (Chapa Guerrero, Meiburg, Schetelig, 1993).



Fuente: Chapa Guerrero, Meiburg y Schetekug (1993): Riesgos geológicos en la Sierra Madre Oriental (Estado de Nuevo León), México.

Según los datos obtenidos por la cartografía geológica, el municipio presenta zonas de remoción en masa por caídas y derrumbes de rocas, conocidos como rodamientos en la mayor parte del territorio, sin embargo, algunas zonas en específico se presentan derrumbes o deslizamientos de suelo.

La mayor parte de este tipo de remociones se encuentra sobre la cota 800, en donde existen asentamientos con viviendas unifamiliares de nivel socioeconómico alto.

Se presentan diversas zonas con peligro por remociones en masa, como el caso del municipio de San Pedro Garza García, el cual se encuentra ubicado sobre las faldas de la Sierra Madre Oriental, hacia el Sur del AMM, ocupando la mayor parte de su superficie y en donde el riesgo de movimientos en masa están latentes sobre la curvatura de la Ciudad de Monterrey, debido al crecimiento de asentamientos humanos en esta zona (Chapa, 2005⁷⁰).

Las zonas de peligro por remociones en masa del Área Metropolitana de Monterrey, son consideradas de la siguiente manera:

⁷⁰ Chapa, JR (2005): Movimientos en masa latentes en la Sierra Madre Oriental. Universidad Autónoma de Nuevo León. Ciencias de la Tierra, Noviembre.

- Sierra Madre Oriental (San Pedro Garza García).
- Las Mitras (Santa Catarina, San Pedro Garza García y Monterrey).
- Topo Chico (San Nicolás de los Garza y Monterrey).
- La Silla (Guadalupe y Monterrey).
- Loma Larga (Mederos).
- El mirador (San Pedro Garza García).

La geomorfología del área de estudio está conformada por rocas sedimentarias de edades mesozoicas y cenozoicas en estructuras de pliegues y pendientes del lugar; este tipo de rocas se deben a la erosión de las placas expuestas en la superficie, producto de los depósitos y de la litificación de rocas en los anticlinales de la Sierra Madre Oriental (INEGI, 2010⁷¹; Sánchez, 2011)⁷².

El área de estudio posee pendientes accidentadas mayores al 25%, considerando dicho porcentaje de pendiente como límite para las construcciones, ya que por la geomorfología que presenta el lugar, implica peligrosidad y exposición para los asentamientos humanos y el entorno natural (Sánchez, 2011).

Los asentamientos humanos se encuentran por arriba del 25% de pendiente, dando como límite de construcción el 41% de pendiente, mencionado en el Plan de Desarrollo Urbano de San Pedro (2010)⁷³ y en otros casos, no se respeta el porcentaje establecido por el plan, sino que los asentamientos lo rebasan como se aprecia en el área de estudio.

Se analizará el área mediante la selección de las zonas con mayor inestabilidad, donde se encuentran las zonas de alto peligro exposición por remociones en masa, de acuerdo a las características de estudios ya realizados en la zona (Muñoz, Conde;

⁷¹ INEGI (2010). Cartografía Geológica G14C25. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

⁷² Sánchez, D (2011) Precipitaciones extremas y sus implicaciones en procesos de remoción en masa en la Planificación Urbana de Tampico.

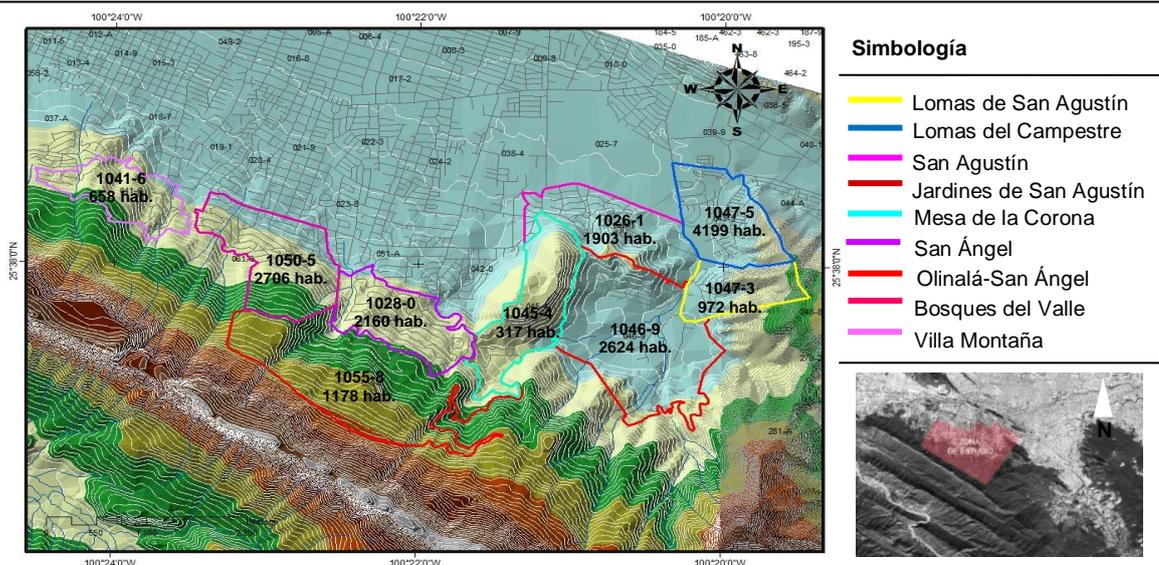
⁷³ Plan de Desarrollo Urbano Municipal de San Pedro Garza García, NL, 2024 (Actualización 2010).

1991)⁷⁴, también tomando como referencia el Plan de Desarrollo Urbano del municipio de San Pedro Garza García (Plan de Desarrollo Urbano de San Pedro Garza García: 2011)⁷⁵.

En la figura 1.4 y 1.5, se muestra la localización geográfica del área de estudio analizada, mediante datos topográficos del INEGI (2010), y editados mediante sistemas de información geográfica (ArGis), ubicando los Agebs y pendientes de acuerdo al riesgo que presentan.

La clasificación de las áreas en riesgo a las remociones en masa se debe a la topografía del área de estudio, las cuales se clasificaron de la siguiente manera: riesgo bajo en pendientes menores del 10 %, medio del 10 al 15 % , alto del 15 al 20% y muy alto en zonas con inclinaciones mayores al 20%, según los cálculos obtenidos en la evaluación de la peligrosidad y exposición con respecto a la geomorfología del lugar, esto es, por medio de la obtención de pendientes en sitio, la geología, edafología y cobertura vegetal que presenta el área.

Gráfico 1.4. Localización geográfica del área de estudio en la Sierra Madre Oriental, Municipio de San Pedro Garza García, NL. (2013).

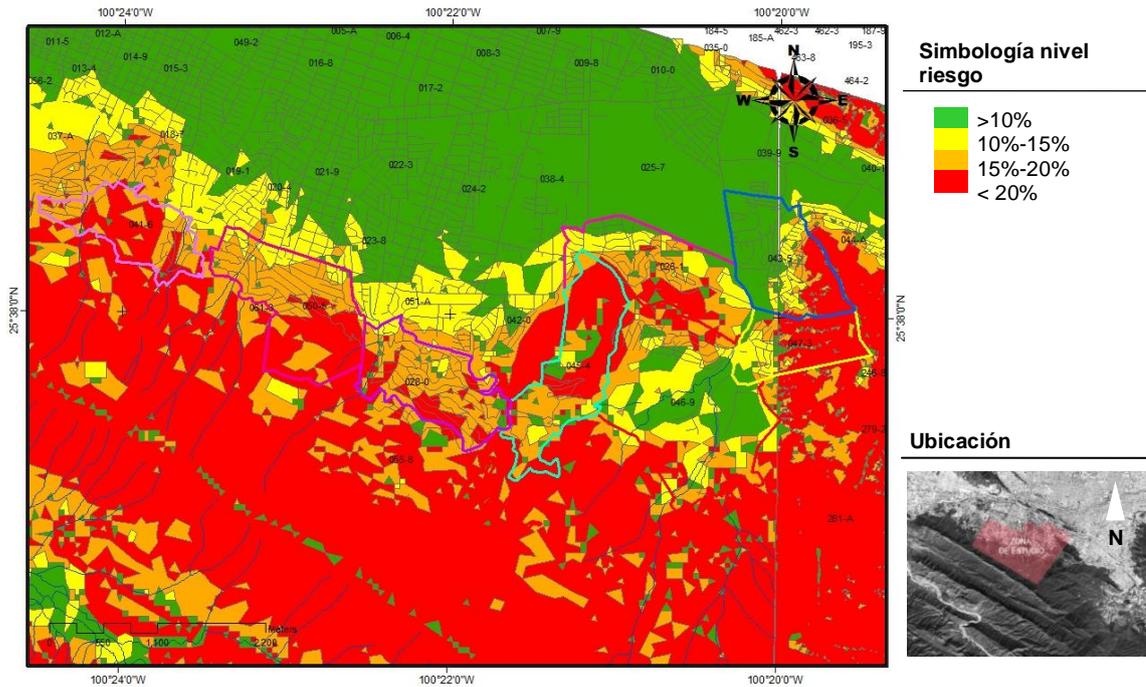


Fuente: INEGI (2010) y elaboración propia (ArGis 9.3)

⁷⁴ Muñoz, B; Conde, R; Rincón, J (1991): Evaluación de riesgos por urbanización en zonas montañosas de Monterrey, NL. Universidad Autónoma de Nuevo León, Ingeniería Civil, Abril.

⁷⁵ Plan de Desarrollo Urbano Municipal San Pedro Garza García Nuevo León 2024.(Actualización 2010).

Figura 1.5. Clasificación de topografía y Agebs del área de estudio, San Pedro Garza García, NL. (2010).



Fuente: INEGI (2010) y elaboración propia en Arcgis

“La peligrosidad de los procesos de remoción en masa, está determinada por la localización de distintos elementos en peligro y se ha evaluado a partir del cálculo de los siguientes factores: topografía (pendientes), litología (presencia de roca alterada, morfología (laderas con escarpes fuertes), vegetación y uso de suelo” (Sánchez, 2011⁷⁶) (Mardones y Vidal, 2001⁷⁷).

El área de estudio se clasificó por medio de Agebs para determinar las colonias que se localizan dentro de la zona de exposición al peligro de remociones, por suelos inestables y propensos a deslizamientos no solamente naturales (laderas), también por cortes en taludes para su urbanización, los cuales se pueden observar in situ, como en la comparación de los planos presentados por INEGI (2010), el Plan de Desarrollo Urbano del Municipio de San Pedro (2012) y los reglamentos de construcción con límites al 41% de inclinación.

⁷⁶ Sánchez González, D. (2011). Precipitaciones extremas y sus implicaciones en procesos de remoción en masa en la planificación urbana de Tampico, México.

⁷⁷ Mardones, M y Vidal C. (2001). La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción. Eure. Revista Latinoamericana de Estudios Urbanos y Regionales, Vol.27, No. 81, págs.97-122.

En el área de estudio las urbanizaciones han permitido la erosión del suelo, consumiendo cobertura vegetal, y convirtiéndose en un peligro las bajantes naturales de agua, que han modificado su curso por los asentamientos, afectando no solamente a las viviendas de esa zona, sino causando inundaciones y problemas graves a las colonias que se encuentran en suelos aluviales en la parte baja del anticlinal.

Imagen 1.6. *Cortes de taludes para urbanización en Lomas de San Agustín y Lomas del Campestre (2012).*



Fuente: Elaboración Propia (2012)

Imagen 1.7. *Erosión de suelo por urbanización en Lomas del Campestre (2012).*



Fuente: Elaboración Propia (2012)

A continuación, se muestra la tabla de clasificación de Agebs de la zona de estudio, donde se especifica la clave, las colonias representativas de cada área y la comprobación del aumento de población entre 2005 y 2010 (INEGI, 2010) y el área que ocupa.

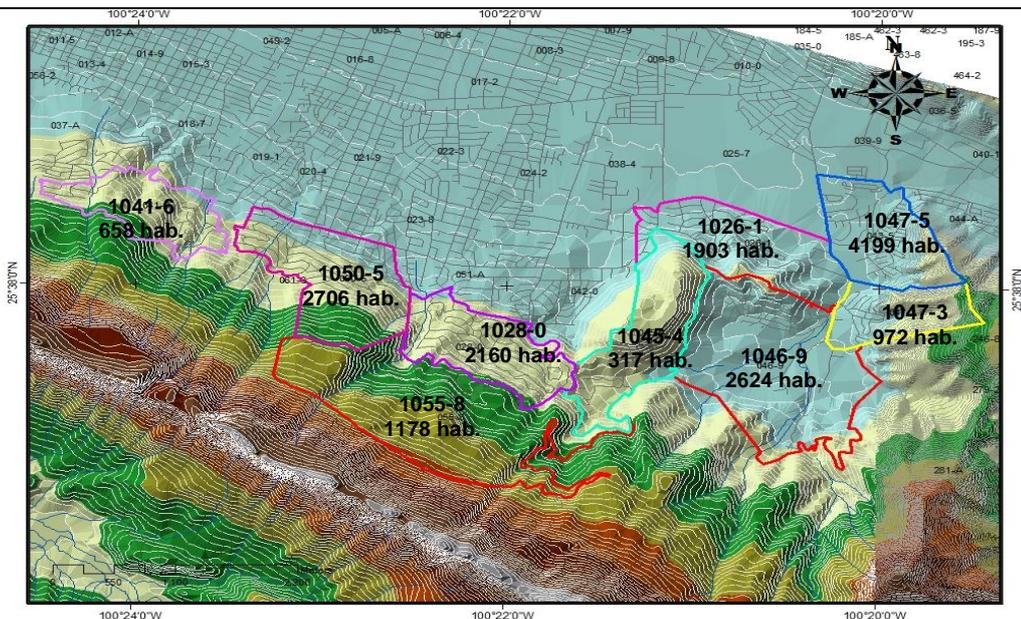
Tabla 1.4. Evolución de la población total en los años 2005-2010 en el área de estudio, San Pedro Garza García, NL.

Tabla de Agebs y colonias en zonas de riesgo en los años 2005- 2010.						
AGEB	COLONIAS	POB 2010	POB 2005	LONGITUD	LATITUD	AREA
1043-5	Lomas del campestre	4,199 hab	4,218 hab	-100.332	25.635	1074204.95
1047-3	Lomas de San Agustín	972 hab	1,021 hab	-100.333	25.631	708129.7642
1026-1	San Agustín	1,903 hab	1,364 hab	-100.342	25.636	1227183.226
1046-9	Jardines de San Agustín	2,624 hab	2,266 hab	-100.343	25.626	2424521.491
1045-4	Mesa de la corona Lomas de San Ángel	317 hab	283 hab	-100.354	25.627	1249248.276
1055-8	Olinalá- San Ángel	1,178 hab	932 hab	-100.369	25.618	2641464.881
1028-0	San Ángel	2,160 hab	1,891 hab	-100.371	25.627	1075398.4
1050-5	Bosques del Valle	2,706 hab	2,676 hab	-100.38	25.632	1416982.01
1041-6	Villa Montaña	658 hab	572 hab	-100.398	25.641	845824.2247

Fuente: INEGI 2010- Elaboración propia.

En el área de estudio se observan Agebs (1055-8, 1045-4 y 1046-9) que son susceptibles a los riesgos geológicos por remociones en masa, conocidas como derrumbes y deslizamientos que afectan a los asentamientos que se encuentran en niveles más bajos (1028-0, 1026-1, 1047-5).

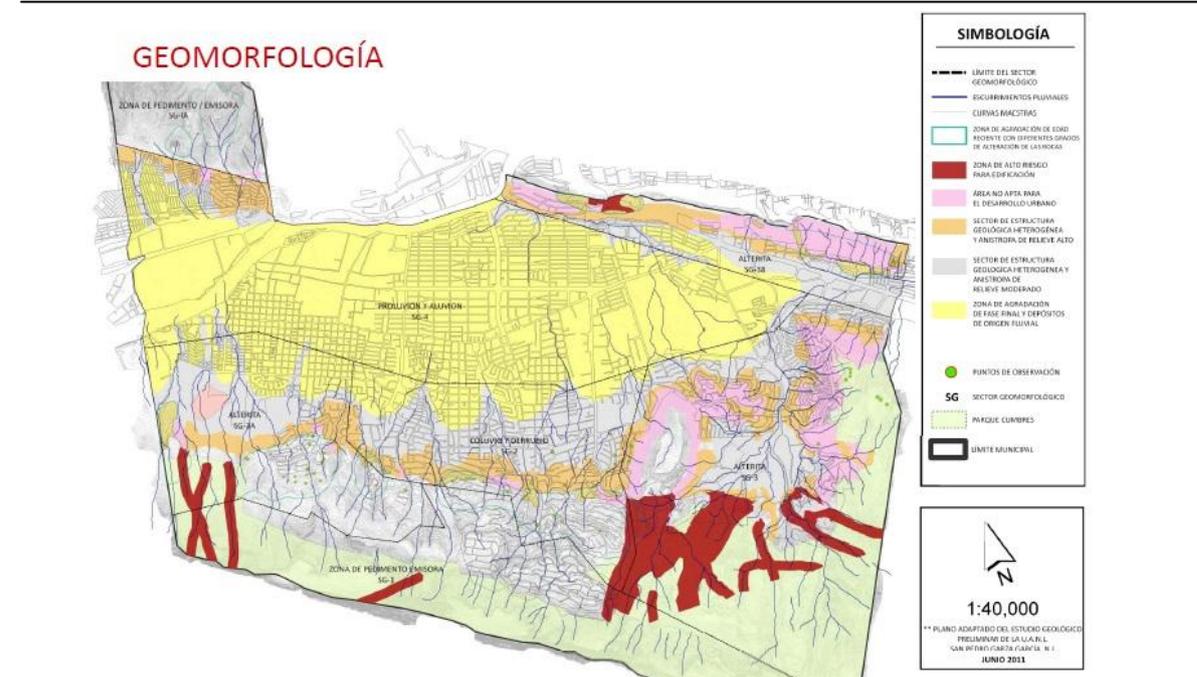
Gráfico 1.6. Mapa del área de estudio con ubicación de Agebs y total de población, municipio de San Pedro Garza García, NL. (2010).



Fuente: INEGI (2010) y elaboración propia (ArGis 9.3)

La imagen 1.4 de diagnóstico geomorfológico de la zona de estudio, se observan en rojo las zonas de alto peligro para edificación. Sin embargo, las áreas clasificadas como de alto peligro, se muestran con pendiente superior de 41% y no se recomienda construir por encima del 30% de pendiente en suelos inestables.

Imagen 1.8. *Mapa geomorfológico con detección de zonas de peligro para edificación (IMPLAN).*



Fuente: IMPLAN 2011

Imagen 1.9. *Zonas de alto riesgo determinadas por diagnóstico del Plan de Desarrollo Urbano*



Fuente: IMPLAN 2011



Fuente: IMPLAN 2011

Por lo tanto los peligros y exposición de los efectos de remoción en masa se debe a la combinación de ambos factores naturales y antropicos, como las precipitaciones extremas y la construcción de residencias sobre el nivel y, de las cuales, sobrepasan el

límite de pendiente especificado por los reglamentos de construcción del municipio, limitado a un 45% de pendiente máximo mencionado en el artículo 113, capítulo cuarto, sobre estabilidad estructural y de pendientes de dicho reglamento (Reglamento del Plan Parcial de Desarrollo Urbano de San Pedro Garza García, 2010)⁷⁸, de los cuales se especificará el tema en capítulos próximos.

En la imagen 1.6. Se muestran zonas consideradas con alto peligro, la obstrucción de arroyos y los cortes de taludes del área de Lomas de San Agustín y Lomas del campestre, a lo cual se observa el desplazamiento de tierra debido a la urbanización, y la devastación de la cobertura vegetal.

El área de estudio se determinó por medio de la identificación de las zonas con exposición al peligro, en base a situaciones que se han presentado en el lugar, como fundamentándose en sondeos realizados en la investigación de Muñoz- Conde (1991)⁷⁹, del Plan de Desarrollo Urbano del municipio de San Pedro Garza García (Plan de Desarrollo Urbano de San Pedro Garza García: 2011)⁸⁰.

Es necesario analizar los datos existentes sobre el área de estudio y compararse con lo que existe en sitio, por la variación que presentan, teniendo como objetivo determinar el grado de peligrosidad y exposición del área de estudio.

Teniendo en cuenta el peligro natural al que se exponen estas zonas, es necesario realizar un estudio de ocurrencia espacio temporal del área de estudio a causa de precipitaciones extremas, ya que los estudios actuales solamente presentan las remociones en masa en los municipios. Sin embargo, es importante realizar análisis de peligrosidad y exposición ante las precipitaciones intensas y sus implicaciones en los procesos de remociones en masa, esto es los peligros geomorfológicos del municipio de San Pedro. El producto parte de la metodología empleada por Sánchez González (2011),

⁷⁸ Reglamento del Plan Parcial de Desarrollo Urbano, 1990-2010. San Pedro Garza García, Nuevo León.

⁷⁹ Muñoz, B; Conde, R; Rincón, J (1991): Evaluación de riesgos por urbanización en zonas montañosas de Monterrey, NL. Universidad Autónoma de Nuevo León, Ingeniería Civil, Abril.

⁸⁰ Plan de Desarrollo Urbano Municipal San Pedro Garza García Nuevo León 2024.(Actualización 2010).

como el análisis de distribución de precipitaciones mediante el Índice de Fournier, la obtención de la variabilidad por medio del método Inverso de la Distancia.

A continuación se muestran los datos geológicos obtenidos del INEGI (2010)⁸¹, que fueron introducidos al estudio de pendientes y graficados por medio del ArcGis, mostrándose las entidades, así como las rocas y suelos, como por ejemplo la lutita (KS (Lu)), suelo aluvial (Q(al)) y brecha sedimentaria (TS (bs)), dominantes en el área de estudio.

El área de estudio presenta, en mayor parte, lutita (KS (lu)); es una roca sedimentaria que está formada por arcillas y limos, localizadas debido a los deslizamientos de rocas y escurrimientos. La brecha sedimentaria es un conjunto de bloques de caliza, conglomerados fracturados, gravas, arcilla, y, por último los suelos aluviales, que provienen de los depósitos de las precipitaciones (INEGI, 2010)⁸². También, la lutita es una roca porosa, poco permeable, terrosa y peligrosa, debido a la erosión del suelo (Muñoz, 1991)⁸³. Si a estas características se le añade las altas pendientes por encima del 20% y los escurrimientos por precipitaciones de las cañadas de la Sierra Madre Oriental sobre el área, se vuelve en un factor importante de peligrosidad para los asentamientos, aumentando las posibilidades de ocurrencia de remociones en masa.

En la figura 1.4. se muestran las características geológicas obtenidas por medio de los datos existentes del INEGI(2010), donde se aprecia en mayor parte la existencia de rocas arcillosas en el área de estudio.

Se aprecia una zona donde el suelo es aluvial (Q (al)), o como menciona Chapa Guerrero (1993), son zonas de coluviones, proluviones y aluviones, coincidiendo con las

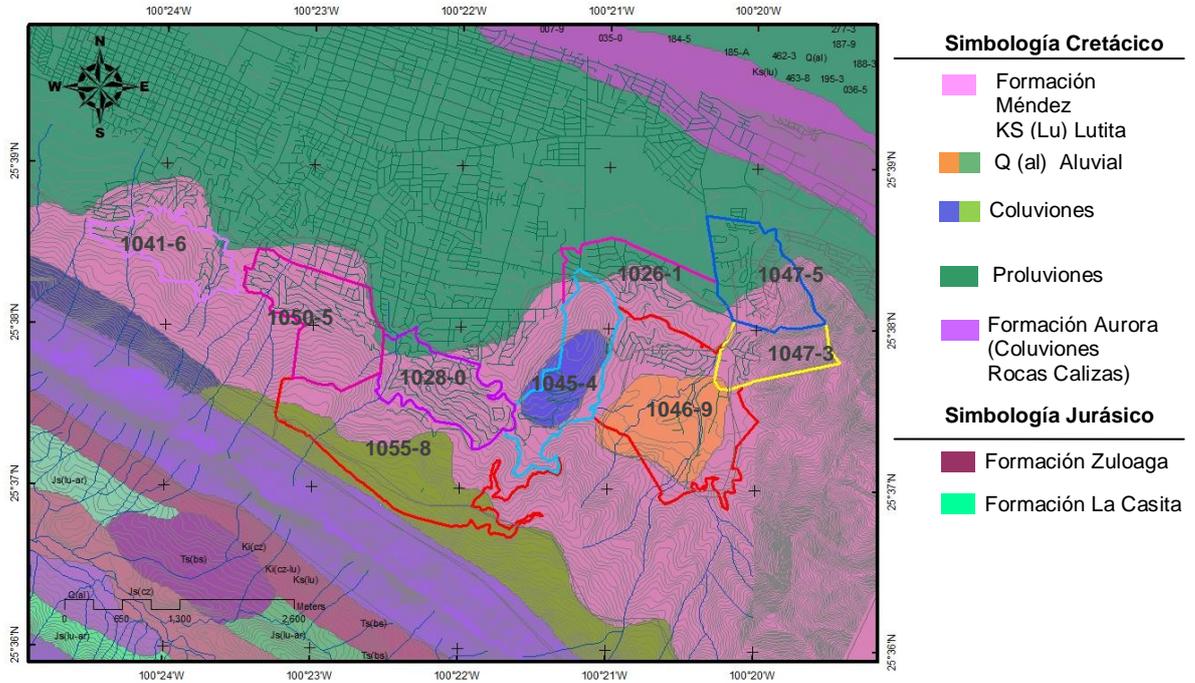
⁸¹ INEGI (2010). Cartografía Geológica G14C25. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

⁸² Guía para la interpretación de cartografía. Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI (2010).

⁸³ Muñoz, B; Conde, R; Rincón, J (1991): Evaluación de riesgos por urbanización en zonas montañosas de Monterrey, NL. Universidad Autónoma de Nuevo León, Ingeniería Civil, Abril.

características topográficas del área, debido a los escurrimientos de la cañada sobre el área de San Agustín, donde han existido problemas de obstrucción de arroyos y daños mayores en residencias del lugar por precipitaciones intensas (Imagen 1.9).

Figura 1.7. Cartografía geológica del área de estudio, Municipio de San Pedro Garza García, NL (2010).



Fuente: Chapa Guerrero (1993), Inegi 2010 y elaboración propia.

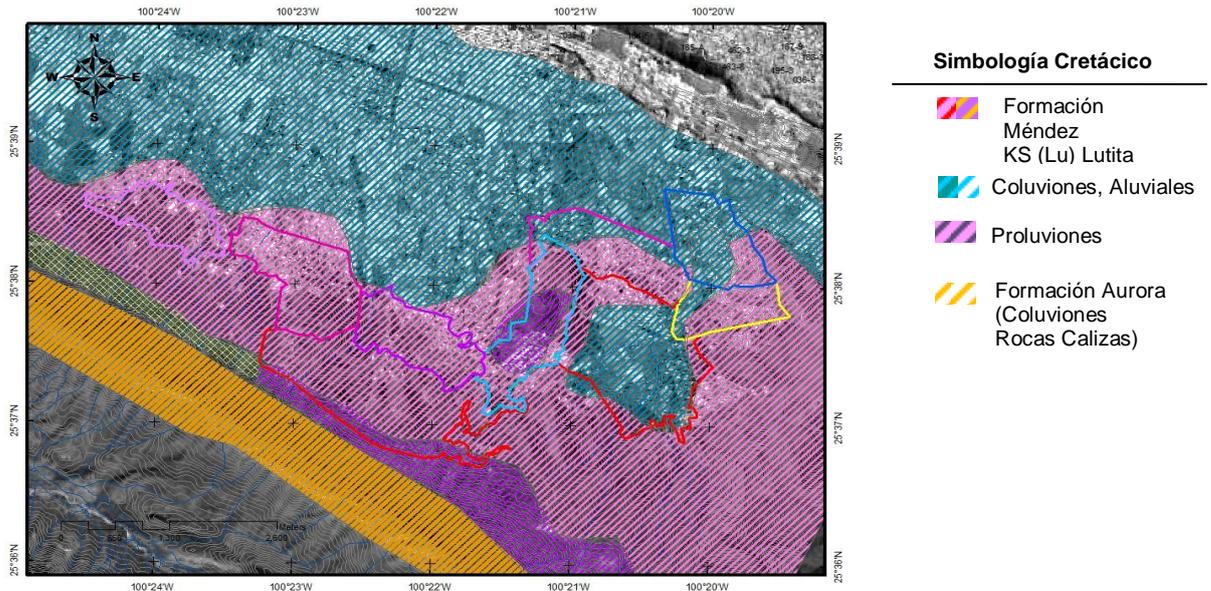
Se realizó una comparativa entre los datos de campo y los que proporciona INEGI (figura 1.11), de la zona urbanizada, la geología, los escurrimientos, así como las zonas expuestas a peligro inminente, por inundaciones y por procesos de remoción en masa.

Tabla 1.5. Análisis geológico del área de estudio, San Pedro Garza García, NL (2010).

ANÁLISIS GEOLOGICO DE ZONA DE ESTUDIO SAN PEDRO GARZA GARCIA, NL.						
AGEB	CLAVE	ENTIDAD	TIPO	ERA	SISTEMA	SERIE
1047-3	KS (Lu)	Sedimentaria	Lutita	Mezozoico	Cretácico	Cretácico Superior
1043-5	KS (Lu)	Sedimentaria	Lutita	Mezozoico	Cretácico	Cretácico Superior
	Q (al)	Suelo	Aluvial	Cenozoico	Cuaternario	N/A
1026-1	KS (Lu)	Sedimentaria	Lutita	Mezozoico	Cretácico	Cretácico Superior
	Q (al)	Suelo	Aluvial	Cenozoico	Cuaternario	N/A
1046-9	KS (Lu)	Sedimentaria	Lutita	Mezozoico	Cretácico	Cretácico Superior
	Q (al)	Suelo	Aluvial	Cenozoico	Cuaternario	N/A
1045-4	KS (Lu)	Sedimentaria	Lutita	Mezozoico	Cretácico	Cretácico Superior
	TS (bs)	Sedimentaria	Brecha Sedimentaria	Cenozoico	Neogeno	N/D
1055-8	KS (Lu)	Sedimentaria	Lutita	Mezozoico	Cretácico	Cretácico Superior
	TS (bs)	Sedimentaria	Brecha Sedimentaria	Neogeno	Cenozoico	N/D
1028-0	KS (Lu)	Sedimentaria	Lutita	Mezozoico	Cretácico	Cretácico Superior
	Q (al)	Suelo	Aluvial	Cenozoico	Cuaternario	N/A
1050-5	KS (Lu)	Sedimentaria	Lutita	Mezozoico	Cretácico	Cretácico Superior
	Q (al)	Suelo	Aluvial	Cenozoico	Cuaternario	N/A
1041-6	KS (Lu)	Sedimentaria	Lutita	Mezozoico	Cretácico	Cretácico Superior
	Q (al)	Suelo	Aluvial	Cenozoico	Cuaternario	N/A

Fuente: Inegi 2010 y elaboración propia.

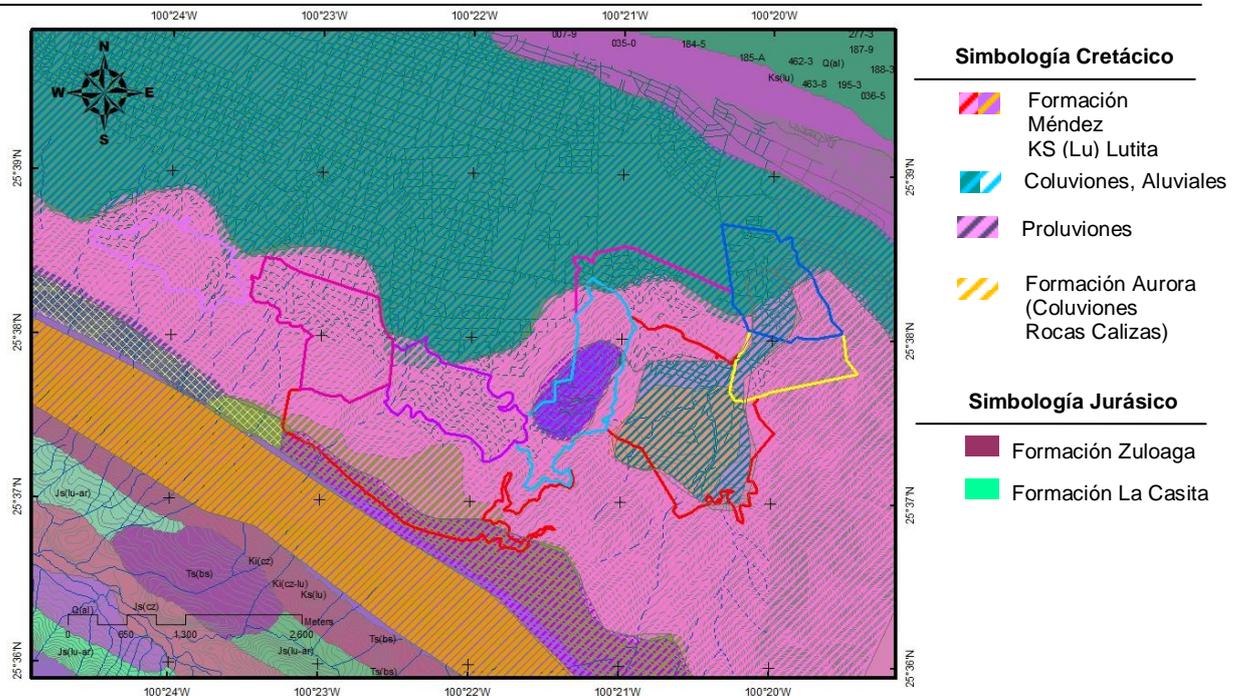
Figura 1.8. Análisis de cartografía geológica del área de estudio, Municipio de San Pedro Garza García, NL. (2010).



Fuente: Chapa Guerrero (1993), Inegi 2010 y elaboración propia.

A continuación, se muestra la zonificación geológica del área de estudio según los resultados obtenidos de la comparativa de información, trabajo de campo, datos de INEGI y el plan de desarrollo de San Pedro, tomándose en cuenta la zonificación urbana del lugar, trazándose una cartografía final del área.

Figura 1.9. Análisis comparativo de cartografía geológica del área de estudio, Municipio de San Pedro Garza García, NL. (2012).



Fuente: Chapa Guerrero (1993), Inegi 2010 y elaboración propia.

Con la comparativa del análisis geológico de las figuras 1.5 y 1.6, se presentan zonas urbanizadas que han causado erosión en el suelo de la existente en comparación de los años 2005- 2010.

Imagen 1.10. *Remociones en masa en área de San Ángel y acceso al Parque Ecológico Chipinque al paso de la Tormenta Tropical "Alex" (2010).*



Fuente Imagen: Asociación de Club de Corredores del Estado de Nuevo León. ACCNL; 2010)

En la imagen 1.7, se observa el área de acceso al Parque Ecológico Chipinque y la zona de San Ángel, en donde se aprecia el desplazamiento de tierra, como también caídas de bloques de grandes rocas.

La zona con mayor peligrosidad por remociones en masa está expuesta a pendientes mayores del 31% se encuentra el Ageb 1055-8 (Olinalá- San Ángel); presentando dos tipos de rocas: brechas sedimentarias (Ts(bs)) y lutita (Ks(lu)), sin embargo, la mayor parte de los asentamientos se localiza sobre el área en que predomina las rocas arcillosas (Ver figura 1.6. pág. 37).

En el estudio y sondeo del área de Muñoz (1991), se menciona *“sobre la deficiente permeabilidad de la lutita, su alta porosidad y buena estabilidad, a menos que esta sea afectada por cortes que se le realicen al terreno y los fragmentos se desplacen en el suelo, lo cual es muy común que suceda en esta zona debido a la erosión del suelo.”* (Muñoz; Conde; 1991)⁸⁴. La lutita por sus características físicas, sedimentaria, porosa, poco permeable no presenta estabilidad alguna en cualquier área con pendientes, como se observó en el área de estudio, mediante la toma de muestras de suelo (Imagen 1.7).

⁸⁴ Muñoz, B; Conde, R; Rincón, J (1991): Evaluación de riesgos por urbanización en zonas montañosas de Monterrey, NL. Universidad Autónoma de Nuevo León, Ingeniería Civil, Abril.

Imagen 1.8. *Muestra de lutita en suelo del área de estudio, Municipio de San Pedro Garza García, NL. (2012).*



Fuente: Elaboración propia (2012).

La investigación enfatiza la importancia de la peligrosidad y exposición de las remociones en masa por medio de la evaluación de los factores geomorfológicos y de las precipitaciones.

Ante los escasos de investigaciones sobre los procesos geomorfológicos, la problemática en el aspecto urbano es constante, debido al aumento de construcciones en áreas potencialmente peligrosas para un asentamiento humano, la deficiencia de los planes, programas y reglamentos de construcción agrava la situación, como también los intereses en explotar una zona. Por esto es necesario el incremento del conocimiento sobre el tema, para contribuir a la planificación urbana.

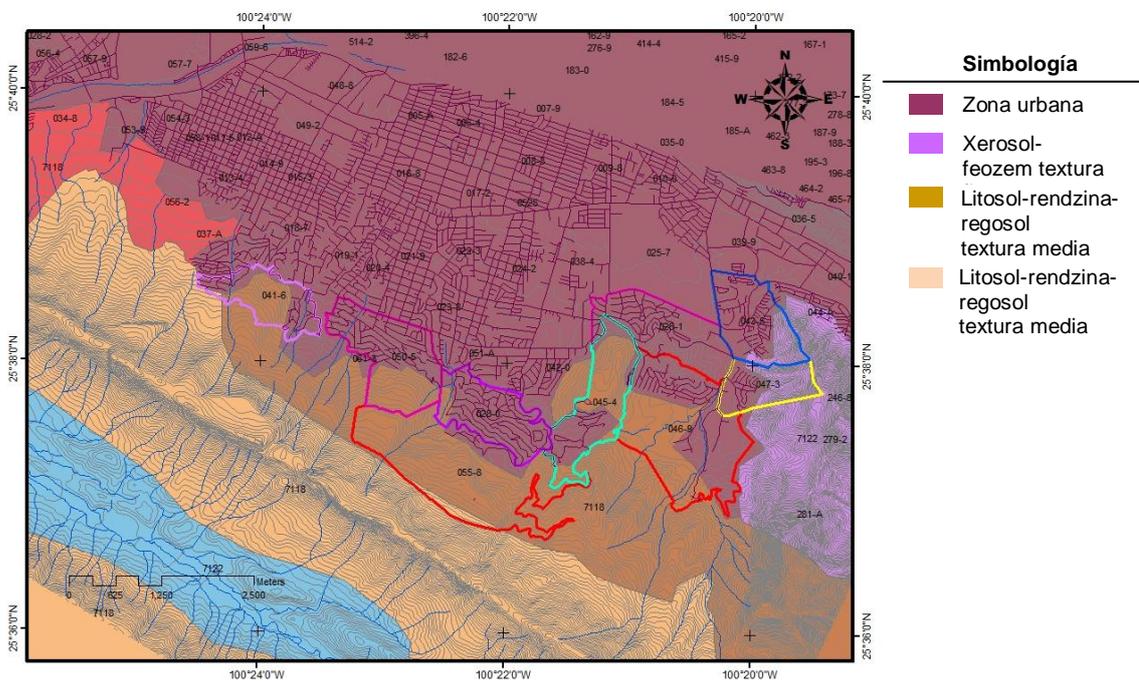
3.1.2. Edafología.

La edafología es otro de los factores físicos para la evaluación de la peligrosidad y la exposición del área de estudio. El suelo presenta litosoles, rendzinas, regosoles de textura media. Los litosoles son capas de tierra, donde predomina la materia orgánica con posibilidades de fertilidad alta, pero esto impide el cultivo, ya que se presentan en zonas con pendientes altas; como las existentes en el área de estudio.

Los litosoles son el suelo predominante y susceptible a erosión dependiendo de la zona y de la actividad que se realice, por lo tanto el grado de peligrosidad al que se encuentre expuesto puede variar. Las rendzinas son suelos fértiles que se desarrollan en suelos calizos (otra característica de la parte alta del área de estudio); por otro lado, se encuentran los regosoles que se desarrollan en suelos poco consolidados, alterados y presentan texturas finas (como los xerosoles y el feozem), según datos obtenidos del Inegi (2010) y visita a campo.

En la imagen 1.7, se elaboró un mapa edafológico con características y datos del INEGI (2010), de la misma forma en que se realizaron los mapas geológicos, se analizaron estos datos sobreponiendo la zonificación urbana actual, detectando puntos en sitio que no se encontraban en la cartografía.

Figura 1.10. *Análisis de cartografía edafológica del área de estudio, Municipio de San Pedro Garza García, NL (2010).*



Fuente: INEGI 2010 y elaboración propia.

El tipo de suelo que predomina son los suelos húmedos en la parte más alta de la zona de estudio (podzoles), suelos arcillosos de zonas semiáridas y cálidas en la parte baja del área (luvisoles) y suelos consolidados (regosoles) (Ver Figura 1.7).

Tabla 1.4. Análisis edafológico del área de estudio, San Pedro Garza García, NL. (2010).

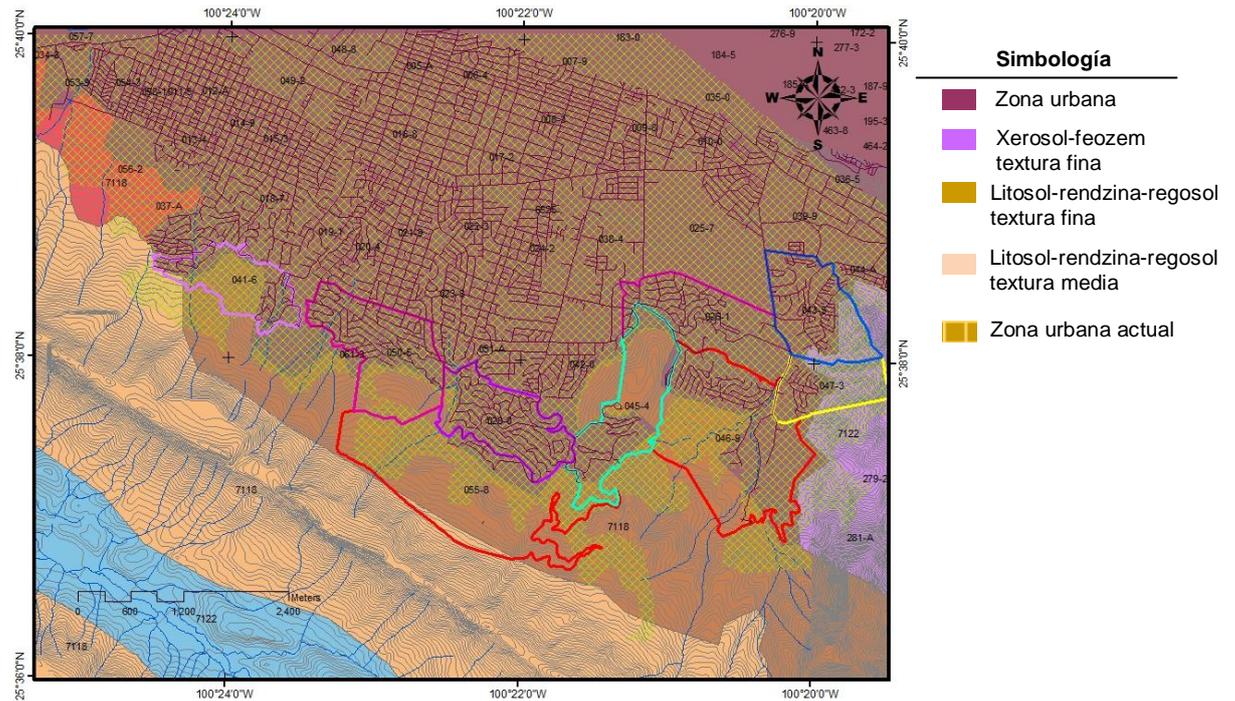
ANÁLISIS EDAGOLÓGICO DE ZONA DE ESTUDIO SAN PEDRO GARZA GARCÍA, NL.						
AGEB	CLAVE	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRANULOMETRÍA	SUELO GENERAL
1047-3	7122	PH + ca + lep	LP + ca + rz	-	3	Litosol- Rendzina-Regosol-media
	6525	ZU	ZU	ZU	N/A	
1043-5	7122	PH + ca + lep	LP + ca + rz	-	3	1Xerosol- Feozem-Textura Fina
	6525	ZU	ZU	ZU	N/A	Litosol- Rendzina-Regosol-media
1026-1	6525	ZU	ZU	ZU	N/A	Litosol- Rendzina-Regosol-media
1046-9	7122	PH + ca + lep	LP + ca + rz	-	3	Litosol- Rendzina-Regosol-media
	7118	LP + eu + hk	RG + sk + lep	LP + mo + sk	2	
1045-4	7122	PH + ca + lep	LP + ca + rz	-	3	Litosol- Rendzina-Regosol-media
	7118	LP + eu + hk	RG + sk + lep	LP + mo + sk	2	
1055-8	7122	PH + ca + lep	LP + ca + rz	-	3	Litosol- Rendzina-Regosol-media
	7118	LP + eu + hk	RG + sk + lep	LP + mo + sk	2	
	7118	LP + ca + rz	-	-	2	
1028-0	7122	PH + ca + lep	LP + ca + rz	-	3	Litosol- Rendzina-Regosol-media
	7118	LP + eu + hk	RG + sk + lep	LP + mo + sk	2	1Xerosol- Feozem-Textura Fina
1050-5	7122	PH + ca + lep	LP + ca + rz	-	3	Litosol- Rendzina-Regosol-media
	7118	LP + eu + hk	RG + sk + lep	LP + mo + sk	2	1Xerosol- Feozem-Textura Fina
1041-6	7122	PH + ca + lep	LP + ca + rz	-	3	Litosol- Rendzina-Regosol-media
	7118	LP + eu + hk	RG + sk + lep	LP + mo + sk	2	
	7118	LP + ca + rz	-	-	2	

Fuente: INEGI 2010 y elaboración propia

El aumento de edificaciones en esas zonas, aumenta el peligro y exposición a las remociones en masa, debido al tipo de suelo de texturas medias, finas, no consolidadas y la estabilidad en que se encuentran los asentamientos, está asociado con la erosión del suelo, como el retiro de cobertura vegetal, lo que aumenta las posibilidades de ocurrencia con y sin precipitaciones intensas.

En la figura 1.7, se aprecia la zona urbana del área de estudio mediante datos del INEGI (2010) y del Plan de Desarrollo Urbano de San Pedro; que, va más allá de la zona que estipulan para uso exclusivo de asentamientos (ver figura 1.5, pág: 36), trazando una retícula de lo que existe en realidad, como área urbana. De ello se dividen en asentamientos ilegales que no están sujetos al plan vigente.

Figura 1.11. Análisis comparativo de cartografía edafológica del área de estudio, Municipio de San Pedro Garza García, NL. (2012).



Fuente: INEGI 2010 y elaboración propia.

El área existente se sobrepone con la zona urbana actual (mostrada en cuadrícula), se determina que el área de urbanización va más allá de la zona considerada apta para construcciones, ocupando lugares en donde la peligrosidad y exposición es alta, sobre todo, en el área de estudio donde se presenta una granulometría más fina, propensa a desplazarse debido a su morfología y a su textura.

3.1.3. Climatología

Para el análisis y evaluación de la peligrosidad, debe considerarse el clima, ya que es un factor importante para la planificación urbana, al determinar las características de una zona de estudio.

El área de estudio presenta clima semiseco; en la parte baja de la zona presenta clima semicálido a diferencia de la parte alta que se encuentra sobre las faldas de la

Sierra Madre Oriental, que presenta un clima templado, debido a la vegetación boscosa propia de la sierra, como los bosques de encinos.

La temperatura se analiza por medio de normales climáticas de las estaciones cercanas al área de estudio (La Huasteca, La Boca, Agua Blanca Monterrey DGE y El Pajonal Santa Catarina) obtenidas del Servicio Meteorológico Nacional (SME) de los años 1971- 2000.

La obtención de las temperaturas y precipitaciones medias anuales determina el índice de aridez de la zona, esto es analizar las caídas y evaporación de las lluvias, definiendo zonas áridas y húmedas.

Tabla 1.5. *Distribución de las temperaturas medias anuales en estaciones climáticas e Índice de Aridez de años 1971-2000 (Datos en grados centígrados)*

Estación climatológica	Temperatura media anual (°C)	Temperaturas medias anuales												Índice de Aridez
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	
Agua Blanca	13.9	8.8	11.4	25	30.1	34.8	30.7	30.1	30.9	28.3	25.6	25.1	21.4	97.52
La Huasteca	19.7	13.7	15.5	18.4	20.5	23	24.6	25.1	24.4	22.6	19	15.9	13.6	40.43
Monterrey DGE	22.3	14.4	16.7	20.7	23.5	26.2	27.9	28.2	28.2	25.9	22.4	18.5	15.2	68.5
El Pajonal	20.4	14.6	16.5	19.5	21.9	24	24.5	24.5	24.2	22.4	20.4	17.4	14.6	66.55
Santa Catarina	21.4	14.1	15.8	19.8	22.5	25.5	26.7	26.8	26.8	25.2	21	17.8	14.6	48.47
La Boca	20.5	12.2	14	17.9	21.4	24.5	26.6	27.2	27	24.6	20.8	16.4	13	107.26

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional 2010 y elaboración propia.

La distribución de temperaturas medias mensuales máximas se presentan de Mayo a Septiembre con una variación de 24°C a 34°C coincidiendo con los meses de precipitaciones máximas de las estaciones climáticas analizadas para el área de estudio.

Se obtuvo el índice de aridez con las temperaturas y precipitaciones medias mensuales para obtener una constante, obteniendo que las estaciones Agua Blanca y La Boca tienen un índice superior al 60 considerada como zona perhúmeda, por lo tanto el índice de aridez es menor y las precipitaciones son mayores.

Durante el recorrido los resultados indicaban una variación de temperatura de 3 a 4 grados, siendo el área más caliente, la parte baja del área de estudio en Lomas del Campestre (043-5) con 38°C a 37°, detectando islas de calor en la parte baja de San Ángel (028-0) y puntos con mayor extensión en temperatura de 36°C en Jardines de San Agustín (046-9), Lomas de San Agustín (047-3) y San Agustín (026-1).

Figura 1.18. Interpolación de islas de calor del área de estudio mediante método Inverse Distance Weighted (IDW), Municipio de San Pedro Garza García, NL. (2012).



Fuente: INEGI 2010 y elaboración propia ArcGis.

La incidencia de mayores temperaturas (c°), se encontraron en puntos con escasa vegetación, debido a la urbanización y áreas de concentración de edificaciones verticales habitacionales y comerciales, que han ido en aumento en el área de estudio.

En las siguientes fotografías entre el año 2008 y 2012, se observa como desde la calle Clavel (Colonia Colorines 5to sector) a la calle Cimarrón (San Patricio 4to sector) está afectada por las construcciones y se han registrado problemas de remociones en masa, como deslizamientos de tierra y roca, que han causado daños materiales y de vidas humanas, determinando una de las áreas con mayor inestabilidad con el suelo.

En teoría las zonas en altitud presentan temperaturas bajas, pero la erosión del suelo en el sitio las aumenta por la erosión del suelo, debido a la inexistente cobertura vegetal que equilibre el clima.

Imagen 1.12. Área de estudio en Colonia San Patricio 5to Sector (1046-9), Municipio de San Pedro Garza García, NL. (2008).



Fuente: Inegi- Google Earth (2008).

Imagen 1.13. Área de estudio actual en Colonia San Patricio 5to Sector (Ageb 1046-9), Municipio de San Pedro Garza García, NL. (2012).



Fuente: Elaboración propia (2012).

La variación de temperatura del área de estudio es notable (aproximadamente de 2 a 3 grados centígrados); la mitad de la zona se encuentra sobre la Sierra Madre Oriental y, por lo tanto, es significativa la existencia de abundante vegetación de bosque de encino.

Las construcciones de zonas residenciales en el área son menores a diferencia de la parte baja de la sierra, donde la vegetación es escasa debido al clima y las edificaciones verticales que están aumentando.

3.1.5. Cobertura vegetal.

La cobertura vegetal es uno de los factores necesarios para la evaluación de la peligrosidad, ya que al existir menos vegetación, las posibilidades de inestabilidad de un terreno en cualquier pendiente aumentan.

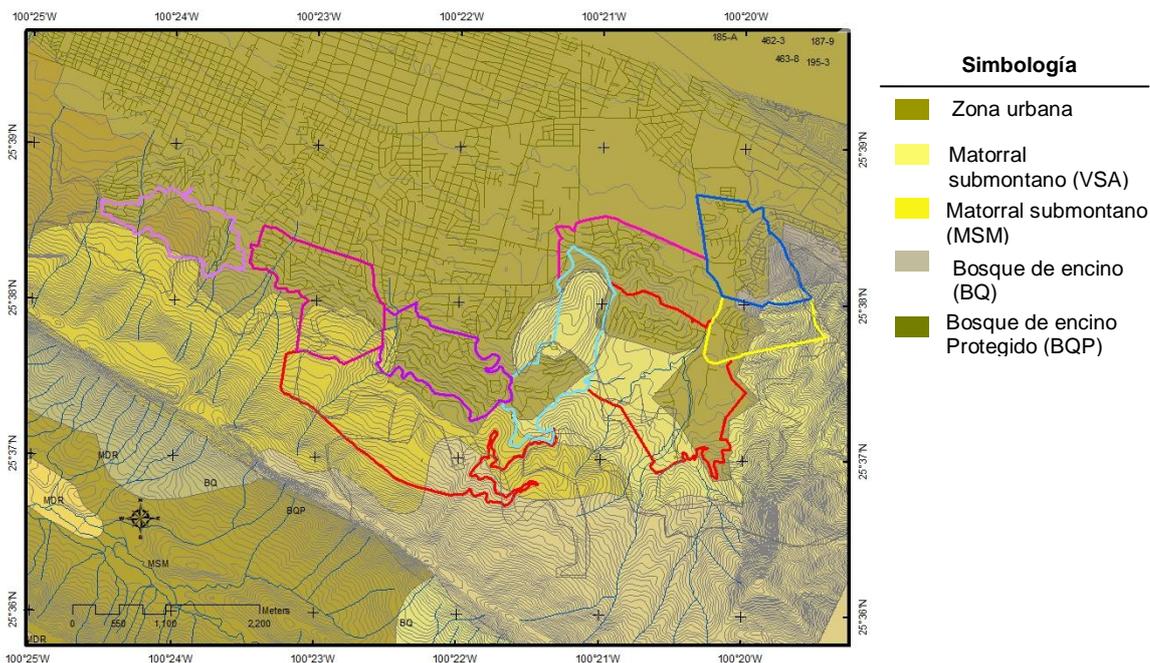
La zona de estudio presenta vegetación de tipo matorral submontano primario y secundario, ecológico florístico como los bosques de encino y áreas naturales protegidas. Los matorrales submontanos, se encuentra en la parte baja del área de estudio, ecológico florístico, como los bosque de encinos, se encuentra a mediación y en la parte alta de la zona (incluyendo el Parque Ecológico Chipinque).

En el mapa que se muestra a continuación (figura 1.9), se identificó la cobertura vegetal del área de estudio; localizando áreas protegidas ecológicas y bosques de encinos, que con el paso del tiempo la zonificación urbana ha ido tomando para construcción. Esto confirma la permicidad de las autoridades al no controlar la ocupación ilegal de zonas protegidas.

En el gráfico 1.9 y en la tabla 1.4. se aprecia el tipo de cobertura vegetal de la zona de estudio y zonas protegidas compuesta de bosque de encinos y vegetación complementaria como matorrales submontanos (INEGI, 2010)⁸⁶.

⁸⁶ Guía para la interpretación de cartografía. Instituto Nacional de Estadística y Geografía , INEGI (2010).

Figura 1.14. Análisis de cartografía de cobertura vegetal del área de estudio, Municipio de San Pedro Garza García, NL. (2010).



Fuente: Inegi 2010 y elaboración propia.

Tabla 1.6. Análisis de cobertura vegetal de zona de estudio, San Pedro Garza García, NL. (2010).

ANÁLISIS GEOLOGICO DE ZONA DE ESTUDIO SAN PEDRO GARZA GARCIA, NL.					
AGEB	CLAVE	TIPO	TIPO VEGETACION	DESARROLLO	FASE
1047-3	Vsa/M SM	Matorral Xerofilo	Matorral Submontano	Secundario	Arbustiva
	MSM	Matorral Xerofilo	Matorral Submontano	Primario	Ninguno
	ZU	Complementaria	No aplicabe	Zona Urbana	Zona Urbana
1043-5	Vsa/M SM	Matorral Xerofilo	Matorral Submontano	Secundario	Arbustiva
	MSM	Matorral Xerofilo	Matorral Submontano	Primario	Ninguno
	ZU	Complementaria	No aplicabe	Zona Urbana	Zona Urbana
1026-1	ZU	Complementaria	No aplicabe	Zona Urbana	Zona Urbana
1046-9	MSM	Matorral Xerofilo	Matorral Submontano	Primario	Ninguno
	ZU	Complementaria	No aplicabe	Zona Urbana	Zona Urbana
1045-4	MSM	Matorral Xerofilo	Matorral Submontano	Primario	Ninguno
	ZU	Complementaria	No aplicabe	Zona Urbana	Zona Urbana
	BQ	Ecológica Florística	Bosque encino	Primario	Ninguno
1055-8	ZU	Complementaria	No aplicabe	Zona Urbana	Zona Urbana
	BQP	Ecológica Florística	Bosque encino	Primario	Ninguno
1028-0	ZU	Complementaria	No aplicabe	Zona Urbana	Zona Urbana
	BQ	Ecológica Florística	Bosque encino	Primario	Ninguno
1050-5	ZU	Complementaria	No aplicabe	Zona Urbana	Zona Urbana
	BQ	Ecológica Florística	Bosque encino	Primario	Ninguno
	BQ	Ecológica Florística	Bosque encino	Primario	Ninguno
1041-6	Vsa/M SM	Matorral Xerofilo	Matorral Submontano	Secundario	Arbustiva
	BQ	Ecológica Florística	Bosque encino	Primario	Ninguno
	ZU	Complementaria	No aplicabe	Zona Urbana	Zona Urbana

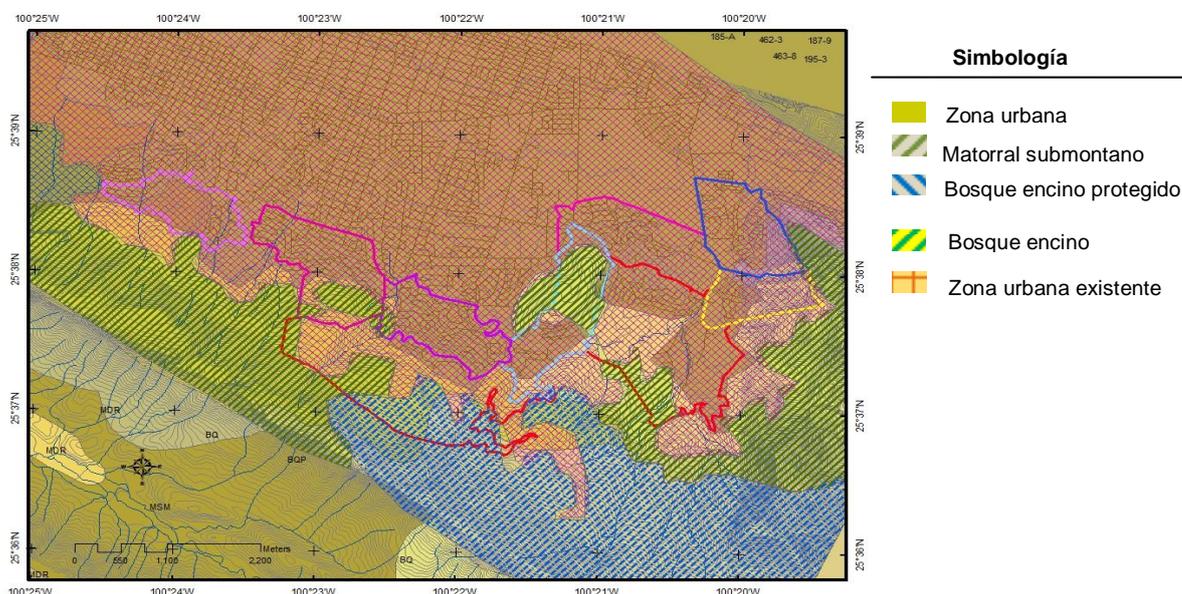
Fuente: INEGI 2010 y elaboración propia.

La información obtenida indica la erosión del suelo y eliminación de vegetación natural de la zona, aumentando así la peligrosidad y exposición de remociones en masa por topografía y tipo de suelo.

En el gráfico 1.10, la cartografía muestra la comparación detallada de la zona urbana y de las diferentes coberturas vegetales existentes en el área de estudio.

El análisis se realizó mediante datos sobre cobertura vegetal, tipo de arborización y de erosión de suelo actual, mostrando la realidad de la zona de estudio, donde el área urbana se posesiona de áreas de bosques de encinos. Es un grave problema no solamente por la peligrosidad que afecta a las viviendas del lugar, sino la erosión del suelo de zonas protegidas fomenta el deterioro del paisaje.

Figura 1.12. *Análisis comparativo de zonificación de cobertura vegetal del área de estudio, Municipio de San Pedro Garza García, NL. (2012).*



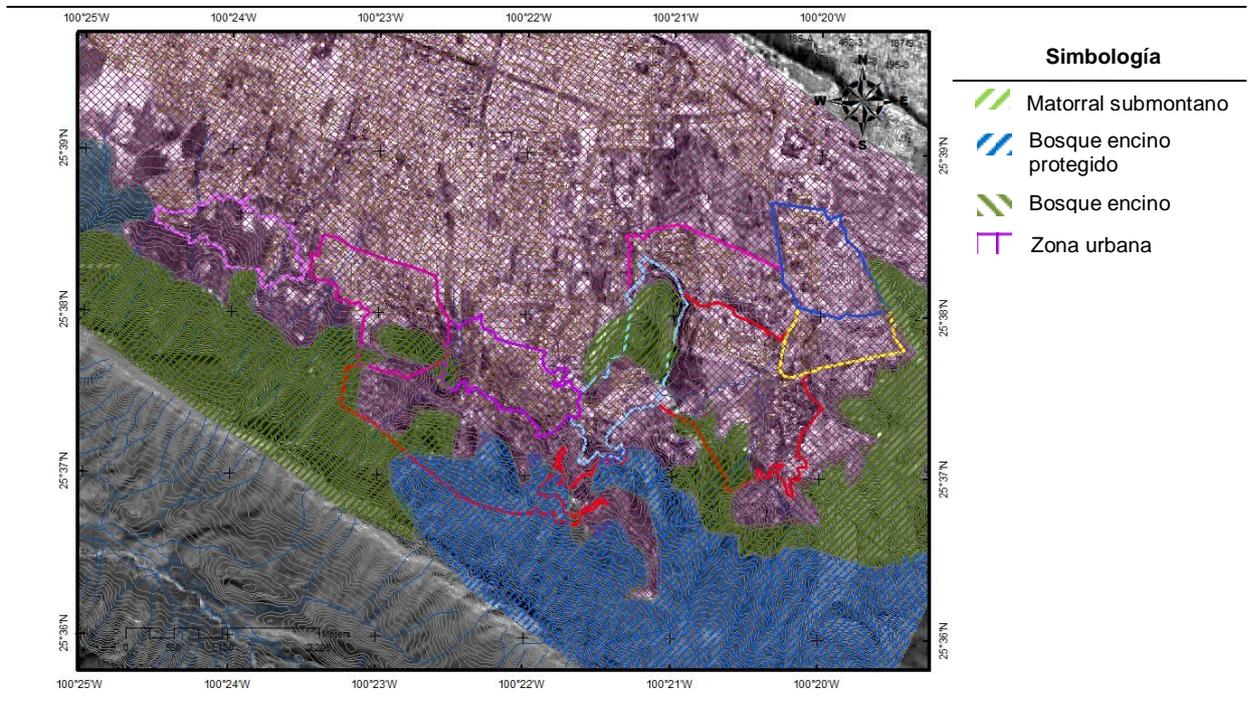
Fuente: INEGI 2010 y elaboración propia.

En el área de estudio, se evidencia la erosión del suelo vegetal y la expansión de la zona urbana hacia las partes con pendientes altas.

En la figura 1.12, se muestra de fondo las zonas consideradas existentes con los diferentes tipos de cobertura vegetal, como los matorrales submontanos primarios y secundarios, los arbustivos, los bosques de encinos, y los bosques ecológicos y la protección que deben tener, sin embargo, en lo que respecta a la comparación del análisis de sitio, las imágenes satelitales, se especifica que el área la ocupación del área urbana, va más allá de la extensión que deben tener, con esto se demuestra la erosión del

suelo y la consumación de áreas de bosques de encinos y áreas ecológicas protegidas, como por ejemplo en las zonas de San Ángel y Olinalá (055-8).

Figura 1.16. Análisis comparativo entre zonificación urbana y cobertura vegetal del área de estudio, Municipio de San Pedro Garza García, NL. (2012).



Fuente: INEGI 2010 y elaboración propia.

3.2. El riesgo por remociones en masa: Peligrosidad, exposición y vulnerabilidad.

Los estudios sobre el riesgo por remociones en masa, deben analizar la probabilidad de ocurrencia, la morfología, litología, pendientes y cobertura vegetal, por mencionar los principales.

Los asentamientos han ido en aumento en la zona de la Sierra Madre Oriental, acaparando zonas de restricción, como el Parque Ecológico Chipinque. Durante la investigación en el área de estudio, se aprecia que los artículos de las leyes o puntos de los planes de desarrollo, permiten este tipo de desarrollos bajo ciertas condiciones, como los estudios de suelo y aplicación de cimentaciones que refuercen las

construcciones. Sin embargo, los planes y reglamentos de zonificación no se percatan del peligro que representa el habitar en este tipo de lugares, debido a la erosión del suelo, pendientes y morfología del lugar y sobre todo de la afectación del ecosistema natural.

Se han elaborado propuestas de métodos por Sánchez (2011), Mardones y Vidal (2001), que determinan el riesgo, como las escalas o grados de peligrosidad y de ocurrencia, la morfología con las características del terreno, el porcentaje de pendientes, la conformación del terreno por los tipos de rocas y el porcentaje de cobertura vegetal, así como el uso de sistemas de información geográfica.

El trabajo de campo fue necesario obtener los ejemplos mencionados, considerados como básicos para un estudio sobre remociones de masa.

En la tabla 1.8. muestra los indicadores de la peligrosidad por factores geomorfológicos y precipitaciones intensas.

Tabla 1.7. *Indicadores de peligrosidad según la zona de estudio, San Pedro Garza García, NL. (2012).*

Tabla de indicadores				
Zona de estudio			Indicadores peligrosidad por precipitaciones	
Zona de estudio (AGEBS)	ID Zona de estudio	Análisis de peligrosidad	IDW (Inverse Distance Weighted)	IMF (Índice Modificado de Fournier $IMF = \sum pm2/P$)
1047-3	Lomas de San Agustín	Muy alta		
1043-5	Lomas del Campestre	Alta		
1026-1	San Agustín	Media		
1046-9	Jardines de San Agustín	Muy alta		
1045-4	Mesa de la Corona- San Ángel	Alta		
1055-8	Olinalá	Muy alta		
1028-0	San Ángel	Alta		
1050-5	Bosques del Valle	Muy alta		
1041-6	Villa Montaña	Alta		

Fuente: INEGI (2010) y elaboración propia.

3.2.1. Distribución y variabilidad de las precipitaciones

En el área de estudio las precipitaciones medias son de 650 mm, sin embargo se registra el máximo en los meses de Junio a Octubre.

Para el análisis de la variabilidad temporal de las precipitaciones, se tomaron en cuenta las estaciones meteorológicas cercanas al sitio como: La Huasteca (Santa Catarina), Agua Blanca (Santa Catarina), Monterrey DGE (Monterrey), El Pajonal (Santa Catarina) y Santa Catarina (CONAGUA, 2010)⁸⁷.

Las precipitaciones del área de estudio se asocian a la localización de la Sierra Madre Oriental, con máximas entre Mayo y Octubre (mm), y a la dirección de los vientos que entran por el Sureste, con grandes acumulados de lluvia en la zona del Huajuco y a lo largo de la Sierra Madre Oriental.

Los datos obtenidos del registro de las normales climáticas por estaciones meteorológicas (CONAGUA, 2010), indican que los mayores acumulados de precipitaciones se dieron en estaciones localizadas en el Cañón del Huajuco (a lo largo de la carretera nacional) a la Huasteca, durante los meses de Abril a Octubre (Tabla 1.9).

Para obtener la distribución temporal de las precipitaciones extremas, se utiliza el Índice Modificado de Fournier (IMF).

Tabla 1.8. Distribución temporal de precipitaciones por medio de Índice Modificado de Fournier e Índice de Agresividad Climática de años 1971-2000. (Datos en mm).

Estación Climática	Precipitación media anual (mm)	PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES (MM)												Indices	
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Indice Modificado de Fournier (IMF)	Indice de Agresividad Climática
La Huasteca	1201	95.0	16.0	32.0	54.0	116.0	91.0	70.0	293.0	203.0	160.0	22.0	49.0	162.7	Alto
Agua Blanca	2330.9	141.0	40.0	45.5	570.0	178.0	241.5	322.0	207.5	326.0	109.9	81.0	68.5	306.66	Muy Alto
Monterrey DGE	2212.6	115.8	38.5	62.9	83.2	249.1	390.8	365.8	237.1	332.8	148.5	105.9	82.2	352.45	Muy Alto
El Pajonal	2023.3	79.0	53.0	85.8	115.0	181.5	280.0	207.0	222.0	437.0	137.0	143.0	83.0	232.39	Muy Alto
Santa Catarina	1522.0	84.1	25.1	32.0	69.0	121.9	264.0	191.2	134.3	301.0	109.7	147.7	42.0	186.94	Alto
La Boca	3271.7	76.4	62.6	93.0	166.2	213.7	403.6	445.5	635.9	592.9	323.4	138	120.5	411.78	Muy Alto

Fuente: CONAGUA , cálculos y elaboración propia.

Los resultados indican que en el período de estudio, existe una tendencia a los niveles de agresividad climática altos y muy altos arriba de 160 mm; las estaciones que muestran los niveles muy altos están localizadas en la Sierra Madre Oriental. Por lo

⁸⁷ CONAGUA (2010): Normales Climatológicas. Comisión Nacional del Agua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

tanto, se registra más intensidad de lluvias por ser zonas montañosas, que asociado al fenómeno de las precipitaciones medias mensuales durante los meses de Mayo a Septiembre las descargas de la distribución temporal de precipitaciones.

3.2.2. Variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones.

Una vez obtenida la distribución temporal de las precipitaciones, en el siguiente punto se analizara la variabilidad espacio- temporal de las precipitaciones intensas, evaluando su probabilidad y retorno.

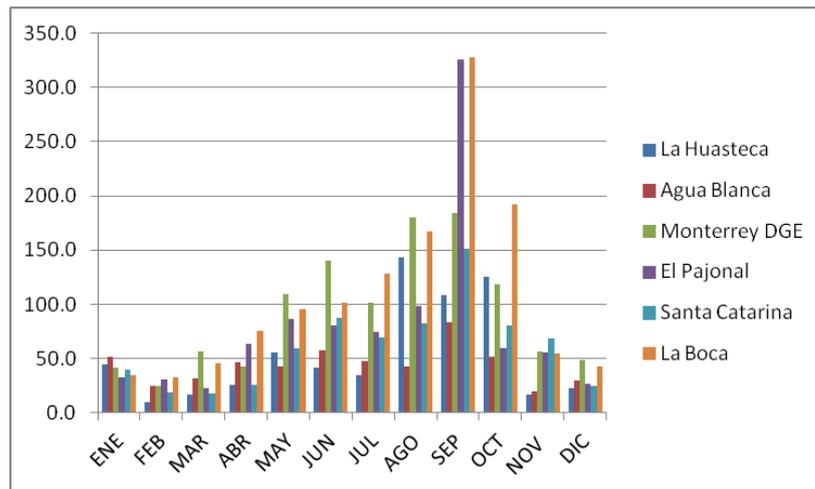
Haciendo una comparativa de la distribución de precipitación máxima diaria con las precipitaciones medias mensuales, se observa que la variación es marcada en los meses de Junio a Octubre, siendo la más alta en Septiembre de acuerdo a los datos de las estaciones climatológicas de la zona consideradas, en especial de la estación La Boca, El Pajonal y Monterrey (Tabla 1.9).

Tabla 1.9. *Distribución temporal de precipitaciones máximas diarias durante el período 1971-2000. (Datos en mm).*

Estación Climática	Precipitación media anual (mm)	PRECIPITACIONES DIARIAS (MM)											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
La Huasteca	1201	45.0	10.0	17.0	26.0	56.0	42.0	35.0	143.0	108.0	125.0	17.0	23.0
Agua Blanca	2330.9	52.0	25.0	32.0	46.5	43.0	58.0	48.0	42.5	83.0	52.0	20.0	30.0
Monterrey DGE	2212.6	42	24.5	57	42.5	109	140	101.5	180	183.9	118	57	48.5
El Pajonal	2023.3	33.0	31.0	22.8	64.0	86.0	80.0	74.0	98.3	326.0	60.0	56.0	27.0
Santa Catarina	1522.0	40.0	18.8	18.0	25.8	60.0	87.0	69.8	82.0	151.5	80.0	68.2	25.0
La Boca	3271.7	34.2	32.3	45.6	75	95	101	128	167.5	327.5	191.7	54.5	42.5

Fuente: CONAGUA , cálculos y elaboración propia.

Figura 1.15. Distribución temporal de precipitaciones máximas diarias 1971-2000. (Datos en mm).



Fuente: CONAGUA , cálculos y elaboración propia.

Ramírez-Matías (2007⁸⁸) y Sánchez González (2011⁸⁹), por mencionar algunos investigadores, que se han dedicado al análisis sobre precipitaciones, determinaron que las lluvias diarias por encima de los 70 mm y las acumulaciones mayores a los 140 mm en 3 días, ocasionan procesos geomorfológicos, como las remociones en masa.

Se observa en la tabla 1.10 que las estaciones de La Boca, Monterrey y El Pajonal, localizadas dentro de la zona de la Sierra Madre Oriental, muestran precipitaciones por encima de los 70 mm diarios y acumulaciones de 3 días sobre los 140 mm estimados; esto indica el inminente peligro y exposición al que se encuentra el área de estudio por escurrimientos y procesos geomorfológicos en zonas de mayor inestabilidad de suelo.

Según datos históricos las precipitaciones extremas provocadas por la tormenta tropical “Alex” en el 2010, dejaron acumulaciones de lluvias de más de 616 mm en 60 horas, esto es en 2 días y medio y en 24 horas dejó 446.5 mm, superando las precipitaciones de la tormenta “Gilberto” en 1988, que generó 280 mm en el mismo período. (CONAGUA, 2010).

⁸⁸ Matías Ramírez, L.; Oropeza Orozco, O.; Lugo Hubp, J.; Cortés Vázquez, M y Jauregui Ostos; E. (2007): Análisis de las principales causas de las inundaciones de Septiembre de 2003 en el sur de estado de Guanajuato, México. Investigaciones Geográficas, No. 064, págs.7-25.

⁸⁹ Sánchez González, D. (2011) Precipitaciones extremas y sus implicaciones en procesos de remoción en masa en la planificación urbana de Tampico, México.

Los datos históricos de los años 1971 al 2000 calculados mediante el Índice Modificado de Fournier, supera todos los meses del año; indicando que la peligrosidad de las precipitaciones extremas se hace presente y por lo tanto el peligro es mayor.

3.3. Aspectos Sociodemográficos.

La evolución de la población en el área de estudio ha presentado variaciones durante el período 2005-2010.

Tabla 1.10. Evolución de la población absoluta según Agebs, San Pedro Garza García, NL. (2005-2010).

TABLA DE AGEBS Y COLONIAS EN RIESGO (POBLACIÓN 2000-2010)							
AGEB	COLONIA	POB 2000	POB 2005	POB 2010	LON	LAT	AREA
1043-5	Lomas del Campestre	3,853 hab	4,218 hab	4,199 hab	-100.332	25.635	1074204.95
1047-3	Lomas de San Agustín	1,037 hab	1,021 hab	972 hab	-100.333	25.631	708129.7642
1026-1	San Agustín	1,591 hab	1,364 hab	1,903 hab	-100.342	25.636	1227183.226
1046-9	Jardines de San Agustín	1,916 hab	2,266 hab	2,624 hab	-100.343	25.626	2424521.491
1045-4	Mesa de la corona-Lomas de San Ángel	118 hab	283 hab	317 hab	-100.354	25.627	1249248.276
1055-8	Olinalá-San Ángel	572 hab	932 hab	1,178 hab	-100.369	25.618	2641464.881
1028-0	San Ángel	1,975 hab	1,891 hab	2,160 hab	-100.371	25.627	1075398.4
1050-5	Bosques del Valle	2,744 hab	2,676 hab	2,706 hab	-100.380	25.632	1416982.01
1041-6	Villa Montaña	544 hab	572 hab	658 hab	-100.398	25.641	845824.2247

Fuente: INEGI y elaboración propia.

Según lo estimado por el Plan de Desarrollo Urbano (2012), el municipio tendría un descenso de población debido a la ocupación casi total de la superficie urbanizada; sin embargo, los datos corroboran una situación contraria a esto, con excepción de algunas colonias que han tenido bajas de habitantes; parte de esto se debe a la desocupación de las viviendas residenciales en zonas que se vieron afectadas por las precipitaciones intensas de la tormenta tropical “Alex” en el año 2010.

En la tabla 1.13 se muestra el análisis de población de los años 2000 a 2010, en el cual indica que la población fue en aumento en las colonias San Agustín (1026-1), Jardines de San Agustín (1046-9), Olinalá- San Ángel (1055-8), San Ángel (1028-0), Bosques del Valle (1050-5) y Villa Montaña (1041-6); mientras que en otras colonias el crecimiento ha sido lento o ha ido en disminución, como Mesa de la Corona (1045-4), Lomas del Campestre (1043-5) y Lomas de San Agustín (1047-3), a causa de las precipitaciones intensas.

En las zonas de alto riesgo, como Mesa de la Corona, Olinalá y San Agustín, tuvieron un incremento poblacional por la construcción de nuevas residencias causando remoción de cobertura vegetal, por lo tanto, la exposición al peligro sobre las remociones en masa se incrementa para las personas que viven en estas zonas.

Se realizó un análisis de estructura poblacional en base a los grupos de edad, como se muestra en la tabla del año 2010, donde se recabó información sobre las siguientes edades: 0 a 4 años, 6 a 14 años, 15 a 19 años, 20 años y más, 60 años y más, personas con discapacidad (INEGI, 2010) para obtener su grado de vulnerabilidad.

Tabla 1.13. *Distribución de la población por edades y discapacidad por Agebs, San Pedro Garza García, NL. (2005-2010).*

TABLA DE AGEBS Y COLONIAS EN RIESGO (POBLACIÓN POR EDAD Y PERSONAS CON DISCAPACIDAD)								
AGEB	COLONIA	0-4 AÑOS	6-14 AÑOS	15-19 AÑOS	20 AÑOS O MAS	60 AÑOS O MAS	PERSONAS CON DISCAPACIDAD	AREA
1043-5	Lomas del Campestre	323 hab	704 hab	506 hab	2051 hab	95 hab	36 hab	1074204.95
1047-3	Lomas de San Agustín	79 hab	191 hab	168 hab	549 hab	30 hab	8 hab	708129.7642
1026-1	San Agustín	45 hab	127 hab	196 hab	974 hab	138 hab	21 hab	1227183.226
1046-9	Jardines de San Agustín	123 hab	312 hab	223 hab	901 hab	49 hab	21 hab	2424521.491
1045-4	Mesa de la corona-Lomas de San Ángel	8 hab	10 hab	12 hab	33 hab	5 hab	4 hab	1249248.276
1055-8	Olinalá-San Ángel	42 hab	63 hab	67 hab	285 hab	14 hab	3 hab	2641464.881
1028-0	San Ángel	117 hab	230 hab	225 hab	1146 hab	92 hab	17 hab	1075398.4
1050-5	Bosques del Valle	163 hab	361 hab	405 hab	1638 hab	145 hab	34 hab	1416982.01
1041-6	Villa Montaña	46 hab	80 hab	60 hab	302 hab	28 hab	10 hab	845824.2247

Fuente: INEGI y elaboración propia.

En el análisis de la tabla 1.12 que se muestra, se observa que la mayor parte de la población tienen 20 años y más (INEGI: 2010)⁹⁰ ocupando un 60% de territorio, mientras que el segundo lugar en habitantes se encuentran en la edad de 6 a 14 años en un 20% y existe una variación similar entre las edades de 0 a 4 años y 60 años y más, 18% por lo tanto se considera que la población en su mayoría son jóvenes y personas adultas.

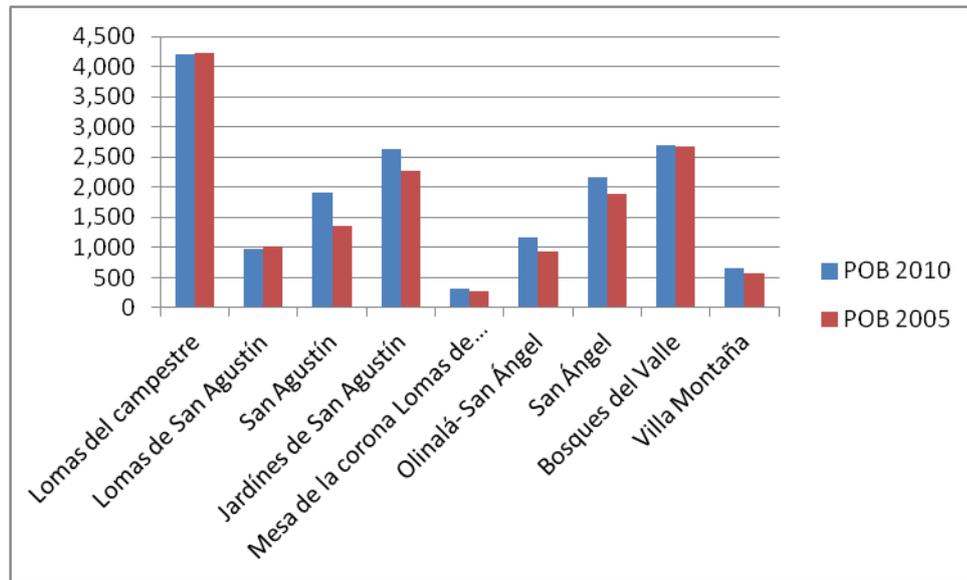
Por otro lado, se localizaron en el área de estudio 70 personas con discapacidad en los Agebs de alto riesgo a remoción en masa y escurrimientos, como Bosques del Valle y Lomas del Campestre (Tabla 1.2.), lo que puede significar un nivel medio o bajo de vulnerabilidad para las personas con que presentan falta de movilidad. Sin embargo, afectaría principalmente en la capacidad de reacción si es necesaria una evacuación, ya que las calles y avenidas que suben a estas colonias, presentan pendientes importantes y desprendimientos de roca, deslizamientos de lodo, que muchas veces desplazan la calle, dejando sin acceso a las áreas de estudio.

Las colonias que presentan habitantes con discapacidad son Lomas del Campestre, Lomas de San Agustín, San Agustín, Olinalá- San Ángel, San Ángel y Bosques del Valle, detectando que se encuentran en zonas de riesgo por inundaciones como el área de San Agustín, y lugares que presentan desplazamientos de tierra como Olinalá y San Ángel; ambas con exposición a alto peligro de remociones.

Los datos presentados por INEGI y el análisis de sitio se comparan con los datos que proporciona el Plan de Desarrollo Urbano de San Pedro 2010, en donde se menciona que 7879 personas que viven en el área de estudio son entre 20 y 60 años seguidos por población de 15 a 19 con 1862 habitantes y, por último, 596 personas de 60 años y más (INEGI, 2010; Plan de Desarrollo Urbano de San Pedro, 2010).

⁹⁰ INEGI (2010). Censo de población y vivienda 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Imagen 1.16. Evolución de la población total del área de estudio, San Pedro Garza García, NL. (2005-2010).



En el gráfico 2, se observa el incremento de población en el área de estudio, siendo el de mayor crecimiento la zona de Jardines de San Agustín y San Ángel, las dos principales zonas con suelos inestables y con problemas de remociones en masa y escurrimientos por precipitaciones. Fuente: INEGI, IMPLAN, elaboración propia.

Esto quiere decir, que la población existente del área de estudio, son en mayoría familias jóvenes con hijos de aproximadamente 4.3 a 4.7 habitantes por vivienda (IMPLAN, 2011)⁹¹; mientras que la población de adultos mayores va en descenso en el área de estudio de mayor riesgo (San Agustín, Lomas del Campestre, Valle Oriente), sigue creciendo en habitantes, ya que es una zona que se está detonando aspectos habitacionales y comerciales.

A pesar de encontrar que la mayor parte de la población es gente con capacidad de reacción y con educación completa ante un fenómeno natural, y que la población de adultos mayores y personas con discapacidad son la minoría, es necesario tomar en cuenta la implementación de prevención ante este tipo de riesgos.

El área de estudio no es adecuada para adultos mayores y personas con discapacidad debido a las pendientes de hasta 42%, como el caso de San Ángel u

⁹¹ Diagnóstico para el Plan de Desarrollo Urbano San Pedro Garza García 2030. Instituto Municipal de Planeación Urbana (IMPLAN), Junio 2011.

Olinalá, que son las partes más altas de la zona, afectadas por los peligros geomorfológicos y las precipitaciones intensas. Además, las viviendas deben implementar métodos constructivos que permitan que el asentamiento se encuentre estable y no ocurran desastres como en las lluvias de la Tormenta Tropical Alex (2010), donde hubo hundimientos y cuarteaduras de viviendas en esta zona.

3.3.1. Análisis de Vulnerabilidad.

Determinadas las condiciones sociodemográficas del área de estudio, es evidente que su población se encuentra expuesta a los escurrimientos y remociones en masa, tanto en vivienda como en vialidades.

A partir de los resultados proporcionados, es necesario realizar el análisis de vulnerabilidad.

El análisis de vulnerabilidad presenta la necesidad de comparar indicadores para determinar el riesgo, como el número de población o viviendas, esto ayudara a determinar la importancia del indicador con respecto a la vulnerabilidad del sitio.

El análisis de vulnerabilidad se centrará en los indicadores físicos, sociales y de reacción.

1). Físicas:

Cobertura vegetal, pendientes o inclinación, estabilidad de suelo del área de estudio.

2). Sociales:

Población: Densidad de población, porcentaje de población de personas con discapacidad, porcentaje de población con adultos mayores, porcentaje de población indígena por ingresos y analfabetismo.

3). Reacción:

Falta de sistema de alarma, protección civil.

El análisis de vulnerabilidad se centrará en los indicadores físicos, sociales y de reacción.

De acuerdo a lo propuesto por García (2008), se hizo una revisión comparando los índices elegidos para determinar la vulnerabilidad, con el área de estudio determinado por medio de Agebs.

En base al trabajo de campo sobre el área física como cobertura vegetal, pendientes, estabilidad de suelo, se determinaron en el subcapítulo anterior la peligrosidad cada zona.

Estos fueron analizados en base a las características geomorfológicas del terreno, teniendo como resultado de forma general, la peligrosidad incidiendo en colonias como San Ángel, Lomas del Campestre y Mesa de la Corona (Tabla 1.12).

Tabla 1.14. *Evaluación de la peligrosidad de factores que implican procesos de remoción en masa, San Pedro Garza García, NL. (2010).*

Evaluación de la peligrosidad de factores que implican los procesos de remoción en masa, San Pedro Garza García, NL.				
Factores	Peligrosidad			
	Muy Alta	Alta	Media	Baja
Topografía/Morfología	Pendientes y laderas muy pronunciadas	Pendientes y laderas con escarpes fuertes	Pendientes y laderas con escarpes medianos, no muy pronunciados	Pendientes no pronunciadas, llanuras.
Pendientes %	> 25%	15-20 %	10-15 %	< 10 %
Edafología (suelos)	Suelos poca profundidad susceptibles a erosión	Suelos con textura media permite paso de sustancias a niveles inferiores	Suelos con textura media	Suelos aptos para zona urbana (ZU)
Geología (rocas)	Rocas no consolidadas o alteradas (Lutita, aluviales)	Rocas no consolidadas medias (Lutita, aluviales)	Rocas consolidadas a	Rocas consolidadas de acuerdo al lugar y tipo suelo
Vegetación	Cobertura vegetal escasa o nula (< 30 %)	Cobertura vegetal escasa (30 - 45 %)	Cobertura vegetal media (45 - 65 %)	Cobertura vegetal ecológica protegida (> 65%)

Fuente: elaboración propia.

La vulnerabilidad se puede calcular de diferente forma y ser cuantificado por medio de datos, fórmulas y valores agregados. Es así como se muestra el análisis social y sistema de reacción.

3.3.1.1. Densidad de Población

La densidad de población es el principal factor de crecimiento, por ejemplo la migración a la ciudad o al sitio. Es una forma de definir una ocupación en las áreas de estudio, y por lo tanto exista una mayor exposición de los asentamientos humanos.

Se realizó como procedimiento la división del total de población de los diferentes grupos de edades entre el área de ocupación donde se encuentran estos asentamientos.

Su fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$DP = \frac{POB0-14 + POB65}{POB15-64}$$

Donde:

DP: Densidad de población

POB0-14: Población de 0 a 14 años

POB65: Población de 65 años o más

POB15-04: Población de 15 a 64 años

Ponderando de la siguiente manera:

Tabla 1.13. *Tabla de obtención y nivel de porcentaje de población con discapacidad, San Pedro Garza García, NL. (2010).*

1 a 100 hab/km ²	Muy bajo	0.00
101 a 500 hab/km ²	Bajo	0.25
501 a 1000 hab/km ²	Medio	0.50
1001 a 5000 hab/km ²	Alto	0.75
5001 o más hab/km ²	Muy Alto	1.00

Fuente: elaboración propia.

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 1.14. *Porcentaje del factor de densidad poblacional como indicador de riesgo, San Pedro Garza García, NL (2010)*

Densidad de Población						
Ageb	0- 14 Años	15-64 años	65 Años o mas	Area km2	Densidad	%
1043-5	1027	2978	129	1074205	0.00384843	0.38484274
1047-3	270	749	26	708130	0.00147572	0.14757177
1026-1	172	1271	203	1227183	0.00134128	0.13412832
1046-9	435	1764	79	2424521	0.00093957	0.0939567
1045-4	18	151	7	1249248	0.00014088	0.01408848
1055-8	105	735	51	2641464	0.00033731	0.03373129
1028-0	347	1393	141	1075398	0.00174912	0.17491199
1050-5	524	1871	169	1416982	0.00180948	0.18094796
1041-6	126	453	39	845824	0.00073065	0.07306485

Fuente: elaboración propia.

3.3.1.2. Población con discapacidad

El área de estudio presenta pendientes muy abruptas, esto significa en caso de peligro de remoción en masa, es factible que se dañen las vialidades debido a los cortes de talud para situarlas, esto supone un problema para la evacuación de personas, sobre todo si presentan alguna discapacidad en general.

En el caso del análisis de porcentaje de personas con discapacidad, se tomaron en cuenta los 3 niveles poblacionales (0 a 14 años, 15 a 64 y 65 y más), no solamente fundamentándose en la capacidad de reacción de algún grupo.

Se analizaron los tres grupos poblacionales, haciendo la división de la cantidad poblacional de personas con discapacidad total, entre el número de personas de cada grupo, esto para cada uno de los Agebs, obteniendo al final la suma de los grupos y dividiéndola en 3 para obtener su porcentaje.

Su formula se expresa de la siguiente manera:

$$\%PCD = \frac{PCD}{TPG} = \frac{\sum PCD}{100}$$

Donde:

%PCD: Porcentaje de población con discapacidad.

PCD: Población con discapacidad

TPG: Total de población por grupo

Ponderando de la siguiente manera:

Tabla 1.15. *Tabla de obtención y nivel de porcentaje de población con discapacidad, San Pedro Garza García, NL (2010)*

0 a 2	Muy bajo	0.00
2 a 4	Bajo	0.25
4 a 6	Medio	0.50
6 a 8	Alto	0.75
8 o mas	Muy Alto	1.00

Fuente: elaboración propia.

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 1.16. *Porcentaje del factor de personas con discapacidad como indicador de vulnerabilidad, San Pedro Garza García, NL (2010).*

% Personas con Discapacidad (PCD)									
Ageb	0- 14 Años	%PCD	15-64 años	%PCD	65 Años o mas	%PCD	TOTAL PCD	%PCD	NIVEL
1043-5	8	450	16	225	12	300	36	3.25	BAJA
1047-3	3	200	3	200	0	-	6	1.3	MUY BAJA
1026-1	4	525	5	420	12	175	21	3.7	BAJA
1046-9	0	-	16	125	4	500	20	2.1	MUY BAJA
1045-4	0	-	0	-	0	-	0	0	NO HAY
1055-8	0	-	3	100	0	-	3	0.3	MUY BAJA
1028-0	0	-	6	266.67	10	160	16	1.4	MUY BAJA
1050-5	0	-	15	220	18	183.33	33	1.3	MUY BAJA
1041-6	0	-	5	200	5	200	10	1.3	MUY BAJA

Fuente: elaboración propia.

3.3.1.3. Población no derechohabiente a salud

Cuando se habla de la población no derechohabiente, se está analizando a la población que no tiene derecho a algún servicio de salud en casos de emergencia.

En dado caso se presente una emergencia y se requiera del uso de los servicios de salud, ya sea IMSS, ISSSTE o empresa u organización que preste el servicio, es necesario saber cuánta gente tendrá la accesibilidad a un seguro en dado caso de daño físico.

Su procedimiento es la división de la población total –población derechohabiente, dividió entre la población derechohabiente multiplicado por 100 para obtener su porcentaje.

Su formula se expresa de la siguiente manera:

$$\%PND= \frac{PT- PD}{PD} \times 100$$

Donde:

%PND: Porcentaje de población no derechohabiente.

PD: Población derechohabiente

PT: Población total

Ponderando de la siguiente manera:

Tabla 1.17. *Tabla de obtención y nivel de porcentaje de población no derechohabiente, San Pedro Garza García, NL (2010).*

0 a 20	Muy bajo	0.00
20 a 40	Bajo	0.25
40 a 60	Medio	0.50
60 a 80	Alto	0.75
80 y mas	Muy Alto	1.00

Fuente: elaboración propia.

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 1.18. *Porcentaje del factor de población no derechohabiente como indicador de vulnerabilidad, San Pedro Garza García, NL. (2010).*

Población No derechohabiente (PND)						
Ageb	POB DER	POB NO DER	POB TOTAL	PND	%PND	NIVEL
1043-5	3276	407	4134	4133.207547	41.3	MEDIO
1047-3	774	111	1045	1044.25933	10.4	MUY BAJO
1026-1	1484	174	1646	1645.09842	16.5	MUY BAJO
1046-9	1984	217	2278	2277.129061	22.8	BAJO
1045-4	182	17	176	174.9659091	1.7	MUY BAJO
1055-8	739	91	891	890.1705948	8.9	MUY BAJO
1028-0	1396	234	1881	1880.257842	18.8	BAJO
1050-5	1935	308	2564	2563.24532	25.6	BAJO
1041-6	491	102	618	617.2055016	6.2	MUY BAJO

Fuente: elaboración propia.

3.3.1.4. Población de lengua indígena

Todos los Agebs que se encuentran en el área de estudio, tienen un porcentaje de personas que trabajan para el servicio de las casas, que tienen un nivel socioeconómico alto y muy alto, y quienes generalmente migran de otros estados y se quedan situados en el Área Metropolitana de Monterrey, la mayor parte de ellos son indígenas.

El que sea una población externa de la ciudad, no significa que sean vulnerables, sino que, si las personas de lengua indígena no saben hablar español, es complicado entender instrucciones para evacuación como también el sustento económico, aunque muchos de ellos viven en las residencias y se les apoya con prestaciones.

El procedimiento que se realiza es mediante la división de la población total dividido entre la población de lengua indígena dividido entre el 100 para obtener el porcentaje.

Su formula se expresa de la siguiente manera:

$$\%PLI = \frac{PT}{PLI} = X \ 100$$

Donde:

%PLI: Porcentaje de población de lengua indígena

PT: Población total

Ponderando de la siguiente manera:

Tabla 1.19. *Tabla de obtención y nivel de porcentaje de población de lengua indígena, San Pedro Garza García, NL. (2010).*

0 a 20	Muy bajo	0.00
20 a 40	Bajo	0.25
40 a 60	Medio	0.50
60 a 80	Alto	0.75
80 y mas	Muy Alto	1.00

Fuente: elaboración propia.

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 1.19. *Porcentaje del factor de población de lengua indígena como indicador de vulnerabilidad, San Pedro Garza García, NL. (2010).*

Población Lengua Indígena (PLI)					
Ageb	PLI	POB TOTAL	PLI	%PND	NIVEL
1043-5	123	7817	63.55284553	0.6	MUY BAJO
1047-3	27	1930	1929.98601	19.3	BAJO
1026-1	70	3304	3303.978814	33.0	BAJO
1046-9	95	4479	4478.97879	44.8	MEDIO
1045-4	4	375	374.9893333	3.7	MUY BAJO
1055-8	24	1721	1720.986055	17.2	BAJO
1028-0	94	3511	3510.973227	35.1	BAJO
1050-5	95	4807	4806.980237	48.1	MEDIO
1041-6	22	1211	1210.981833	12.1	MUY BAJO

Fuente: elaboración propia.

3.3.1.5. Sistemas de acción o alerta

Con el sistema de acción o alerta, se da paso al análisis del tercer punto para determinar índices de vulnerabilidad. La alerta es un sistema que debe estar ubicado en toda el área de estudio, para determinar los tiempos en que va a suceder un peligro natural al cual la población se encuentre expuesta.

El procedimiento que toma este sistema de acción es por medio del conocimiento de existencia de estas zonas de alerta en cada Ageb, tomando valores de 1 en dado caso exista, y 0 si no se reporta localizada alguna alarma.

En el sitio se ha encontrado que las alertas o las organizaciones de acción se encuentran localizadas en otras zonas del municipio, pero se trata más de personal y no de alarmas instaladas en el área.

Por lo tanto se determino lo siguiente:

Tabla 1.20. *Tabla de obtención y nivel de porcentaje de sistema de alerta poblacional y protección civil. (2010)*

Sistema de Alerta poblacional (SAP)			Protección civil (PC)		
Ageb	Nula	Existente	Ageb	Nula	Existente
1043-5	0	0	1043-5	0	0
1047-3	0	0	1047-3	0	0
1026-1	0	0	1026-1	0	0
1046-9	0	0	1046-9	0	0
1045-4	0	0	1045-4	0	0
1055-8	0	0	1055-8	0	0
1028-0	0	0	1028-0	0	0
1050-5	0	0	1050-5	0	0
1041-6	0	0	1041-6	0	0

Fuente: elaboración propia.

Fuente: elaboración propia.

3.4. Aspecto Urbano.

Según el Plan de Desarrollo Urbano del municipio de San Pedro, está ocupando casi en su totalidad el espacio que abarca el municipio en cuanto a la urbanización, no existiendo espacios para su crecimiento, esto podría ser una de las justificaciones para la explotación de la vivienda y áreas comerciales verticales.

La problemática urbana se enfoca al aumento de áreas de urbanización sobre la Sierra Madre Oriental y en lugares donde el suelo es inestable, como se ha visto en el área de estudio.

Las urbanizaciones que se mencionan han causado erosión en el suelo y terminan con la vegetación existente del área de estudio, que ayudan a la absorción del agua en el suelo, evitando los escurrimientos a grandes velocidades y los procesos geomorfológicos.

Por lo tanto, el análisis del aspecto urbano, es tan importante como el análisis físico de la zona, porque expresa la influencia o el factor antropico que incide en el lugar.

La zonificación primaria, según el Instituto Municipal de Planeación de San Pedro (IMPLAN), en el diagnostico realizado, detecta la urbanización existente (62%), donde se definen los limites urbanos, zonas no urbanizables (28%), áreas de preservación (4%), zonas urbanizables (6%) y límites de la Sierra Madre (figura 1.19).

Figura 1.15. Cartografía de áreas urbanas y zonas naturales protegidas de San Pedro Garza García. (2010).

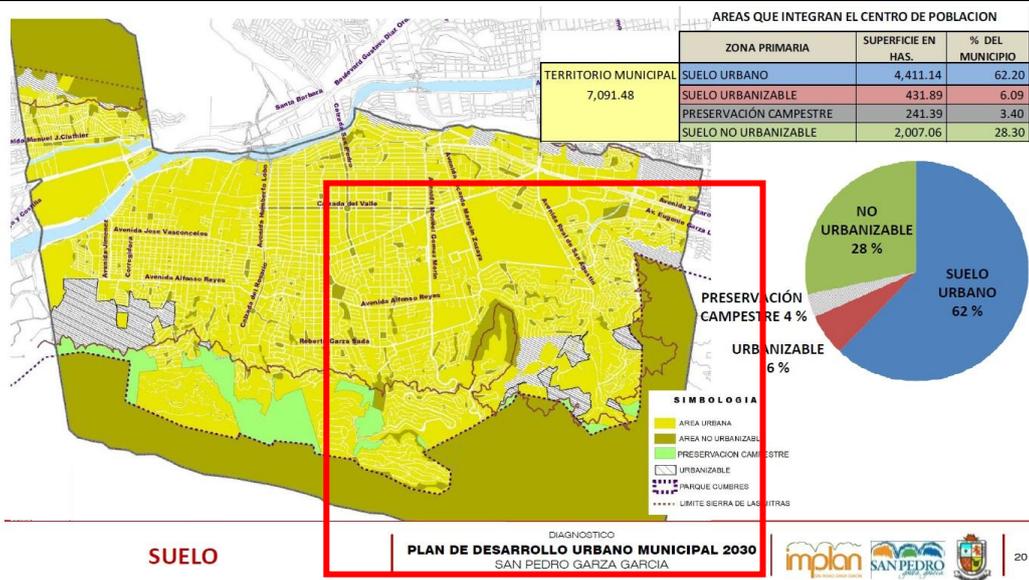
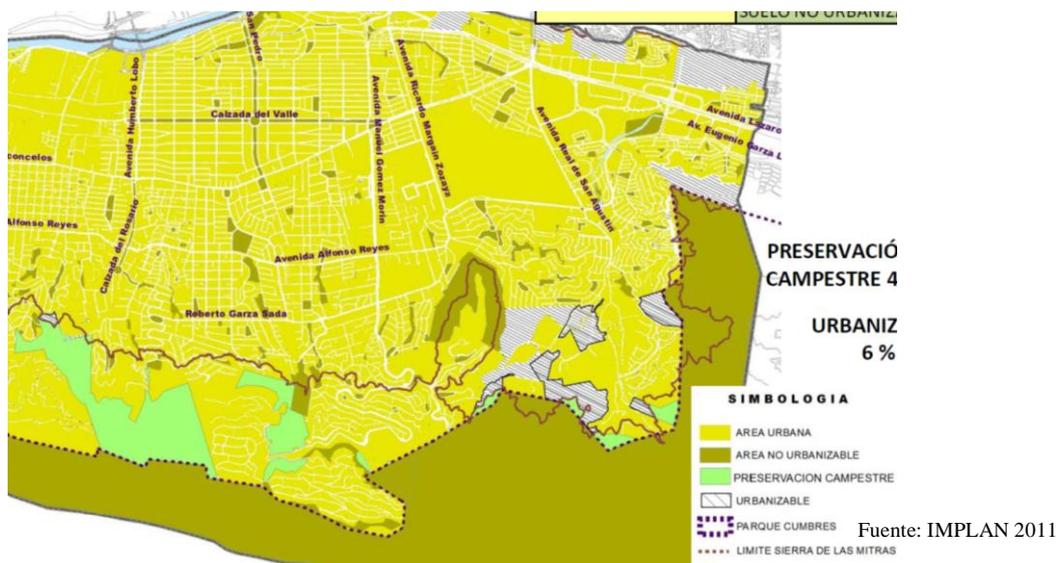
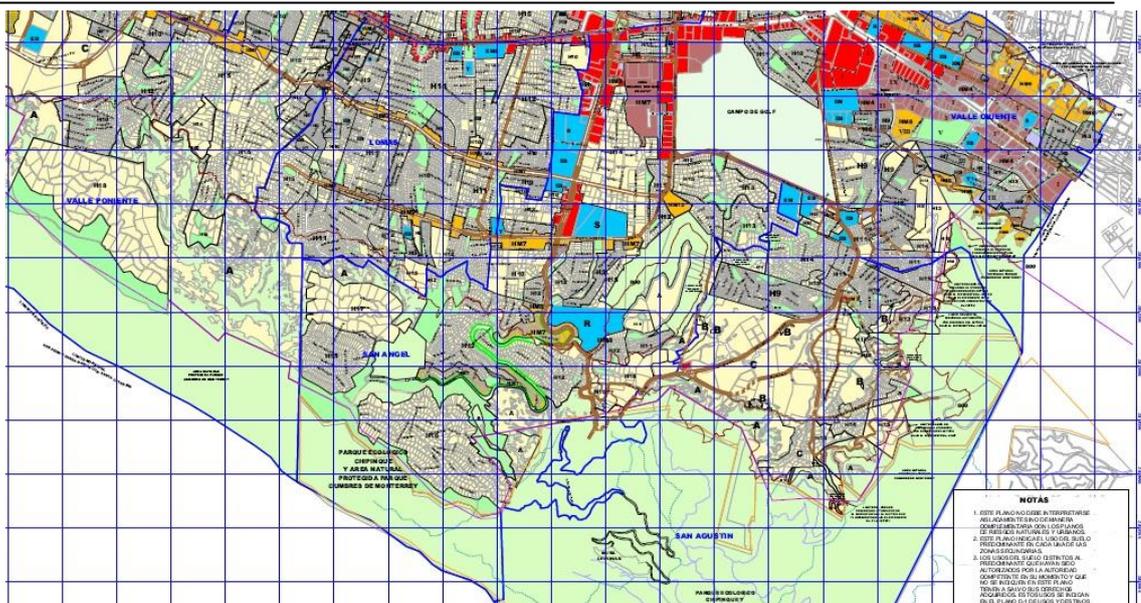


Figura 1.16. Cartografía de áreas urbanizables y no urbanizables, San Pedro Garza García, NL (2010).



Según las figuras 1.12 y 1.13, se aprecia que la zona urbana ocupa la mayor parte del área de estudio y por otro lado, se puede observar el crecimiento urbano hacia la zona de la Sierra que es considerada como urbanizable, sin embargo la erosión del suelo, a pesar de las pendientes que presenta el área de estudio por encima del 35% , no evita que las construcciones sigan el curso, incluso las áreas consideradas en la cartografía como urbanizables, ya han sido ocupadas por viviendas, sin respetar el límite de la Sierra, geomorfología y las zonas de preservación son reducidas; esto se puede constatar con la cartografía mostrada sobre el estudio físico de la zona en cobertura vegetal (Figura 1.16 pág. 96).

Figura 1.17 Cartografía de zonificación urbana del área de estudio, San Pedro Garza García, NL. (2010).



Fuente: IMPLAN San Pedro Garza García

En la imagen 1.14 se localiza la zona de estudio y los usos de suelo que son considerados por parte de Desarrollo Urbano del municipio.

El área de estudio se ha visto afectada por las precipitaciones intensas y remociones en masa, a causa de la obstrucción del arroyo principal del lugar (Arroyo San Agustín) y de la erosión constante al suelo por la urbanización.

Actualmente, los asentamientos han aumentado y por insistencia de urbanizar y la permicidad de las administraciones, además de la construcción vertical se ha implementado, sin tomar en cuenta en algunos casos, que existen zonas inestables de suelo causando pérdidas materiales y humanas.

3.5. Instrumentos jurídicos

Los instrumentos jurídicos son indispensables para la aplicación de las soluciones o propuestas que presentan investigadores sobre el tema de los asentamientos humanos.

Para el tema sobre las precipitaciones extremas y su implicación sobre los procesos de remoción en masa, se deben considerar los siguientes instrumentos que forman parte de la planificación urbana, como el plan de desarrollo urbano, leyes y reglamentos de construcción, agregando las leyes de equilibrio ecológico, este último debido a la importancia que tiene sobre el área de estudio como es el municipio de San Pedro Garza García y la Sierra Madre Oriental.

3.5.1. Bases legales de intervención en la planificación urbana.

Para el análisis de las bases legales de la planificación urbana del municipio de San Pedro Garza García, se revisaron la Ley General de Asentamientos Humanos (2012), Ley ambiental, Ley de Equilibrio Ecológico y el Plan de Desarrollo Urbano del municipio de San Pedro Garza García (2010).

Dentro del plan de desarrollo, se revisaron algunos artículos que expresan el uso de suelo y zonas de preservación ecológica como también de la construcción, enfocándose

Se aprecia que la zonificación alcanza el límite de la zona del Parque Ecológico Chipinque, el cual presenta pendientes de más de 40%, lo cual implica peligro para los asentamientos humanos que se encuentran en el lugar, como para la cobertura vegetal de la zona; por lo tanto es una zona en que se aprecia la degradación de las zonas naturales.

Por otro lado el Artículo 23 que habla acerca de las áreas naturales protegidas:

Artículo 23: En las áreas de actividad riesgosa, deben establecerse zonas intermedias de salvaguarda en las que no se permitirán los usos habitacionales y comerciales que pongan en riesgo a la población.

Un ejemplo de esto, es la zona conocida como San Ángel, es considerado como zona de riesgo por el Plan de Desarrollo Urbano del municipio de San Pedro Garza García (2010)⁹³.

Imagen 1.20. Características analizadas mediante método de planeación estratégica del Distrito San Ángel, San Pedro Garza García, NL (2010).

6. Distrito San Ángel

Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Población con status socioeconómico alto ▪ Zona habitacional con alto nivel de calidad de vida ▪ Comunidad participativa y emprendedora ▪ Contar con 230.10 has. del parque ecológico Chipinque y área natural protegida del parque Cumbres de Monterrey ▪ 1,888,592.00 m2 de baldíos con infraestructura y servicios dentro del área urbana 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mejorar el sistema vial del Distrito ▪ Adecuar los usos del suelo ▪ Promover la ocupación de los 1,888,592.00 m2 de baldíos urbanizados dentro del Distrito ▪ Implementación del sistema de drenaje sanitario pluvial 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Carencia de áreas de estacionamiento en algunos de sus sectores ▪ Irregularidad de usos comerciales y/o de servicios al interior de zona habitacional ▪ Establecimiento de centros educativos que generan conflicto vial ▪ Área Habitacional en zona de riesgo ▪ Sistema de infraestructura del drenaje sanitario y pluvial Insuficiente 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Invasión de uso de suelo comercial al interior de zona habitacional ▪ Deficiencia y saturación del sistema vial del Distrito ▪ Disminución de calidad de vida de sus residentes al permitir cambios de usos diferentes al habitacional al interior de sus colonias ▪ Saturación de sistema de infraestructura ▪ Zonas con alto grado de riesgo en lotes habitacionales

Fuente: Plan de Desarrollo Urbano del municipio de San Pedro Garza García, NL.

Esto se refuerza con los reglamentos de construcción del municipio, sin embargo, esta es una zona de riesgo declarada, como se aprecia en el grafico 1.19, la zonificación

⁹³ Plan de Desarrollo Urbano Municipal de San Pedro Garza García, NL. 2024. (Actualización 2010).

se encuentra en el lugar, y los recursos que se tienen para apoyar a la población, son medidas de mitigación aplicadas por Protección Civil del estado.

Actualmente, la información que se obtiene sobre la zonificación de riesgos por remociones en masa es muy escasa, así es necesario realizar investigaciones profundas sobre el tema, para analizar y determinar tanto el peligro y exposición, como la vulnerabilidad de la población para determinar el riesgo, como medida de prevención al problema.

La prevención se convierte en algo necesario ante este tipo de fenómenos, como la concientización de las personas y gobiernos municipales a no permitir construcciones en zonas de riesgo, debido a la peligrosidad que representa para los habitantes, como para la zona natural que presenta la Sierra Madre Oriental.

Un permiso de construcción, nuevas formas de cimentación, permisos para realizar cortes en suelo con pendientes pronunciadas, son soluciones insuficientes para prevenir un riesgo de esta magnitud, así como las limitaciones se presentan en los planes y reglamentos de construcción. Es importante que coincidan los lineamientos con el sitio, ya que los daños en la infraestructura, suelo natural, cobertura vegetal y sobre todo las vidas humanas se encuentran en riesgo.

Capítulo 4: Síntesis y discusión.

4.1. Síntesis de la problemática.

El riesgo ($r = p \times e \times v$) que se presenta en la zona, depende en parte de la geomorfología del área de estudio, se encuentra en una zona donde la mitad del territorio se localiza en una zona de llanura con pendientes medias del 8 % o menos, mientras que la otra mitad, se encuentra en zonas con pendientes medias de más del 31% (según cálculos estimados por medio de la topografía de la zona INEGI: 2010)⁹⁴.

En cuanto a la geomorfología del área de estudio, se conforma por regosoles, conglomerados y lutitas en zonas con pendientes por encima del 10 %; en donde en las partes más altas del 31% se desprenden rocas, fracturadas y con vegetación media debido al factor antrópico, como la localización de nuevas construcciones, los cuales se agravan con las precipitaciones intensas; es así como se determinó la evaluación de la peligrosidad, por medio de los factores topográficos, los porcentajes de las pendientes, la geología y edafología y la cobertura del suelo de la Sierra Madre Oriental, donde se localizan los Agebs presentados de acuerdo a evaluaciones realizadas.

En el análisis realizado al área de estudio, se evidencia el peligro y exposición ante la urbanización del área de estudio por inestabilidad del terreno, y en donde se permite la construcción de viviendas a pesar de su geomorfología, como los lineamientos presentados en el Plan de Desarrollo Urbano de San Pedro Garza García, NL.

En la evaluación de los factores de peligrosidad que implican los procesos de remoción en masa, se determina el grado de peligro en que se encuentra el área como la erosión del suelo causada la urbanización, que no solamente aumenta el riesgo para los

⁹⁴ INEGI (2010). Censo de población y vivienda 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

asentamientos humanos, sino que el deterioro ambiental de la Sierra Madre Oriental promueve la inestabilidad del suelo y de la pérdida de un ecosistema de la región.

Se evaluó el área de estudio para determinar la peligrosidad de los factores que intervienen en los procesos de remoción en masa como: topografía y morfología, edafología, geología y vegetación, por medio de grado de peligrosidad: muy alta, alta, media y baja.

La topografía del área de estudio muestra un nivel muy alto en zonas con pendientes y laderas pronunciadas que varía dependiendo de la estabilidad de la zona, sin embargo, las partes altas que se encuentran en la Sierra Madre Oriental, como Olinalá y Mesa de la Corona, tiende a ser un área con altas posibilidades de deslizamientos.

Los suelos son de poca profundidad, rocas no consolidadas como la lutita y suelos aluviales, y la cobertura vegetal va en descenso, debido a la urbanización que incide en la zona.

En las áreas con peligro alto la topografía del lugar presenta pendientes de entre un 38% y 25%, son suelos con textura media que presentan permeabilidad y las rocas no son consolidadas con cobertura media.

El nivel medio de peligrosidad tiene pendientes no muy pronunciadas de 10% a 25%, suelos con textura media, rocas consolidadas y cobertura vegetal en 70%, nivel tolerable para urbanización en este tipo de zonas que se conocen como las más estables.

Las áreas evaluadas con peligrosidad baja se referenciaron por debajo del 10%, con rocas consolidadas y cobertura vegetal por encima del 70%; esto es las áreas verdes han sido respetadas por la urbanización.

Tabla 1.24. *Evaluación de la peligrosidad de factores que implican procesos de remoción en masa, San Pedro Garza García, NL (2010).*

Factores	Muy Alta	Alta	Media	Baja
Topografía/Morfología	Pendientes y laderas muy pronunciadas	Pendientes y laderas con escarpes fuertes	Pendientes y laderas con escarpes medianos, no muy pronunciados	Pendientes no pronunciadas, llanuras.
Pendientes %	> 25%	15-20 %	10-15 %	< 10 %
Edafología (suelos)	Suelos poca profundidad susceptibles a erosión	Suelos con textura media permite paso de sustancias a niveles inferiores	Suelos con textura media	Suelos aptos para zona urbana (ZU)
Geología (rocas)	Rocas no consolidadas o alteradas (Lutita, aluviales)	Rocas no consolidadas medios (Lutita, aluviales)	Rocas consolidadas a	Rocas consolidadas de acuerdo al lugar y tipo suelo
Vegetación	Cobertura vegetal escasa o nula (< 30 %)	Cobertura vegetal escasa (30 - 45 %)	Cobertura vegetal media (45 - 65 %)	Cobertura vegetal ecológica protegida (> 65%)

Fuente: Sánchez González, 2011 y elaboración propia.

4.2. Discusión y conclusiones.

Los procesos de remoción en masa están determinados, en buena medida, por las precipitaciones extremas, y, sobre todo, el crecimiento urbano insostenible en áreas no aptas para uso residencial en el municipio de San Pedro Garza García, Nuevo León.

El proceso de urbanización en áreas naturales de alto valor ecológico es consecuencia de la especulación inmobiliaria, la corrupción urbanística y la permisividad de las administraciones, lo que incrementa el riesgo por procesos de remoción e inundaciones en la zona de estudio.

Las precipitaciones intensas son un detonante de los procesos de remoción en masa debido al cambio de distribución de las precipitaciones en el año, las diferencias espacio- temporales de las mismas y la fragilidad de la geomorfología del suelo, según los registros adquiridos de las estaciones climáticas cercanas a la zona y estudios geológicos en el área de estudio.

El registro de la CENAPRED, muestra como México se ha visto afectado por este tipo de fenómenos naturales y el Área Metropolitana de Monterrey, no ha sido la excepción.

Según el récord histórico de precipitaciones intensas para Monterrey, han existido dos huracanes convertidos a tormenta tropical: Beulah en 1967 con 541 mm y Gilberto en 1988 con 310 mm en 24 horas. El mayor peligro de ambos ciclones fueron los escurrimientos de los cerros del Área Metropolitana de Monterrey, causando daños materiales y pérdida de vidas por la velocidad y cantidad de agua de las bajantes. Sin embargo, existe un record de precipitación después de este registro con la Tormenta Tropical “Alex” en el año 2010, presentando cantidades de acumulación en 24 horas mayores a las que muestran en el registro el Huracán Beulah y el Gilberto, a pesar de ser una depresión tropical. Dicha Depresión Tropical tuvo precipitaciones intensas acumuladas de más de 616mm en 60 horas y 446.5 mm en 24 horas de acuerdo al registro de las estaciones climatológicas que se encuentran en Nuevo León. Este fenómeno natural, trajo consecuencias, tanto de escurrimientos y remociones en masa; como por ejemplo el caso del Municipio de San Pedro Garza García, mediante deslizamientos de tierra y caídas de rocas que dañaron calles y asentamientos humanos, dejando sin infraestructura la zona. El poder destructivo de los últimos desastres naturales indica las posibilidades de efectos del cambio climático en el área de estudio.

La investigación determina que las precipitaciones extremas tienen implicación en los procesos de remoción en masa en el área de estudio. La erosión del suelo indica que esto no solamente depende de los ciclones tropicales, sino de la variación y distribución que detonan este tipo de movimientos geomorfológicos y del cual la zona urbana y natural del municipio de San Pedro Garza García es propensa a estos movimientos de suelo.

El área de estudio se encuentra en el anticlinal conocido, como “Los Muertos”, en su cara NE, en donde el suelo tiene débil estabilidad por el tipo de geomorfología, como las pendientes de más de 15% y en la que ocurren desplazamientos de suelo

causados por depósitos de fracturas, deslizamiento de rocas por caída y precipitaciones intensas.

La geología del área de estudio, obtenida del estudio riesgo en el municipio, y de acuerdo a la cartografía analizada por Chapa Guerrero (1993) indica la existencia de formaciones del cretácico y jurásico en la Sierra Madre Oriental. Las formaciones del cretácico se encuentran los depósitos de roca que han sido desplazadas por gravedad y, son parte de la formación de Méndez, en donde se encuentra el suelo más reciente, como las lutitas; esto es que el área de estudio se encuentra sobre esta área, la cual es un lugar de depósitos de roca por desplazamientos.

Se detectaron algunas discrepancias sobre lo escrito en planes y reglamentos de desarrollo urbano, entrevistas al personal del Instituto Municipal de Planeación de San Pedro (IMPLANSP) en comparación con la parte física del área de estudio. Algunas diferencias, sobre todo el abuso en el límite permitido de altura de la sierra para construcción, evidenciando que los asentamientos en zonas con máximas pendientes, dió como resultado, que existe falta de información en el tema del peligro natural y la deficiencia en la aplicación de formas de mitigación de riesgo, donde es inexistente un sistema de prevención que evite las construcciones en el lugar.

Las diferencias fueron claras entre el Plan de Desarrollo Urbano, reglamentos y el sitio, como también en las entrevistas realizadas al personal de Desarrollo Urbano sobre el espacio físico natural, límites de construcción de la Sierra Madre Oriental, cartografía de riesgos por remociones en masa (los cuales, no eran conocidos como tal, sino como deslaves) y la erosión del suelo por urbanización; determinando así la deficiente información sobre los estudios de peligros naturales del entorno. Por lo tanto, es necesario revisar y fijar las bases legales que intervengan en el tema de las remociones, con la intención de sugerir soluciones que sean aplicables a las formas de planificación

urbana. El trabajo de campo fue esencial para la investigación del área de estudio obteniendo imágenes evidentes de la erosión del suelo y aumento de urbanización; cartografía de riesgos y medición temperaturas en diferentes puntos para la obtención de islas de calor, obteniendo los lugares donde hay un incremento en los milímetros de acumulación de agua por precipitación de Enero a Junio de 2012.

Se encontró necesario revisar y fijar bases legales que pueden intervenir en los reglamentos de construcción, Planes de Desarrollo Urbano, leyes de protección al medio ambiente, ya que no solamente afecta a los asentamientos con pérdidas materiales y humanas y la erosión del suelo por el incremento de la urbanización.

Esto se menciona en el Artículo 98 de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente (última reforma publicada DOF 24 04 2012), el cual menciona que “ El uso de suelo asignado al lugar debe ser compatible con su espacio natural y no debe alterar por ningún motivo el equilibrio ecológico de los ecosistemas para mantener la integridad del lugar y la capacidad de producción, evitando la erosión, degradación o modificación de las características topográficas que causen efectos adversos a la zona”.

Se contraponen la redacción de la ley a lo estudiado del lugar, donde emerge la construcción de residencias sin haber estudiado el peligro que representa el habitar en estos lugares.

Se determinó mediante la clasificación de las áreas con alto peligro de deslizamientos por medio de la topografía de la zona de estudio la existencia de peligro bajo en pendientes menores del 10 %, de nivel medio en un 10% a 15%, pendientes con nivel alto de un 15% a 20% y de peligro muy alto en pendientes por encima de un 20% de inclinación, según los cálculos de geomorfología del lugar, por medio de pendientes, geología, edafología y cobertura vegetal del área, como también de datos presentados en

la cartografía del INEGI, Plan de Desarrollo Urbano y Reglamento de construcción del municipio, en donde se menciona que el límite máximo de inclinación apropiado para urbanización es del 41%. Esto representa un problema, ya que las urbanizaciones erosionan el suelo, consumen parte de la cobertura vegetal y esto se convierte en un peligro mayor, en cuanto a las bajantes naturales del agua que han sido modificadas por el crecimiento de los asentamientos.

Se observan problemas en la cartografía elaborada por el IMPLAN (2011), donde las mismas fotografías que se obtuvieron del área de estudio, comparadas con los mapas, la erosión constante del suelo y la emergencia de realizar estudios continuos de la zona, porque se encuentra rebasado en tiempo, de acuerdo al crecimiento de la población y de asentamientos que hay actualmente.

Los datos geomorfológicos fueron introducidos junto con las pendientes y a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG), como el ArcGis, donde se muestran las entidades, tipo de roca y suelo que se encuentran en la zona como la lultita, suelos aluviales y brechas sedimentarias, encontrando la primera como la que conforma al área.

Se revisó la información con la investigación de Chapa Guerrero sobre el análisis de riesgo geológico en el área denominada por el investigador como “curvatura de monterrey”, para reforzar la información obtenida en INEGI, y aplicar datos faltantes.

El riesgo por procesos de remoción en masa se deben a factores geológicos, climatológicos, edafológicos y urbanísticos como, las pendientes pronunciadas, sino también por zonas de suelos aluviales, donde las inundaciones y escurrimientos de gran velocidad se hacen presentes en el área de San Agustín.

El estudio edafológico se determina, al comparar y sobreponer la cartografía actual, donde se observa el área considerada para urbanización, que va mas allá de la zona que se considera apta para construcciones, ocupando así zonas de alto riesgo.

Se anexo el estudio de cobertura vegetal, ya que esto depende del grado de conservación de un lugar, como su afectación en la erosión del suelo. La eliminación de la vegetación natural, provoca el aumento la peligrosidad y el grado de exposición a las remociones en masa por la topografía y tipo de suelo. Esto resulta un grave problema de aspecto urbano, ya que los datos no coinciden con la realidad del lugar; afectando la infraestructura, vivienda, la especie natural de zonas protegidas, conocido como deterioro del paisaje.

Otro dato que se analizó para determinar la estabilidad del clima del área de estudio, fueron las islas de calor. Mediante las islas de calor se tomaron las muestras mediante la selección de puntos de la zona para determinar la temperatura y por medio de herramientas SIG (ArGis), los mapas de isoclinas donde se muestran los puntos con mayor temperatura determinando la estabilidad del punto de análisis.

La incidencia de mayor temperatura se encontró en puntos donde había concentración de edificios verticales habitacionales y comerciales que han ido en aumento en el área, esto comparado mediante fotografías de la zona, entre el año 2008 y el actual 2012.

Coincidiendo con las zonas donde actualmente han existido mayores problemas de proceso geomorfológicos, como deslizamientos de tierra y roca, causando daños materiales y pérdida de vidas, por la inestabilidad del lugar. Los datos que se obtuvieron en cuanto al estudio de la vulnerabilidad de acuerdo a los sistemas físicos, como el área urbana y natural. El sistema social, como la densidad de población, personas con discapacidad, población derechohabiente y personas de lengua indígena, y sistemas de reacción como los sistemas de alerta y protección civil, demostraron que los principales sistemas que afectarían la vulnerabilidad del área de estudio y población, son principalmente los sistemas físicos, como la erosión de suelo y la falta de sistemas de

alerta, a pesar de tener una protección civil, esto con la intención de la eficiente evacuación de personas que se encuentren en riesgo, coincidiendo estos datos en zonas como Lomas del Campestre, San Agustín y Bosques del Valle.

Una de las condiciones que dificultaría la evacuación del área de estudio, son los caminos con altas pendientes y con tendencias a ser destruidos por deslizamientos de rocas y lodo, dificultado los accesos a la población de zonas más altas.

El área de estudio presenta un riesgo potencial por remociones o movimientos en masa, debido a la inestabilidad de la zona y agregando el factor detonante como las precipitaciones intensas, las remociones en masa seguirán sucediendo en el lugar, afectando los asentamientos que se encuentran en el sitio.

Los resultados obtenidos por el análisis sobre el riesgo por remociones en masa se propone que contribuya a la ordenación del territorio y a una posible regulación de lineamientos dentro de los planes de desarrollo urbano de los municipios para prevenir la erosión de suelo, el aumento de asentamientos irregulares en zonas de riesgo y reducir la vulnerabilidad de la población ante este tipo de riesgos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcántara Ayala, I (2000): “Landslides: ¿Deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología”, en *Investigaciones Geográficas*, Abril, No. 41, pp. 7-25.
- Alcántara Ayala, I. (2001): “Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries”, *Geomorphology*, No. 47, pp 107-124.
- Alcántara Ayala, I; Murillo García, F (2007): “Procesos de remoción en masa en México: hacia una propuesta de elaboración de un inventario nacional”, en *Investigaciones Geográficas*; No. 66, México.
- Aneas de Castro,S (2006): En torno al diagnóstico de riesgos, *Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, Universidad de Barcelona, Vol. X, Núm 218 (12).
- Arango, J (2000): Relaciones lluvias-deslizamientos y zonificación geotécnica en la comunidad dos de la ciudad de Manizales, Universidad Nacional de Colombia.
- Ariztazábal, E y Yokota, S (2006): “Geomorfología aplicada a la ocurrencia de deslizamientos en el Valle de Aburrá” en *Dyna*, Julio, Vol. 73, No. 149.
- Atlas de Riesgo del Estado de Nuevo León, Primera Etapa (2010). Secretaría de Desarrollo Sustentable.
- Ayala -Carcedo, F (2000): “La ordenación del territorio en la prevención de catástrofes naturales y tecnológicas. Bases para un procedimiento técnico- administrativo de evaluación de riesgos para la población”, en *Instituto Geológico y Minero de España*. No. 30, pp. 37- 49.

- Beguiría, S; Lorente, A. (1999): “Distribución espacial del riesgo de precipitaciones extremas en el Pirineo Aragonés Occidental”, en *Geographicalia*, No. 37, pp. 17-36.
- Bosque, J; Ortega, A. y Rodríguez, V. (2005): “Cartografía de riesgos naturales en América Central con datos obtenidos desde Internet”, en *Documents d'Análisi Geogràfica*, No. 45, pp. 47-70.
- Bignardello, T. (1997): Proposición metodológica para la evaluación y zonificación integrada de riesgos naturales mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfica, *Revista Norte Grande*, Pontificia Universidad Católica de Chile, Número 24, pp.91-102.
- Castro, C; Bignardello, L; Cereceda, P (1995): “Determinación de áreas con riesgo morfodinámico de San Juan Bautista, Isla Robinson Crusoe, Comuna de Juan Fernández, V Región”, en *Revista Geográfica de Chile, Terra Australis*, No. 40, pp. 43-61 Instituto Geográfico Militar. Santiago Chile.
- Capel Molina, J (1989): “El huracán Gilberto y su evolución en el Caribe, Golfo de México y Norteamérica”, en *Paralelo*, Vol. 37, No. 11-12, pp.7-28.
- Capra, L; Lugo, J; Dávila, N. (2003): Fenómenos de remoción en masa en el poblado de Zapotitlán de Méndez, Puebla: Relación entre litología y tipo de movimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, Vol. 20, Núm. 002, pp.95-106.
- Cardona, O (2003): “The need of rethinking the concepts of vulnerability and risk: A Holistic Perspective: A necessary review and criticism for effective risk management”, en Bankoff, GFG, Hillhost. D. (Ed.) *Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People*. London: Earthscan.

- CENAPRED (2004). “Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos”, en Serie Atlas Nacional de Riesgos, México: Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación.
- CONAGUA (2010): Comunicado de prensa No. 156 -10. México. Comisión Nacional del Agua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONAGUA (2010): Normales Climatológicas. Comisión Nacional del Agua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Chapa Guerrero, J; Meiburg, R; Scheteling, K. (1993): “Riesgos geológicos en la Sierra Madre Oriental (Estado de Nuevo León), México”, pp. 555-566.
- Chivitá Cárdenas, I (2008): “Estimación de la susceptibilidad ante deslizamientos: aplicación de conjuntos difusos y las teorías de la posibilidad y de la evidencia”, en Ingeniería e Investigación, Abril, Vol. 28, No. 1, pp. 26-40.
- Cruden, D; Varnes, D. (1996): “Landslides types and processes”, en Turner, AK y Schurter, RL.(Ed.), “Landslides: investigation and mitigation. Transportation Research board, Special Report”, Washington, DC: National Academy Press, No. 247, pp. 36-75.
- Díaz, S. (2010): “Variabilidad de los ciclones tropicales que afectan a México”, en Interciencia, vol. 35, No. 4, pp. 306-310.
- Diagnóstico para el Plan de Desarrollo Urbano San Pedro Garza García 2030. Instituto Municipal de Planeación Urbana (IMPLAN), Junio 2011.
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD).
- Foschiatti, A (2004): Vulnerabilidad global y pobreza: Consideraciones conceptuales. Universidad Nacional del Nordeste, Argentina.
- Fondo de Desastres Nacionales, FONDEN (2008): “Recursos autorizados 2007”, en Sistema Nacional de Protección Civil, México.

- García, R (2008): Riesgo de inundación por marea de tormenta en el municipio de Cd. Madero, Tamaulipas. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Tamaulipas.
- García, R. (2008): Riesgo de inundación por marea de tormenta en el municipio de Cd.Madero, Tamaulipas. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Abril, pag. 56.
- García Ruiz, JM; Beguería, S; Lorente, A (1999): Eventos hidrológicos de baja frecuencia en el Pirineo central español y sus efectos geomorfológicos, Serie Geográfica.
- Gómez Ramírez, M; (2006): Trayectorias históricas ed los ciclones tropicales que impactaron el estado de Veracruz de 1930 al 2005. Revista Scripta Nova, Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona, Vol. X, No. 218, Agosto.
- Guenni, L; Degryze, E; Alvarado, K. (2008): “Análisis de la tendencia y estabilidad de la precipitación, mensual en Venezuela”, en Revista Colombiana de Estadística, Vol. 31, No. 1, Junio, pp. 41-65.
- Gumbel, E (1941): The return period of flood flows, Anuals of Mathematical Statistics, Vol. 12, No. 2. Págs. 163-190.
- Hurrell, J. (1995): “Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation”, en Science, No. 296, pp. 676-679.
- INEGI (2010). Censo de población y vivienda 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI (2010): Guía para la interpretación de cartografía, Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

- INEGI (2010). Cartografía Geológica G14C25. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- IPCC (2007): “Cambio climático 2007”, en Informe de síntesis, Intergovernmental Panel on Climate Change, Ginebra.
- Ley General de Equilibrio y Protección al ambiente. Diario Oficial de la Federación, 28 de Enero de 1988. Última reforma aplicada 2012.
- Mansilla, E. (2000): Riesgo y ciudad, Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mardones, M; Vidal, C. (2001): “ La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción” en Revista Latinoamericana de Estudios Urbanos y Regionales (EURE), Vol. 27, No. 81, pp. 97 -122.
- Martínez, J , Fernández, A. (2004): Cambio climático: una visión desde México, Ciudad de México, Instituto Nacional de Ecología.
- Matías Ramírez, L; Oropeza Orozco, O; Lugo Hubp,J; Cortés Vázquez, M y Jauregui Ostos; E. (2007): Análisis de las principales causas de las inundaciones de Septiembre de 2003 en el sur de estado de Guanajuato, México. Investigaciones Geográficas, No. 064, págs.7-25.
- Méndez González, J; Návar Chíadez, J; González Ontiveros, V. (2008): “Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México”, en Investigaciones Geográficas, No. 65, pp. 38 -55.
- Muñoz, B; Conde, R; Rincón, J (1991): “Evaluación de riesgos por urbanización en zonas montañosas de Monterrey, NL”. Universidad Autónoma de Nuevo León, Ingeniería Civil, Abril.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM)

Organización de las Naciones Unidas (ONU)

Perles, M. J; Vías, J; Andreo, B. (2009): Vulnerability of human environment to risk: case of groundwater contamination risk. *Environment International*, 2009, Vol. 35, Núm. 2, págs. 325-335.

Peña, F y Mardones, M. (1999): “Planificación ecológica en el curso inferior del Rio Itata”, en *Revista Geográfica de Chile: Terra Australis*, No. 44, pp. 45-62.

Plan de Desarrollo Urbano Municipal de San Pedro Garza García, NL. 2024. (Actualización 2010).

Plan Municipal de Desarrollo 2006-2009. San Pedro Garza García, N.L.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

Reglamento del Plan Parcial de Desarrollo Urbano, 1990-2010. San Pedro Garza García, Nuevo León.

Rodríguez, J (2007): “La conformación de los “desastres naturales: Construcción social del riesgo y vulnerabilidad climática en Tijuana, B.C””, en *Frontera Norte*, Vol.19, No. 31, pp: 83-112.

Sánchez-González, Diego (2011): “Precipitaciones extremas y sus implicaciones en procesos de remoción en masa en la planificación urbana de Tampico, México”, en *Cuadernos Geográficos*, N° 48, 2011-1, Abril-Septiembre, pp. 135-159.

Scheidegger, A. (1994). “Hazards: singularities in geomorphic systems”. *Geomorphology*, No. 10, pp 19–25.

Secretaría de Gobernación, FONDEN (2008): Recursos autorizados 2007, México: Fondo de Desastres Nacionales, Sistema Nacional de Protección Civil, Secretaria de Gobernación, 2008.

- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (1997): Dictamen del reglamento sobre usos de suelo y construcción en la zona de montaña. San Pedro Garza García, Nuevo León, Agosto.
- Tarlet, J. (1984). La planification ecologique. Méthodes et Techniques, París: Editorial Económica.
- Tumini, I (2006): Estrategias para reducción del efecto isla de calor en los espacios urbanos. Estudio aplicado al caso de Madrid. Sustainable Building Conference. Madrid, España.i
- Villatoro, M; Henríquez, C; Sancho, F (2008): Comparación de los interpoladores IDW y KRIGING en la variación espacial de PH, CA, CICE y P del suelo. Agronomía Costarricense, No. 32, págs. 95-105.