

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFÍA



CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA E INUNDACIONES EN LA CIUDAD DE MONTERREY

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

ISAAC QUIJADA MENDOZA

ASESOR: JOSÉ JUAN ZAMORANO OROZCO



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatorias

A mi mamá, Elvia, a mi papá Ernesto y a mis hermanos Arturo y Cuauhtémoc porque con su amor y ejemplo me han hecho seguir adelante y convertirme en quien soy. Sin duda no habría llegado a este momento sin ustedes.

A mi sobrino Alex, quien llegó en la última parte de esta etapa y que con sus sonrisas alegra hasta al más ogro, o sea yo. Y por supuesto a mi cuñada Nancy quien desde hace algunos años forma parte de nuestra familia.

A Yessica, gracias por estar conmigo durante este tiempo, tu amor y apoyo son importantes en mi vida y fueron fundamentales para concluir este trabajo.

Gracias por ser pilares de mi vida y no olviden que los amo.

Agradecimientos

Al Dr. José Juan Zamorano asesor de esta tesis, quien me brindó todo su apoyo y permitió ser parte de su equipo de trabajo donde aprendo innumerables cosas tanto académicas como de la vida.

A los sinodales de este trabajo: Mtro. Sergio Salinas Sánchez, Dr. Osvaldo Franco Ramos, Mtro. Frank Gustavo García Rodríguez y al Dr. Jesús Abraham Navarro Moreno. Quienes se tomaron el tiempo y dedicación de revisar esta tesis y que con sus observaciones permitieron mejorarla.

Al Dr. Álvaro Sánchez Crispín que me ha permitido aprender de él con cada práctica que compartimos, porque *somos geógrafos del mundo, no sólo de México*.

A mis amigos del Instituto de Geografía: Adolfo, Sergio, Carlo, Raúl, Osvaldo, Daniel, Agustín, Guillermo, Miguel, Juan Carlos, Armandito, Baby Face, Carlos, Arlette, Pedro, Kevin y Ernesto. Compañeros de conocimiento, risa, deporte, bebida y momentos de tensión.

A las excelentes personas y ahora amigos, que conocí durante mi formación en la licenciatura: Benjamín, Carla, Carlos, Juan Luis, Lorena, Celia y Juan de Dios.

A mis amigos de la Prepa 4 que estuvieron conmigo al inicio de este *viaje universitario*: Yeudiel, Pablo, Axel, Areli, Iván y Morgan. Y a Carmen, mi pequeña *hermana*.

A mis tías: Graciela, Virginia, Juana y Paula. Que siempre están al pendiente de mí.

A la familia Turcott que me permitieron compartir excelentes momentos, como si fuera uno de ellos.

Al Instituto de Geografía y a todas las personas que laboran en él, en especial a Juanito, Alex, Sofi, Karen y a toda la unidad administrativa que siempre me ayudaron y facilitaron mi paso por esta gran institución.

Al Dr. David Palacios Estremera quien, a través del Grupo de Investigación en Geografía Física de Alta Montaña de la Universidad Complutense de Madrid, me permitió participar en el proyecto *El calentamiento de las montañas: Geocronología y efectos ambientales de la Deglaciación de las áreas de altas montañas (CGL2015-65813-R)*, e involucrarme en los trabajos de campo en México.

Al Programa de Becas para Titulación – Exalumnos de Alto rendimiento.

Y, por último, quiero agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México. Lugar en el que he aprendido no sólo cuestiones académicas, también de la vida y que llevaré con orgullo a todos los lugares donde tenga oportunidad de estar.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo I. Marco Físico – Geográfico	4
1.1 Localización	4
1.2 Clima	5
1.2.1 Temperatura.....	7
1.2.2 Precipitación.....	8
1.3 Fenómenos meteorológicos extremos (frentes fríos y ciclones).....	9
1.4 Hidrografía.....	10
Capítulo II. Inundaciones históricas en la ciudad de Monterrey	12
2.1 S. XVII: 1612 a 1648	12
2.2 S. XVIII: 1716 a 1782.....	14
2.3 S. XIX: 1810 a 1881	17
2.4 S. XX: 1909 a 1988	26
2.5 S. XXI: 2000 a 2010	41
Capítulo III. Aspectos geológicos	45
3.1 Tectónica de la Sierra Madre Oriental.....	45
3.2 Geología de la ciudad de Monterrey.....	50
Capítulo IV. Aspectos morfométricos de la zona de estudio	56
4.1 Morfometría.....	56
4.1.1 Altimetría	56
4.1.2 Inclinación del terreno	58
4.2 Unidades mayores del relieve.....	60
Capítulo V. Geomorfología	65
Relieve endógeno modelado.....	68
Relieve exógeno	71
Relieve antrópico	109
Conclusiones.....	114
Bibliografía.....	117

Introducción

La ciudad de Monterrey se localiza en un territorio donde coinciden las Provincias Fisiográficas Sierra Madre Oriental y la Llanura Costera del Golfo Norte, cada una con diferente origen, composición litológica, edad y morfología, características que tienen reflejo en complejas relaciones entre los diferentes componentes de la naturaleza y los asentamientos humanos. Este vínculo en la zona de estudio no es favorable cuando se suman eventos meteorológicos extremos (ciclones), en esta situación de contingencia se originan inundaciones, fenómeno que representa una amenaza para la población.

Las inundaciones en Monterrey son un fenómeno recurrente a lo largo de su historia, la primera referencia documentada fue publicada en 1612 y la última de gran magnitud, es la asociada al huracán Alex en 2010. La ocurrencia de este fenómeno, no solo se asocia a factores climáticos, también han influido las modificaciones del curso del río Santa Catarina y los terrenos adyacentes como resultado de la expansión urbana, proceso que inicio en 1577 con la fundación de la ciudad, y que continua en nuestros días.

Este trabajo tiene como objetivo elaborar una cartografía geomorfológica a detalle (1:20 000), bajo un criterio morfogenético que permita relacionar la evolución del relieve y su dinámica, con las inundaciones en la zona urbana de Monterrey. En este sentido, también se probó el alcance de los datos LiDAR y sus distintos tratamientos para la interpretación del relieve.

El trabajo inició con una revisión bibliográfica especializada; de esta manera, se tuvo un panorama amplio sobre aspectos geográficos, geológicos y sociales de la zona de estudio. En esta revisión se consideró información climática, hidrográfica, tectónica, geológica e histórica; ésta última, de relevancia en la interpretación geomorfológica y la dinámica fluvial.

En el análisis morfométrico se tomó en cuenta los criterios de Simonov (1985 y 1999), Lugo (1988) y Zamorano (1990). Con este fin se elaboró el mapa altimétrico y de inclinación del terreno. El estudio conjunto de estos documentos, permitió

establecer las regiones geomorfológicas y con ello identificar los mecanismos dinámicos y de evolución del relieve.

El análisis geomorfológico se elaboró a partir de la interpretación de un modelo sombreado obtenido de datos LiDAR y ortofotos, ambos escala 1: 10 000 (INEGI 2007 y 2012). Este nivel de detalle permitió interpretar de manera precisa las formas de relieve encontradas en la zona de estudio.

Una vez obtenido el mapa preliminar, se procedió a la vectorización en el SIG ArcMap 10.5 y a realizar una clasificación genética de las formas de relieve interpretadas, de acuerdo con los criterios de Bashenina (1977) y Simonov (1985).

Este trabajo se divide en los siguientes apartados:

Capítulo I. Marco Físico – Geográfico

Se analizan las características físicas de la región, con el fin de conocer las condiciones naturales de la zona de estudio.

Capítulo II. Inundaciones históricas en la ciudad de Monterrey

Se realiza una recopilación y análisis de crónicas y cartografía histórica vinculada con las inundaciones en la ciudad de Monterrey, con el fin de explicar los eventos actuales.

Capítulo III. Aspectos geológicos

Se analiza la información actualizada con temática geológica y tectónica a nivel regional y local. Estos aspectos son el punto de partida en la interpretación morfométrica y geomorfológica.

Capítulo IV. Aspectos morfométricos de la zona de estudio

Se realiza una caracterización cuantitativa de las formas de relieve, con el fin de determinar la dinámica erosiva o acumulativa de la zona de estudio y se realizar una primera regionalización geomorfológica.

Capítulo V. Geomorfología

Se analizan las formas de relieve resultantes de la interpretación del modelo sombreado y ortofotos para su posterior representación en un mapa geomorfológico en donde se toma en cuenta génesis, morfología, evolución y dinámica, en particular con las inundaciones.

Capítulo I. Marco Físico – Geográfico

1.1 Localización

El área de estudio pertenece a la Zona Metropolitana de Monterrey, las coordenadas que la limitan son los 25° 38' - 25° 42' N y los 100° 11' - 100° 27' W; la altitud promedio es de 537 msnm. Este territorio es parte de una zona de transición entre las Provincias Fisiográficas Sierra Madre Oriental (SMOr) y Llanura Costera del Golfo Norte (Fig. 1). La primera, corresponde a un relieve de montaña con altitudes e inclinaciones variadas, está formada por sedimentos marinos del Mesozoico. Su orientación en general es SSE-NNW, pero a la altura de la capital de Nuevo León y de manera abrupta cambia de dirección a E-W, hecho que se conoce como *La Curvatura de Monterrey*.

La Llanura Costera del Golfo Norte, está formada por depósitos sedimentarios marinos del Terciario, es una superficie amplia y homogénea con morfología sub-horizontal, ondulada y ligeramente inclinada hacia el este. Esta superficie se encuentra cubierta por mantos detríticos recientes, de espesor variable y asociados al acarreo fluvial (León et al., 1998).

La particularidad de la zona de estudio es su localización, el hecho de encontrarse en la frontera entre Provincias Fisiográficas, le imprime variedad litológica, contrastes morfológicos e intensidad de procesos de modelado (dinámica). Estas condiciones, sumadas a la influencia de los vientos alisios y ciclónicos del NW del Golfo de México, hacen que se tengan las condiciones para que se generen lluvias intensas, en la zona de montaña y se presenten inundaciones en los terrenos bajos, donde la Ciudad de Monterrey se asienta (Cervantes-Zamora et al., 1990).

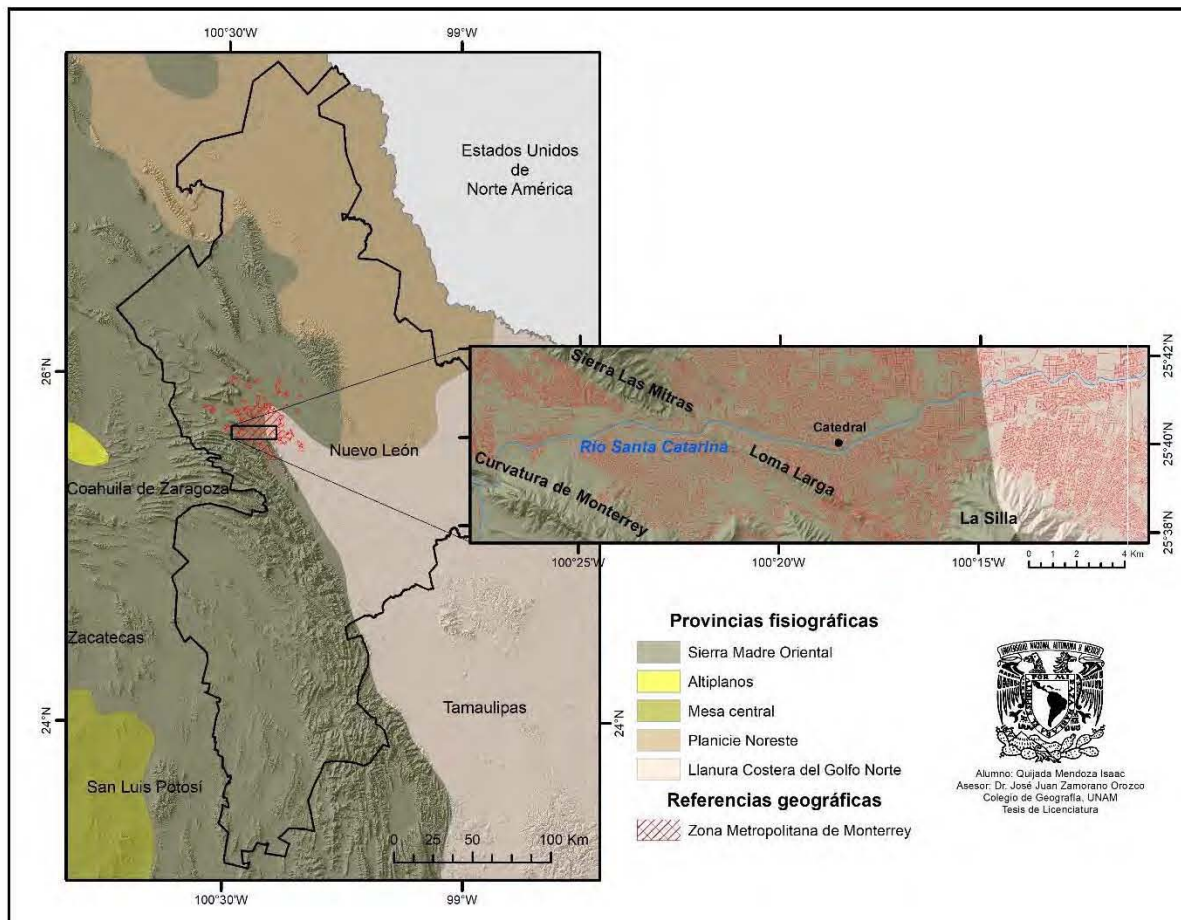


Figura 1. La zona de estudio ocupa el sector centro-oeste del estado de Nuevo León y es parte de la Zona Metropolitana de Monterrey. Este territorio hace frontera las Provincias Fisiográficas Sierra Madre Oriental y Llanura Costera del Golfo Norte (Zamorano-Orozco et al., 2016).

1.2 Clima

En Nuevo León dominan los climas secos y semisecos con importantes oscilaciones térmicas, debido a la escasez de vapor de agua en la atmósfera (Contreras, 2007). En la zona de estudio existen las siguientes variantes climáticas: semicálidos, semiáridos y áridos (CONABIO, 1998), las características de cada uno de ellos se presentan a continuación (Fig. 2):

- (A)C(w)- Semicálido-subhúmedo del grupo C: La temperatura media anual es $> 18^{\circ}\text{C}$ y la del mes más frío es $< 18^{\circ}\text{C}$. Mientras la del mes más cálido sobrepasa los 22°C . Con respecto a la precipitación, es < 40 mm en el mes

más seco y el porcentaje de lluvia invernal varía del 5% al 10.2%, del total anual.

- BS1(h')w- Semiárido-cálido: La temperatura media anual es $> 22^{\circ}\text{C}$ y el mes más frío no sobrepasa los 18°C . Las lluvias de verano y su porcentaje invernal del 5% al 10.2% del total anual.
- BS1hw- Semiárido-semicálido: La temperatura media anual es $> 18^{\circ}\text{C}$, y el mes más frío no sobrepasa los 18°C , mientras que el más cálido es $> 22^{\circ}\text{C}$. Las lluvias de verano y su porcentaje invernal varían de 5% a 10.2% del total anual.
- Bsohw- Árido-semicálido: La temperatura media anual no sobrepasa los 22°C , el mes más frío se mantiene por debajo de 18°C y el más cálido es $> 22^{\circ}\text{C}$. Las lluvias en verano y su porcentaje invernal varía de 5% a 10.2% del total anual.

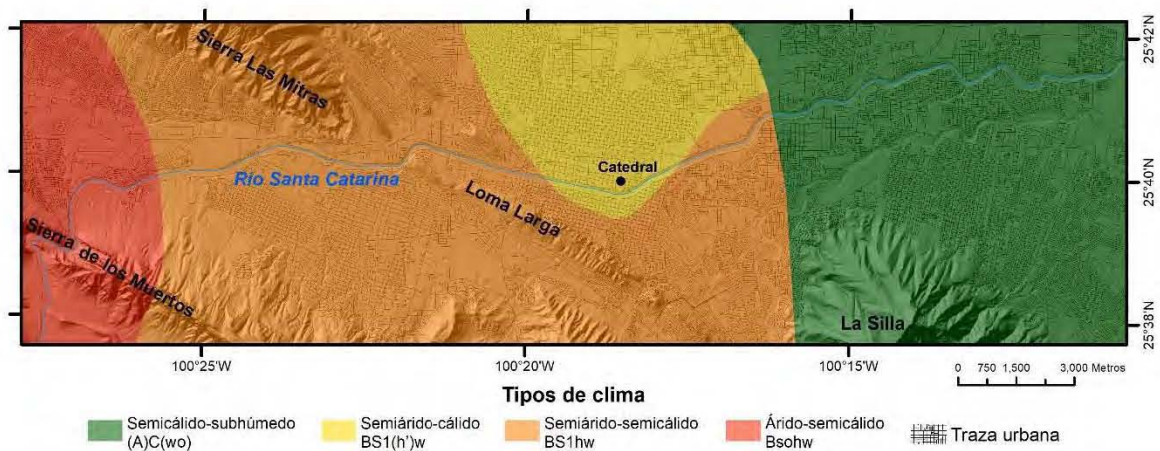


Figura 2. Mapa de clima de la zona de estudio, se observa un aumento de las condiciones de humedad de W a E (CONABIO, 1998).

El clima en la zona de estudio tiene influencia del viento húmedo que proviene del Golfo, así como de la orientación de los sistemas montañosos que influyen en su circulación. Esto hace que el sector oriental sea más húmedo mientras que el

occidental sea más seco, como respuesta al efecto barrera que ejercen las sierras al impedir el paso de las masas de aire al interior del continente.

1.2.1 Temperatura

Este factor está condicionado por la altitud, por esta razón se distribuye por *pisos* térmicos; el más frío (al Sur), se presenta entre 600 y 1400 msnm; la temperatura media anual entre 18°C y 20°C. Estas condiciones son características de las estribaciones de la Sierra Madre Oriental (Fig. 3).

El sector central, entre las cotas de 500 y 600 msnm, se considera una zona de transición térmica, donde la temperatura media anual varía ente 20°C y 22°C. Estas condiciones son características de los extensos y poco inclinados piedemontes, así como de algunas elevaciones aisladas que interrumpen la continuidad de este paisaje (Fig. 3).

La zona más cálida se localiza al NE, su altitud no sobrepasa los 500 msnm y la temperatura varía entre 22-24°C. Estas características corresponden con superficies sub-horizontales, ligeramente onduladas e inclinadas al NE, estos terrenos forman parte de la Llanura Costera del Golfo Norte (Fig. 3).

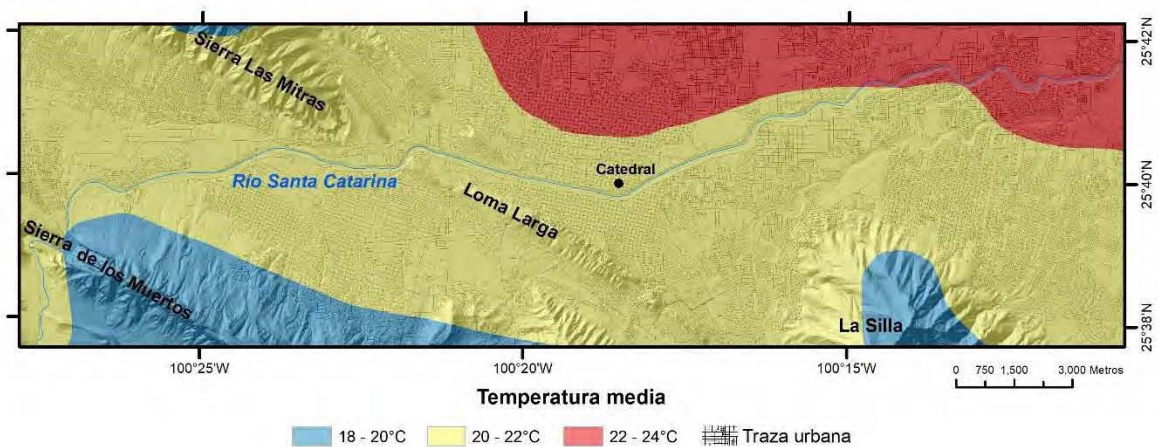


Figura 3. Mapa de temperaturas medias anuales de la región de Monterrey (CONABIO, 1998).

1.2.2 Precipitación

La circulación local del viento y la orientación de los sistemas montañosos condicionan la distribución de la precipitación. En la figura 4, se observa que el territorio con mayor lluvia es el del oriental, donde existen las elevaciones de mayor altitud que al captar los vientos húmedos provenientes del Golfo (lluvias orográficas), dan como resultado una media anual de 600 a 800 mm.

Con 400 - 600 mm de lluvia (promedio anual) el centro y el extremo NE de la zona de estudio (Fig. 4), presentan una disminución notoria. En este hecho interviene la distribución de los conjuntos montañosos (500-700 msnm). Estos al interrumpir la continuidad de la planicie, a manera de crestas aisladas, impiden la circulación de los vientos húmedos al interior del continente, en este sentido, se favorecen la presencia de lluvias, solo en las vertientes de sotavento.

La continentalidad de la porción occidental hace que las condiciones sean adversas a la precipitación, a esta característica se suma la orientación de las montañas, que tiene el mismo efecto ya explicado. Condiciones que mantienen un rango de precipitación entre 125 - 400 mm anuales (Fig.4).

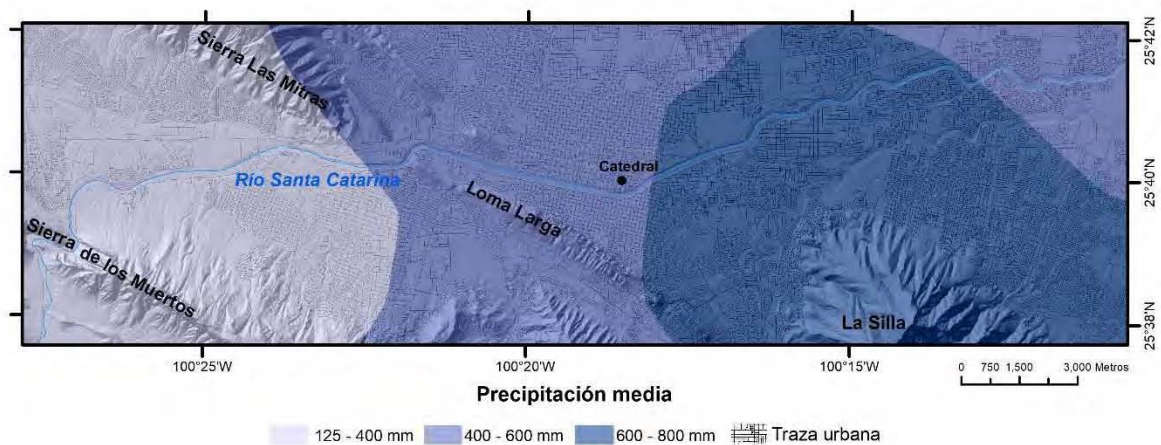


Figura 4. Mapa de Precipitación media anual de la zona urbana de Monterrey (CONABIO, 1998).

1.3 Fenómenos meteorológicos extremos (frentes fríos y ciclones)

El territorio que ocupa la Ciudad de Monterrey se encuentra expuesto a perturbaciones atmosféricas provenientes del Golfo de México, por tanto, las lluvias extraordinarias son provocadas por los ciclones, son un factor a considerar como un peligro para el asentamiento más importante del estado, en particular, por efecto de inundaciones.

Las inundaciones en Monterrey se asocian con lluvias torrenciales de diverso origen (estacional, frente frío, tormenta tropical o ciclones), a estas características se suma la existencia de una superficie subhorizontal-ondulada y ligeramente inclinada, que permite el libre flujo del agua cuando desborda la llanura aluvial que la contiene.

Por otro lado, los asentamientos humanos, así como su expansión y diseño urbano, son factores que condicionan o magnifican los efectos las inundaciones, a partir del entubamiento, desvío o canalización de los cauces fluviales, lo que favorece que en temporada de crecidas el agua de lluvia escurra por las calles y se estanque en donde las construcciones impidan su movimiento o donde el relieve es más deprimido. Este hecho se ve agravado por la falta de una red de drenaje eficiente y un exceso de basura que obstruye desagües y coladeras.

En este marco, se deduce que el periodo de peligro potencial por inundaciones en Monterrey y en Nuevo León, en general, ocurre de julio a octubre durante la temporada lluvias estacionales, ciclones-tormentas tropicales y frente frío (Contreras, 2007). Las lluvias estaciones tienen su origen con la temporada húmeda del año (julio-octubre), se caracterizan por ser de carácter torrencial, larga duración y descargas > 300 mm.

Los ciclones-tormentas se asocian a perturbaciones atmosféricas que se originan entre los 5°-15° de latitud norte. En este sector, la temperatura del océano es mayor a 26°C, hecho que favorece el desarrollo de lo que se conoce como onda tropical. La evolución de este fenómeno se denomina ciclón y se entiende como una masa de aire cálida y húmeda con vientos fuertes que giran en forma de espiral alrededor de una zona central (CENAPRED, 2014).

La figura 5, muestra la trayectoria de ciclones desde 1851 hasta el 2013. Múltiples trayectorias han intersectado con el estado de Nuevo León, de esta manera se hace evidente la vulnerabilidad de la Ciudad de Monterrey a presentar lluvias intensas asociadas a este tipo de eventos y sus efectos directos, inundaciones, procesos de ladera y azolves.

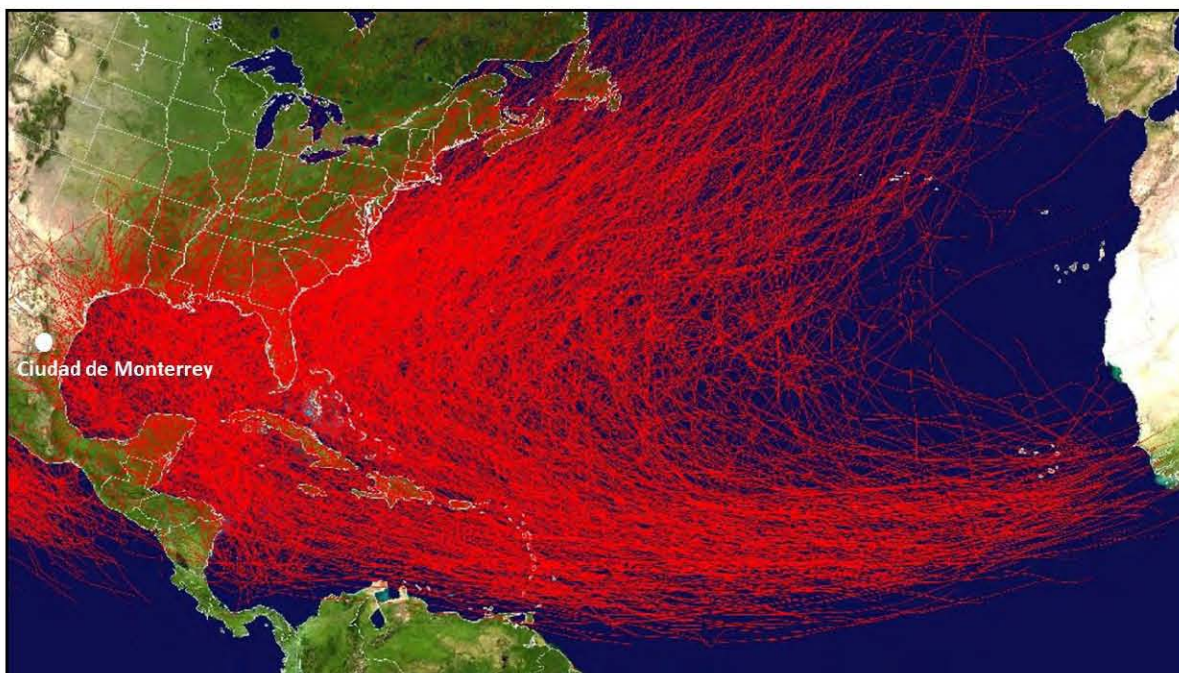


Figura 5. Trayectorias de ciclones tropicales de 1851 – 2013, se puede observar que la región de Monterrey forma parte de la ruta de estos fenómenos (NOAA, 2016).

Los frentes fríos son masas de aire polar provenientes del norte, de ahí su nombre. Cruzan el Golfo de México y producen intensas lluvias; para el caso de Monterrey, este fenómeno toma importancia desde julio hasta octubre, época en que se generan lluvias torrenciales y los posibles peligros asociados a la precipitación abundante (Rosengaus et al., 2002).

1.4 Hidrografía

La zona de estudio es parte de la cuenca media del río Santa Catarina, cauce que tiene su origen en la Sierra Madre Oriental, en las cercanías del poblado Tarillal, entre Coahuila y Nuevo León.

El río Santa Catarina es un afluente del sistema Bravo-San Juan, esta cuenca ocupa 224 257 km² solo en el estado de Nuevo León (INEGI, 2009). El sector que se estudia del río Santa Catarina ocupa 238 km² del total de la cuenca, sus principales afluentes dentro de la zona urbana de Monterrey son: Obispo, La Silla y San Agustín (Fig. 6). Estos últimos cuentan con numerosos escurrimientos secundarios, que en la mayoría de los casos no conectan con los afluentes mencionados, esto debido a modificaciones en la dirección del curso, canalización, entubamientos o desaparición por relleno y construcción de desarrollos urbanos.



Figura 6. Río Santa Catarina y afluentes principales, en el sector central de la Zona Metropolitana de Monterrey (Elaboración propia con base en INEGI, 2009).

Las características físicas de la zona de estudio permitieron entender la interacción entre el relieve (topografía), el clima (temperatura y precipitación) y el comportamiento de los ríos ante fenómenos meteorológicos extremos. Otro aspecto que quedó claro fue la importancia de la posición geográfica de este territorio y su influencia en la recurrencia de las inundaciones. El análisis geográfico general, nos permitió detectar los elementos involucrados, y su importancia, en la dinámica geomorfológica vinculada con las inundaciones.

Capítulo II. Inundaciones históricas en la ciudad de Monterrey

2.1 S. XVII: 1612 a 1648

La ciudad de Monterrey tuvo dos asentamientos previos a su actual fundación, el primero de ellos ocurrió en 1577 por el sacerdote portugués Alberto del Canto y se llamó Valle Santa Lucía. El segundo, ocurrió cinco años después en 1582, recibió el nombre de San Luis Rey de Francia y lo estableció Luis de Carvajal, también portugués y a quien se considera el primer colonizador del Nuevo Reino de León.

El 20 de septiembre de 1596, Don Diego de Montemayor funda la Ciudad Metropolitana de Nuestra Señora de Monterrey, en honor a Don Gaspar de Zúñiga y Acevedo, conde de Monterrey en Galicia y en ese tiempo, Virrey de la Nueva España (Flores-Salazar, 2010). La ciudad se funda en el mismo lugar donde se habían realizado los dos asentamientos anteriores, de tal manera que se aprovechó la traza urbana y algunas construcciones que estaban abandonadas.

La primera noticia sobre inundaciones en la actual Monterrey se tiene 16 años después de su fundación. Alonso de León primer cronista de la ciudad, en 1612 la reporta. En ella se menciona que el sector norte de la ciudad fue el más afectado a tal grado que los habitantes se trasladaron a la porción sur del asentamiento, mismo que al parecer estaba en una posición más elevada y libre del impacto fluvial. El texto original que relata esta situación es el siguiente (Flores-Salazar, 2010):

... hubo una avenida en la cañada del ojo de agua, que derribó la mitad de las casas de la ciudad; [sic] con que resolvió la justicia mayor pasar a la parte del Sur, por ser más alta que la Norte ...

Flores-Salazar (2010) compila información sobre posteriores inundaciones, en este marco, el siguiente evento importante ocurre en 1636, veinticuatro años después de la primera crónica. Es importante señalar que, en la descripción del fenómeno, se hace referencia a la lluvia torrencial (*cataratas del cielo*), la inundación (reventazones) y por primera vez a los procesos de ladera (*desgajándose...*) como se lee a continuación:

Fue la misericordia de Dios tan grande, que cuando menos daño pudo recibir la gente, envió tanta agua, el mes de septiembre del año treinta y seis, que parece se abrieron las cataratas del cielo y rompieron las fuentes del abismo de las sierras, según las bocas por ella reventaron...desgajándose de las sierras las peñas, en las reventazones que hacia el agua, causando pavor y miedo [sic]. Derribó todas las casas de Monterrey y las iglesias, dejándolo hecho un desierto. La villa de Cerralvo quedó de la misma suerte cayéndose la iglesia y demás casas...

El evento de 1642 se asocia con un *norte*; de acuerdo con la descripción del suceso, se infiere que los daños fueron materiales y la población pudo ponerse a salvo sin problema al ocurrir el desastre de día, aunque no se precisa la hora.

En el año de cuarenta y dos, apretaron, el mes de septiembre, las aguas con nortes, en esta villa, que traspasaba las tapias. Cayéronse en ellas las más de las casas, sin daño a la gente, por ser de día...

La descripción de la inundación de 1644, es muy escueta, pero permite deducir que existía una traza urbana, que no estaba de acuerdo con la morfología del terreno o bien, los pobladores se asentaron en terrenos no aptos para evitar la inundación (llanuras de inundación o depresiones). Esta idea surge cuando se lee “*derribando las casas que topaba*”, situación que es posible cuando la corriente se encauza en una depresión y genera la fuerza suficiente al aumentar su velocidad, y por tanto su poder destructivo sobre construcciones que se encuentren en su paso natural (canales, surcos, cañadas, barrancos o valles estrechos). Lo contrario ocurre cuando la inundación es un manto, en este caso, la energía del agua se disipa y no se tiene la energía para derribar y de presentarse colapsos, estarán asociados a una construcción deficiente.

La comparación con el mar como resultado de esta inundación, pone en evidencia la presencia de un relieve subhorizontal, que no representa obstáculo para los desbordes y acumulación del agua fluvial. De alguna manera, esta parte del relato

apoya la idea anterior, que las construcciones derribadas estaban en terrenos no aptos para construir (depresiones). El texto original se escribe a continuación:

En el año de cuarenta y cuatro cayó un aguacero en las faldas de la sierra de San Gregorio, vertiente de la villa de Cerralvo... enbistió [sic] a la villa; derribando las casa que topaba, haciéndolo todo un mar...

La inundación de 1648 tiene su origen en una lluvia torrencial con influencia de un norte, este aspecto se deduce por la fecha de ocurrencia del evento. Otro dato que llama la atención es la asociación de este tipo de fenómenos con los años bisiestos (*Achaque es de los años bisiestos...como por experiencia se ha visto*). Afirmación que es válida desde la primera referencia hecha en 1612 hasta la de 1648, hay un solo dato que no coincide, el evento de 1642. También es importante destacar que de 1612 a 1636, existen 24 años sin ningún tipo de información. No obstante, esta situación hace suponer la existencia de un periodo de recurrencia de cuatro años, aunque este modelo no se mantiene a lo largo de la historia. El texto original es el siguiente:

Este año de cuarenta y ocho, miércoles dos de septiembre, fue tanta el agua que bajo de la sierra por la cañada referida...asolando los edificios y peligrando la más de la gente: por sobrevivir a las once de la noche, cuando la turbación fuera mayor el daño... Achaque es de los años bisiestos...como la experiencia se ha visto.

2.2 S. XVIII: 1716 a 1782

Pasaron 68 años para tener noticias de una inundación, 1716 sin embargo, no se cuenta con un relato o dato adicional (Flores-Salazar, 2010). Treinta y seis años después, en 1752 se menciona otro evento sin dar detalles de lo ocurrido (Flores-Salazar, 2010). Estas dos fechas cubren un periodo de poco más de un siglo, es difícil pensar que durante este tiempo el río no desbordara. Posiblemente los daños de las crecidas no fueron significativos y solo hacen referencia a los eventos más catastróficos.

Un mapa elaborado por Urrutia en 1767 muestra la distribución que tenía la ciudad de Monterrey, después de la inundación de 1752. El asentamiento se localiza en la ribera septentrional del río principal, sobre una llanura aluvial subhorizontal-ondulada e inclinada al norte, las construcciones no son numerosas y se encuentran dispersas. Los campos de cultivo son el elemento que predomina en la representación y están localizados entre las dos fuentes principales de agua, el *Arroyo* al norte y al sur el Río Monterrey, actual Santa Catarina. De esta manera, estaba asegurado el abasto de agua para fines agrícolas. Con el fin de un mejor aprovechamiento del recurso se construyeron canales de regadío (acequias), lo que significó modificar el relieve (Fig. 7 A).

La importancia del mapa de 1767 radica en que muestra los cambios más tempranos realizados sobre la planicie fluvial, en particular, la construcción de dos acequias de regadío, dispuestas de manera paralela al cauce principal. Si bien, este tipo de obra facilitaba la práctica agrícola, también, permitía en periodos de lluvia extraordinaria, la entrada de excedentes de agua a los terrenos del interior, lo que retardaba el flujo magnificando la inundación.

La figura 7 B, muestra sobre un mapa actual de la ciudad de Monterrey, la distribución de los elementos más significativos de la cartografía de 1767. Entre ellos destacan los humedales asociados con la existencia de los *ojos de agua*, las acequias para regadío y sobre todo la posición que tenía la margen norte del llamado río Monterrey, todo esto con respecto al actual (Santa Catarina). En este sentido, se observa un cambio en el límite del borde aluvial norte de 1767, de 30 m en dirección sur a la altura de la av. Benito Juárez y de 230 m al sureste frente a la calle Juan Ignacio Ramón.

Las modificaciones al relieve iniciaron por la necesidad de aprovechar el agua del río, en un ambiente árido; por otro lado, el crecimiento y consolidación de la ciudad, fue agotando los terrenos *planos* y con esto, se dio paso a los rellenos, nivelaciones y graderías con fines de construcción. Con el paso del tiempo se llegó a cambiar el curso del río Monterrey (Santa Catarina), lo que provocó una dinámica adversa para

la población, por lo que se requirió de una infraestructura de protección contra las crecidas del río.

Después de la inundación de 1752 se tiene referencia de una inundación más, pero de ella sólo se conoce el año en que ocurrió, siendo 1782.

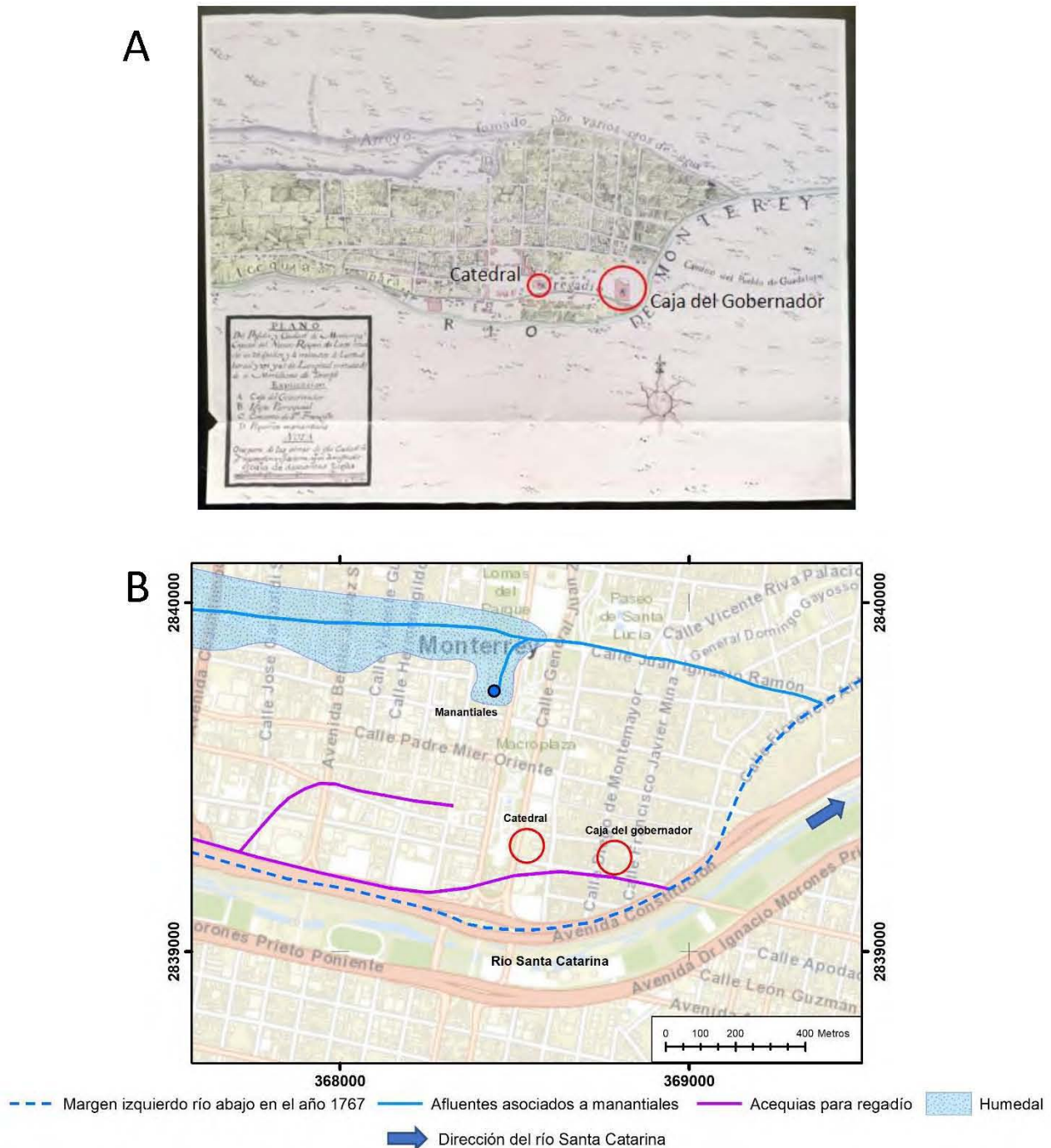


Figura 7. (A) Mapa de la Ciudad de Monterrey elaborado por Urrutia en 1767; (B) Comparación de la cartografía antigua (Urrutia, 1767) con un mapa urbano actual (Fuente: O. S. M., 2018).

2.3 S. XIX: 1810 a 1881

Después de la inundación de 1782, ocurrieron dos más en los años 1810 y 1833, y no se tienen más datos al respecto (Flores-Salazar, 2010). Este periodo suma 51 años y en este lapso es difícil creer que solo se presentaran tres eventos. Es posible que información de este tipo, se haya perdido o se le restó importancia, tanto por los movimientos sociales que ocurrían en el país. Este periodo coincide con el movimiento de Independencia.

La magnitud que tuvieron las tres inundaciones se puede deducir a partir de la interpretación de un mapa realizado 25 años después de la inundación de 1833. Esta cartografía se publicó en 1854, de su autor solo se conocen sus iniciales MR y forma parte de la mapoteca Manuel Orozco y Berra del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Gobernación, México.

La figura 8 A, muestra el mapa de la Ciudad de Monterrey realizado por MR en 1854. En este documento se observa una estructura urbana consolidada, tipo *tablero de ajedrez*, en donde se percibe mayor detalle y exactitud en la ubicación de edificios, trazo de calles, puentes, entre otros elementos, mismos que permitieron ubicar las acequias de regadío y la llanura de inundación del todavía llamado río Monterrey, en una base cartográfica reciente.

En el mapa de 1854 llama la atención el diseño y longitud de las acequias de regadío, dichas construcciones recorren las zonas de cultivo, atraviesan el sector oriente de la ciudad, para unirse a dos ríos que drenan el agua proveniente de una zona de manantiales que existían dentro de la zona urbana de Monterrey (Fig. 8 B). En la construcción de esta obra se modificó la morfología del terreno, es decir, se niveló una amplia superficie con el fin de facilitar su paso a las zonas agrícolas y evacuar el excedente a través de los dos escurrimientos naturales hacia el río Monterrey.

La ciudad quedó rodeada en su totalidad por corrientes de agua, artificiales al norte (canales) y naturales al sur (río Monterrey), de esta manera la vulnerabilidad y el peligro de inundación aumentó debido a dos factores, primero relativo con la entrada

del agua hacia los terrenos agrícolas del interior, que es incontrolado en la época de crecidas, por lo que el excedente fluvial ocupa superficies que de forma natural no se anegarían y su permanencia es más larga, esto provoca un mayor impacto para la población, en particular, en el sector norte de Monterrey (Fig. 8 B).

El segundo factor está vinculado con la llanura de inundación, en el mapa de 1854 destaca su amplitud: a la altura de lo que sería la actual avenida Benito Juárez presenta 280 m de ancho, alcanza los 590 m frente a la calle Juan Ignacio Ramón, con unos 400 m de promedio. Este tipo de valle, amplio y de fondo plano, se asocian a flujos de alta energía producto del tránsito de grandes volúmenes de agua vinculados a periodos de lluvias extraordinarias y por tanto, inundaciones. Las dimensiones de la estructura (llanura de inundación) hacen suponer que el evento tuvo que ser un desastre para la ciudad de Monterrey. En este sentido, el registro más cercano a la elaboración de este mapa ocurrió en 1833, es decir 21 años antes, del cual no existe ningún dato adicional.

Otro elemento cartográfico que puede asociarse con la idea anterior es el achure que evidencia erosión o retroceso de las riveras del cauce debido al paso del agua y a su desborde. Del mismo modo es posible interpretar la magnitud del evento, a partir de la morfología, posición y altura de la llanura fluvial. De esta manera, se reconocen tres dinámicas de inundación, una estacional que es la más frecuente y corresponde al sector más bajo (Fig. 8 A I), la extraordinaria asociada a lluvias intensas en una posición intermedia (Fig. 8 A II) y en el nivel más alto la excepcional, relacionada con lluvias que tienen su origen en fenómenos climáticos extremos: ciclones, frentes fríos y *nortes* (Fig. 8 A III).

El mapa de 1854 muestra otro rasgo importante, los tonos de azul en los terrenos del norte, sur y centro de la ciudad de Monterrey, esto indica un vínculo con lo que hoy se conoce como vulnerabilidad, ya que pone en evidencia las superficies más susceptibles a inundarse en ese tiempo. De esta manera la coloración más intensa, muestra los terrenos con mayor recurrencia o peligro por inundación, y en la medida que este factor disminuye la coloración también (Fig. 8 A).

El documento de 1854 puede considerarse como el ejemplo más temprano, para la región, de un mapa de peligros por inundaciones y hace evidente la frecuencia y permanencia del fenómeno en la ciudad de Monterrey y zonas adyacentes.

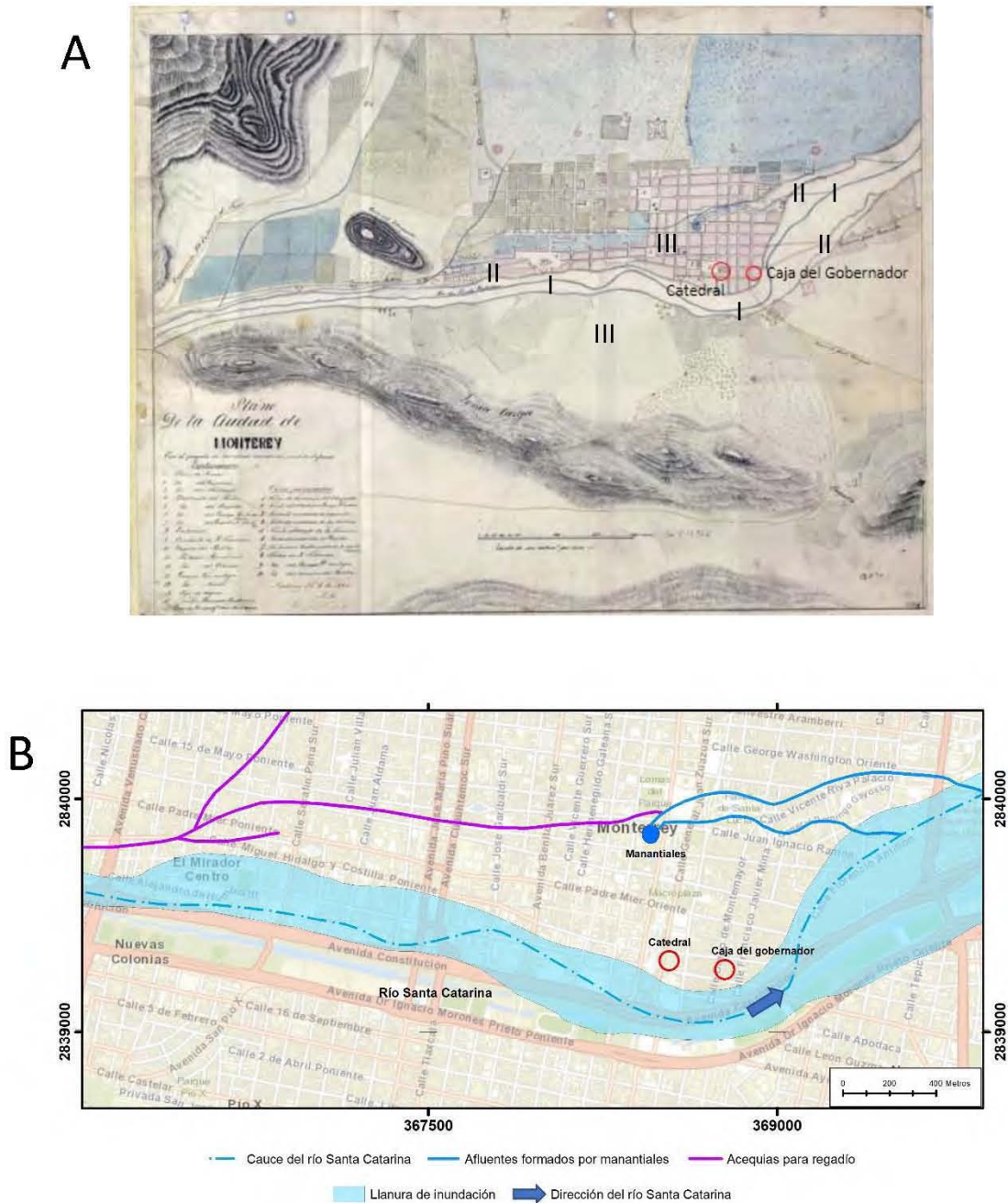


Figura 8. (A) Mapa de la Ciudad de Monterrey elaborado por MR en el año 1854 (I = llanura de inundación estacional; II= Extraordinaria; III= Excepcional); (B) Comparación de la cartografía antigua (MR, 1854) en un mapa urbano actual (Fuente: O. S. M., 2018).

Por otra parte, Monterrey en el mapa de Isidoro Epstein (1865), presenta un diseño urbano consolidado, a manera de una retícula equidistante y precisa que se reconoce hasta nuestros días. Esto permite ubicar numerosas construcciones, entre ellas las históricas como la Ciudadela, hoy biblioteca Felipe Guerra Castro o la Alameda, que es uno de los elementos de la ciudad, que, al ser constante en todas las representaciones cartográficas posteriores, aunque con variaciones en diseño y área, es una referencia importante de medición longitudinal hacia el borde del cauce. Esto permitió comparar variaciones en la amplitud de la llanura aluvial, en otros documentos similares (Fig. 9 A).

Un aspecto que llama la atención en el mapa en cuestión es la desaparición en número y longitud de los canales de regadío, once años antes funcionaban y eran un elemento importante del mapa de MR, 1854. La explicación de este hecho tiene relación con la expansión de Monterrey, que poco a poco modificó el uso del suelo de agrícola a urbano, por lo que, al desaparecer los terrenos de cultivo, las acequias dejaron de ser funcionales, las nivelaron y el terreno se integró a la ciudad (Fig. 9 A y B).

El mapa de 1865 hace evidente que en esta época la ciudad de Monterrey tiende a ocupar los terrenos del norte, por ser más altos respecto al lecho fluvial del río Santa Catarina, nombre que recibe el río principal en este documento. La situación es contraria al sur, en este sector la llanura aluvial está al mismo nivel que el terreno adyacente, razón por la cual el repoblamiento no es importante (Fig. 9 A).

Los manantiales y cauces asociados, para el año del mapa, continúan vertiendo sus aguas al río principal. En sentido opuesto a esta asociación natural, se reconoce los relictos del canal de regadío que conectaba al sistema de drenaje natural, con el fin de evacuar los excedentes agua (Fig. 9 B).

Existe un intervalo de once años entre el mapa de Epstein, (1865) y el de MR, (1854); durante este periodo no hay noticias sobre inundaciones o desbordes del río Santa Catarina. Después de analizar el documento cartográfico bajo un criterio geomorfológico, no es posible saber cuántos eventos de inundación ocurrieron, pero

al menos existió uno importante, antes de la fecha de elaboración de la carta de Epstein (1865).

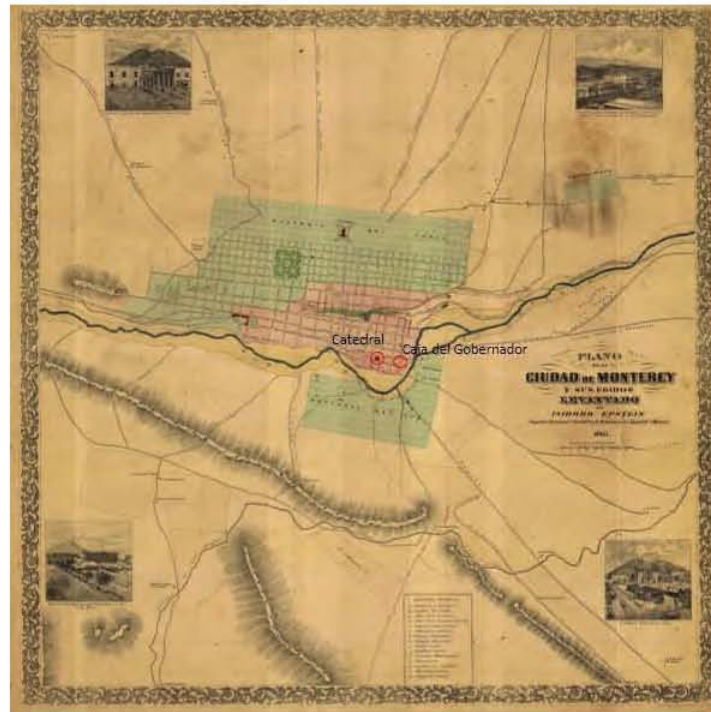
El mapa de 1865 muestra un cauce sinuoso que fluye por una planicie aluvial amplia de fondo amplio subhorizontal con límites irregulares. Esta morfología se asocia con el paso de importantes volúmenes de agua, que alcanzaron el borde máximo del valle y lo erosionó para después desbordar, de ahí el aspecto *festonado* de ambos márgenes fluviales (Fig. 9 A).

La morfología del fondo de la planicie (subhorizontal), da cuenta de la magnitud del evento; en su interior y de acuerdo con la dirección del cauce, no existen desniveles longitudinales (terrazas), ni transversales (rupturas de pendiente). Este hecho que hace suponer la existencia de una potencia erosiva capaz de erosionar en una primera fase y colmatar, nivelar y ampliar el lecho, al final de la inundación.

La carga fluvial fue considerable en dicho evento, evidencia de ello es la presencia de un banco aluvial de gran tamaño que obliga al cauce a dividirse en dos, para volver a unirse *aguas abajo* en uno solo. El eje mayor de este depósito es similar a la longitud de la actual calle Florencio Antillón (Fig. 9 B).

La planicie aluvial es veinte metros menor en anchura respecto al mapa de 1854 (380 m en promedio). La amplitud de este relieve acumulativo, a la altura de la avenida Benito Juárez, es de 270 m y de 430 (± 16 m) frente a la calle Juan Ignacio Ramón (Fig. 9 B). Si bien estos datos en apariencia no reflejan cambios importantes en cuanto a dimensiones, no es así en morfología en donde los contrastes son marcados, da la impresión de haber sido borradas las formas al interior de la superficie aluvial (Fig. 8 A-B y 9 A-B). Por último, hay que mencionar que los tonos de azul que se observan en el mapa de 1865 no tienen relación con áreas inundables, con este color el autor muestra los terrenos que se han integrados a la ciudad de Monterrey (Fig.9 A).

A



B



Figura 9. (A) Mapa de la Ciudad de Monterrey elaborado por Isidoro Epstein (1865); B Comparación de la cartografía antigua (Epstein, 1865) en un mapa urbano actual (Fuente: O. S. M., 2018).

De acuerdo con Flores-Salazar (2010), en el año de 1881 el río Santa Catarina inunda la Ciudad de Monterrey. Acorde con este registro, el último evento había ocurrido 48 años antes (1833). Al igual que en otros casos, no se cuenta con ningún tipo de información. Los estragos de la inundación de 1881 se pueden deducir veinte

años después de haber ocurrido, gracias a la existencia de un nuevo plano de la Ciudad de Monterrey, elaborado por Madero y García Galán en 1901 (Fig. 10 A).

Al comparar el mapa de 1901 con uno similar realizado 36 años antes por Epstein (1865), destaca el crecimiento de la ciudad a partir de la consolidación del repoblamiento al norte y sur (Fig. 9 A), ambos organizados en cuadrantes pequeños equidistantes y densos, configuración urbana que se mantiene hasta nuestros días (Fig. 10 A).

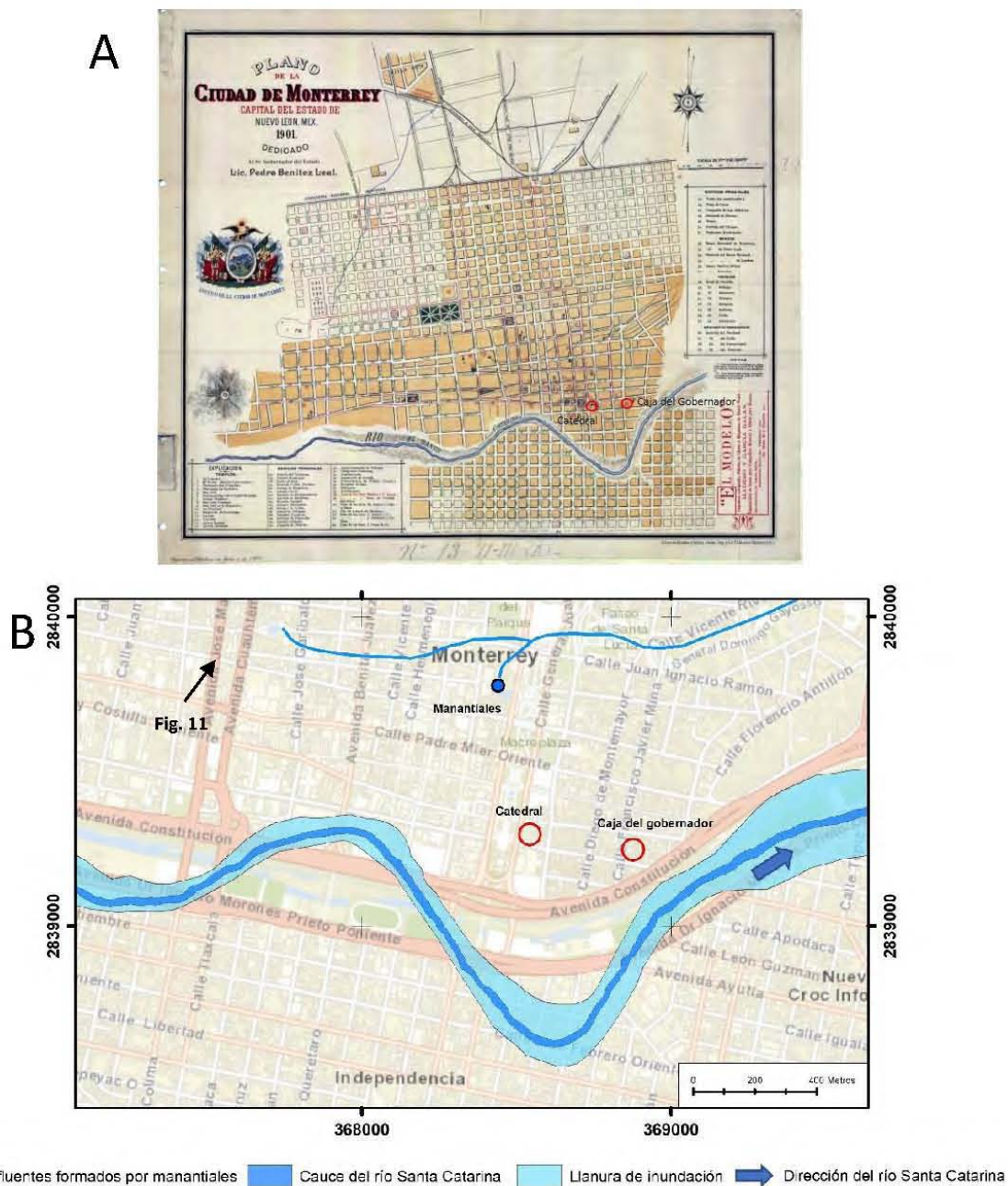
La presión urbana ejercida en la ciudad de Monterrey sobre el territorio adyacente se refleja en la ocupación de espacios que no tienen una vocación urbana. En este sentido es posible reconocer, en el mismo mapa, una reducción de la anchura de la llanura de inundación del río Santa Catarina, de 380 m (± 13 m) en 1865 a 180 m (± 9 m) en 1901, como resultado de la construcción de nuevas manzanas y calles, éstas en la medida que se acercan al cauce, su representación es incompleta, lo que sugiere que fueron modificadas. Esta idea se permite explicar, con base en una superficie aluvial *móvil*, dibujada a partir de puntos densos sin un límite claro, posiblemente por un efecto de diseño, aunque también como insumo de información relativa a las inundaciones. En los mapas de 1767, 1854 y 1865, los márgenes de la misma forma de relieve se muestran con una línea continua, lo que puede estar asociado a la existencia de un borde estable (Fig. 10 A).

En el mapa de 1901 se observa un cauce simplificado, donde son frecuentes los tramos rectilíneos y marcados cambios de dirección del curso. Todos estos aspectos, se vinculan con el tránsito de un flujo turbulento, de alta energía, con la capacidad de modificar la planicie aluvial, en este caso, simplificar su interior por erosión y en una segunda etapa, por una acumulación detrítica continua y de espesor considerable (Fig. 9 A y 10 A).

Con respecto a los manantiales localizados en el centro de la ciudad, continúan funcionando y fluyen por una nueva ruta hacia el río Santa Catarina. Hay que mencionar que la confluencia entre los cauces se modificó en dirección NE (Fig. 10 B).

Las acequias de regadío agrícola para 1901 habían prácticamente desaparecido, como evidencia de su existencia solo quedaba una zanja al W de los manantiales (Fig. 10 B). En la actualidad la calle Mariano Matamoros sigue la misma dirección de la antigua acequia, en su mayor parte, hasta El Obelisco. En este punto desaparece y se pierde su rastro en la intersección con la avenida Ignacio López Rayón (Fig. 11).

Hasta este punto el análisis de los mapas sugiere la existencia de otros eventos de inundación que se intercalan temporalmente con los reportados por Flores-Salazar (2010), también se propone que la afectación por inundación es mayor desde el límite de la planicie (ribera norte y sur) hacia el interior de esta y en menor grado en los terrenos urbanizados, como lo sugiere el crecimiento urbano que se muestra en el mapa de Madero y García Galán (1901).



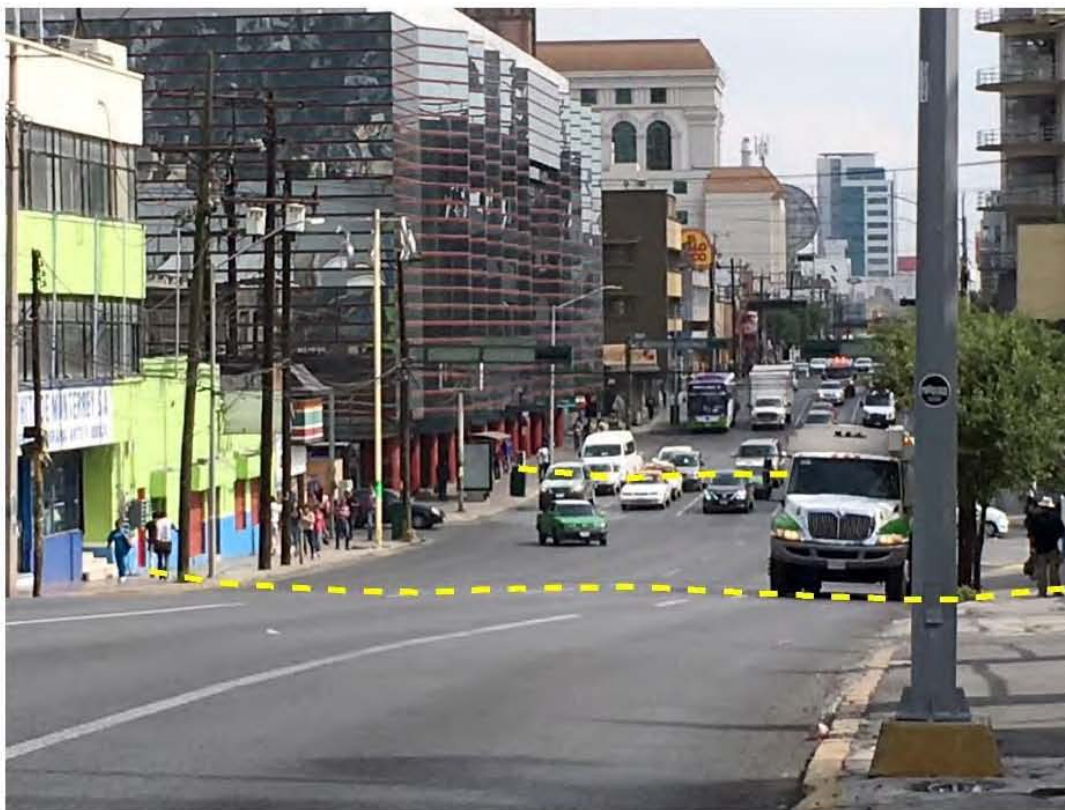


Figura 11. Calle Mariano Matamoros, construida sobre una acequia de regadío agrícola, la línea punteada en amarillo hace evidente la depresión del antiguo canal al cruce con la Av. José María Pino Suárez. En la Fig. 10 B se muestra la localización actual de la imagen. (junio, 2017)

2.4 S. XX: 1909 a 1988

La inundación más devastadora ocurrida en Monterrey se presentó los días 27 y 28 de agosto de 1909. Flores-Salazar (2010), compara la magnitud de este evento con el ocurrido en 1881. Esta correlación hace evidente una temporalidad amplia entre ambos fenómenos, hecho que favorece el olvido y el consecuente desconocimiento del peligro existente, esta situación hizo vulnerable a la población al desastre por desbordes fluviales.

El crecimiento de la ciudad también se vincula con las inundaciones, en la medida que el terreno se modifica para este fin. De esta manera, al construir en las márgenes del río Santa Catarina se reduce la amplitud de la planicie de inundación.

Con respecto a los terrenos adyacentes a la planicie de inundación, fueron nivelados para facilitar la construcción y con ello se modificó el curso fluvial principal, algunos afluentes fueron entubados e integrados al drenaje de aguas residuales, otros se

rellenaron para convertirse en calles. Estas prácticas, cambiaron la dinámica natural del relieve y esto hizo que en los sectores transformados se favoreciera el poder destructivo de las inundaciones.

La inundación de 1909 es la más documentada de la primera década del siglo XX, los periódicos de la época cubrieron de manera sobrada este fenómeno, existen numerosas crónicas, fotografías, así como un análisis del contexto político (Buentebello, 1970).

Por primera vez la inundación se vincula con un ciclón, de carácter devastador a su paso por el Caribe, Golfo de México y que evolucionó a tormenta tropical en las cercanías de la ciudad de Monterrey.

Los reportes indican que el miércoles 25 de agosto por la tarde, comienza una lluvia intensa en la ciudad que continuó a lo largo de la noche, al otro día, adoptó una condición torrencial. Esas características se mantuvieron hasta la mañana del domingo 29, día en que se registraron 549 mm de precipitación (Flores-Salazar, 2010). El registro menciona que desde el viernes 27, algunos pobladores se dirigieron hacia las montañas buscando protección. Ese mismo día se reporta que el caudal del río Santa Catarina alcanzó los 7000 m³/s, volumen que se movilizó a 24 km/h acarreando escombros de todo tipo, animales domésticos y personas muertas (Flores-Salazar, 2010) (Fig. 12).



Figura 12. Inundación de 1909 en San Luisito, hoy Colonia Independencia, el sitio de la imagen se ha localizado en un mapa urbano actual (Fig. 13 B).

Las víctimas mortales en la inundación de 1909, se calculan entre un rango de cuatro y seis mil personas, la superficie inundada fue de 209 hectáreas y se destruyeron 183 manzanas (Flores-Salazar, 2010). Los daños en la zona metropolitana de Monterrey fueron registrados en un mapa de autor desconocido, que utilizó la cartografía ya existente de Madero y García Galán en 1901 (Fig. 13 A). Esta información se sobrepuso en un mapa urbano actual (Fig. 13 B), con el fin de visualizar la espacialidad de los daños y para mostrar los cambios que ha tenido el cauce, se dibujaron los límites de 1865 con línea discontinua azul y para 1901 se colocó una línea continua negra (Fig. 13 B). La existencia de numerosas referencias (edificaciones, calles, parques, etc.), así como la exactitud de los mapas correspondientes, permitieron lograr una representación precisa, hay que hacer notar que en la figura 13 B se pueden deducir cambios del terreno urbano en Monterrey a lo largo de 36 años, como consecuencia de la práctica agrícola (construcción de acequias de regadío), cría de ganado, obras hidráulicas (represas y rectificación del cauce), construcción de vías de comunicación, edificaciones civiles, gubernamentales y religiosas. La evolución de cada uno de estos aspectos se puede seguir de forma esquemática desde 1767, a través de la cartografía.

De alguna manera las condiciones mencionadas, explican la destrucción e impacto social que causó la inundación de 1909. Este trabajo postula que en la medida que el relieve fue modificado, la dinámica natural también cambió, es decir, el agua de inundación fue retenida por más tiempo, al no fluir debido a cambios en la inclinación del terreno, presencia de obstáculos (bardas, banquetas o construcciones en general) y ocupación de la llanura de inundación (Fig. 13 B).

A



B

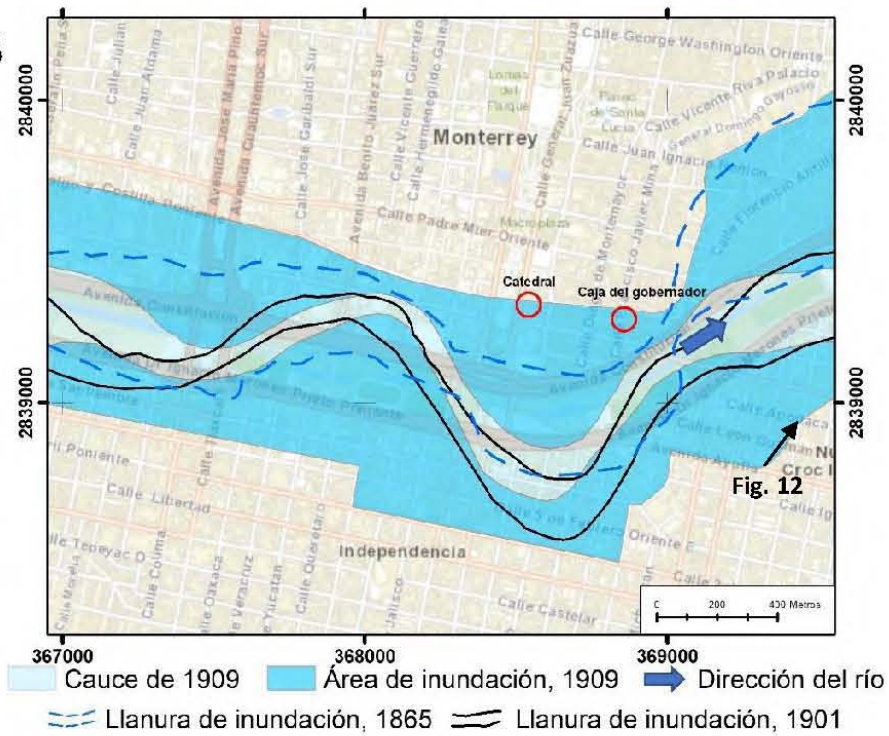


Figura 13. (A) Mapa del centro de la ciudad de Monterrey. Muestra las zonas afectadas por la inundación de 1909. El autor (anónimo) utilizó la cartografía elaborada por Madero y García Galán en 1901; (B) Traza urbana actual (Fuente: O. S. M., 2018), en donde se muestran las zonas inundadas (1909) y la configuración del río Santa Catarina en 1865 y 1901.

La inundación de 1909 llevó a plantear, por parte de las autoridades, la posibilidad de entubar en río Santa Catarina como medida de prevención ante futuras inundaciones. Por fortuna para los habitantes de la ciudad de Monterrey no se llevó a cabo, las consecuencias habrían sido una catástrofe en todos los sentidos.

Los cambios en el paisaje y los mecanismos dinámico-fluviales que estuvieron presentes en la inundación de 1909, se conocen gracias a tres mapas urbanos elaborados entre 1919 y 1936. Estos documentos suman una temporalidad de 27 años, durante este periodo fue posible tener un seguimiento de las obras de protección realizadas en las riberas.

El primero de tres mapas urbanos realizados después de la inundación de 1909, es el de la *Naval Intelligence Division* (1919) (Fig. 14. A). En él se observan tres etapas de crecimiento de Monterrey, cada una con trazas urbanas diferentes, la más antigua al centro del mapa, corresponde al centro histórico. Al norte la ciudad se organiza en una cuadrícula regular en donde las calles se orientan de WSW a ENE. Al sur también existe un damero igual al anterior, corresponde con el sector más reciente de la época y en él las avenidas tienen una dirección norte sur (Fig. 14 A).

La cartografía urbana de 1919 proporcionó numerosos elementos de referencia espacial, lo que facilitó el trazo de la planicie de inundación de 1909. En este proceso y al seguir el curso del río, se unieron las calles *cortadas* localizadas en las inmediaciones del cauce.

Hay que mencionar que la interrupción de las avenidas de manera abrupta, como se observa en el mapa, se interpreta en este trabajo como el resultado de una parcial destrucción, debido a las crecidas fluviales de 1909. Una vez obtenido el primer trazo, se ajustó con los mapas topográficos de Monterrey (INEGI, 2010: G14C25 y G14C26), lo que dio como resultado los límites de la ribera, de su amplitud y de algunos rasgos morfológicos. Esta información se sobre puso a una base topográfica actual, con el fin de comparar los cambios de dirección, anchura e incluso deducir el poder destructivo a lo largo de la zona inundable (Fig.14 B).

Figura 14. (A) Mapa de la ciudad de Monterrey (*Naval Intelligence Division*, 1919); (B) Posición de la llanura de inundación de 1919 con la traza urbana actual (Fuente: O. S. M., 2018).

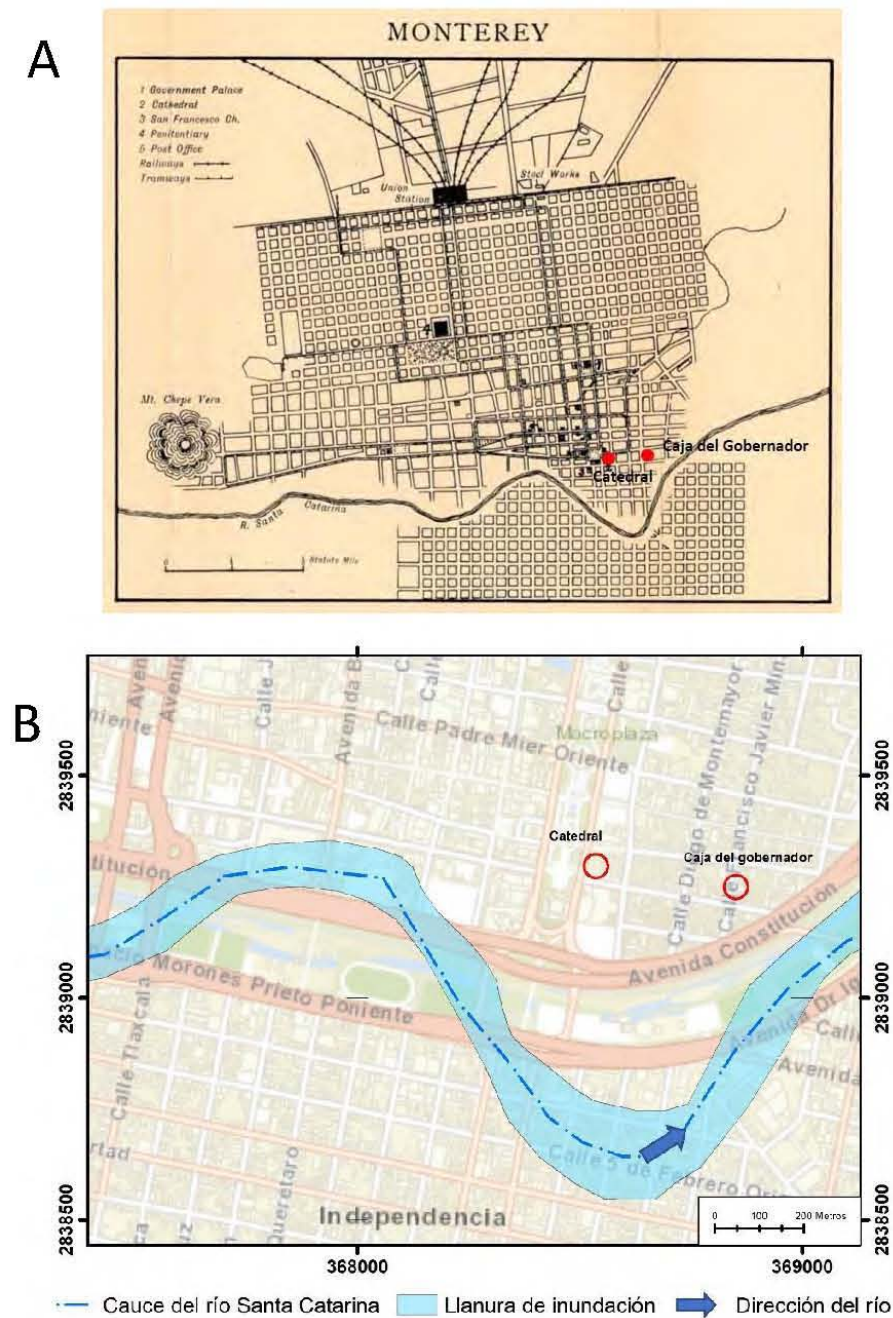


Figura 14. (A) Mapa de la ciudad de Monterrey (*Naval Intelligence Division*, 1919); (B) Posición de la llanura de inundación de 1919 con la traza urbana actual (Fuente: O. S. M., 2018).

El segundo mapa urbano de Monterrey fue publicado en 1930, se conoce como Plano General de Monterrey y de su autor solo se conoce su apellido: González. En este plano y después de veintiún años, se reconocen los efectos de la inundación de 1909, con la existencia de una llanura aluvial ancha. De acuerdo con la simbología de este mapa, se trata de una superficie subhorizontal constituida por arenas, en donde el río Santa Catarina adopta un patrón rectilíneo, no común en este tipo de morfología, paralelo a numerosas viviendas construidas en la ribera, además los bordes de la planicie son rectos. Este hecho permite interpretar la existencia de muros de contención o de rectificación del cauce (Fig. 15 A).

El trazo de la llanura de inundación muestra muchos cambios, si se comparan los mapas de 1919 (Fig. 14 B) y 1930 (Fig. 15 B). En el primero se distinguen dos meandros de arco amplio, el más occidental es modificado de manera radical en la curvatura característica, y es remplazada por un curso rectilíneo.

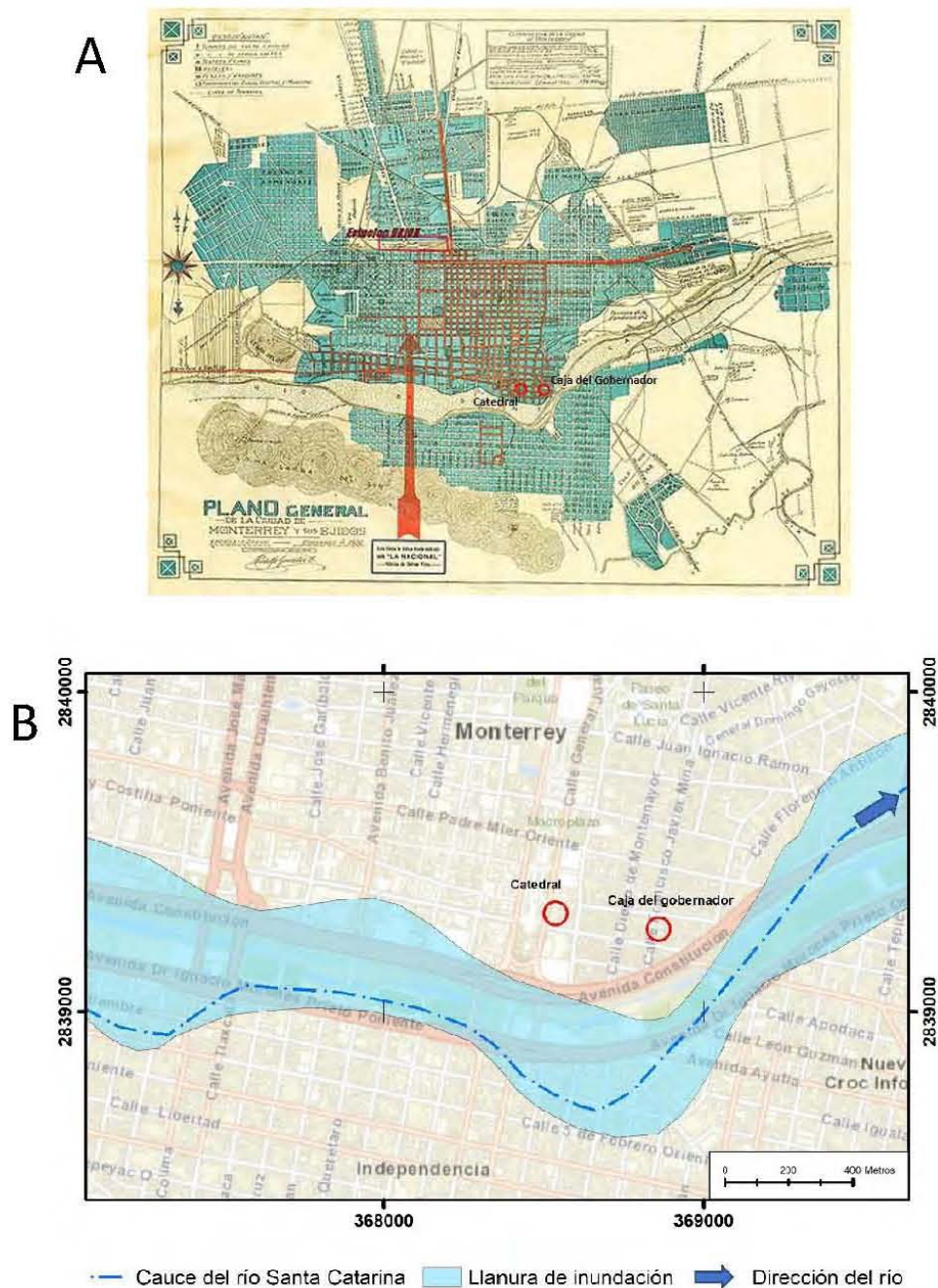


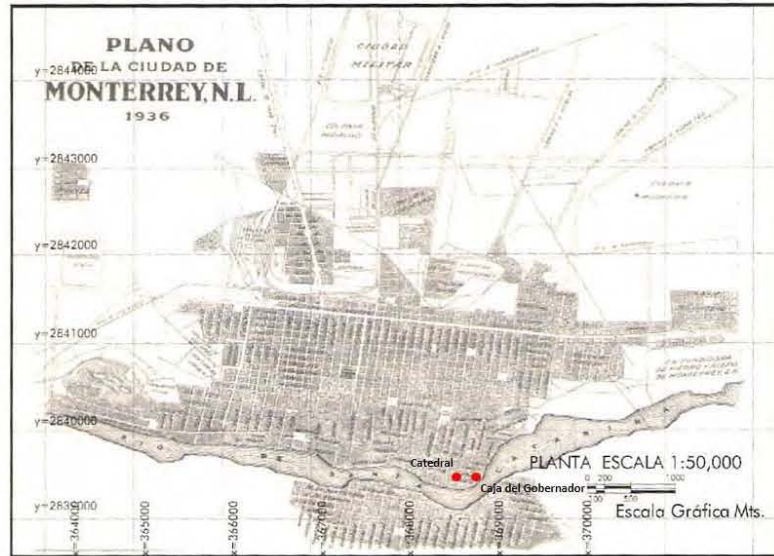
Figura 15. (A) Plano de la ciudad de Monterrey en 1930 (González, 1930); (B) Comparación de la llanura de inundación de 1930 con la traza urbana actual (Fuente: O. S. M., 2018).

El tercer mapa urbano que fue útil para este trabajo es el fechado en 1936 (Fig. 16 A), y se conoce como Plano de la Ciudad de Monterrey. N.L. (Robles, 1978). Fue elaborado veintisiete años después de la inundación más devastadora que afectó la ciudad en 1909.

El plano de 1936 muestra una evidente reducción en anchura de la llanura de inundación, a consecuencia de un proceso de urbanización persistente al interior del cauce. Este hecho está relacionado con la expansión urbana de la ciudad hacia estos terrenos, y por otro, a la confianza que generó en la población la construcción de numerosas obras de ingeniería con el fin de evitar futuras inundaciones.

En esta época, fue un tema actual y de debate tanto público como privado, la canalización del río Santa Catarina en su paso por la zona urbana; de esta manera, se quería terminar con el problema de las inundaciones recurrentes en la ciudad. En este ambiente de polémica se presenta una nueva inundación en el año 1938.

A



B

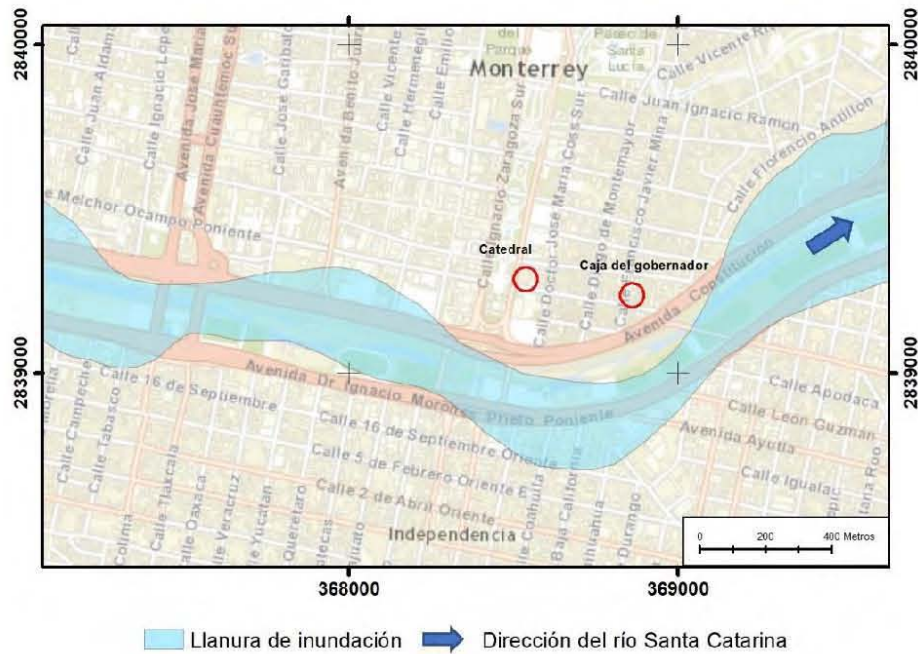


Figura 16. (A) Plano de la ciudad de Monterrey en 1936 (Robles, 1978); (B) Comparación de la llanura de inundación de 1936 con la traza urbana actual (Fuente: O. S. M., 2018).

La llanura de inundación que se presenta en la figura 17, es resultado de la superposición de cinco mapas elaborados entre 1865 y hasta 1936 (Epstein, 1865; Madero y García Galán en 1901; Naval Intelligence Division, 1919; González, 1930 y Plano de la ciudad de Monterrey, 1936). Al trasladar el área inundable obtenida a un mapa urbano actual, fue posible calcular el área máxima de la llanura aluvial y por tanto, la superficie de inundación en el área urbana de Monterrey para un

La falta de datos con los que su cuenta, se refiere a situaciones puntuales sin referencia espacial, hecho que hace difícil su interpretación y como ejemplo las inundaciones registradas a continuación.

En agosto de 1938, la ciudad de Monterrey fue afectada por otra inundación de consecuencias devastadoras, se presenta veintinueve años después de la ocurrida en 1909 y ambas tienen como origen similar un huracán.

La magnitud del fenómeno contrasta con la falta de información, ya que no hay datos sobre pérdidas económicas, el número de damnificados o de víctimas humanas. Al respecto se cuenta con una fotografía, que no es posible leer de manera clara (Fig.18).

La situación fue tan desastrosa, que se plantearon varias alternativas al gobierno en turno para terminar definitivamente con las inundaciones. La más viable fue presentada por el Instituto de Estudios Sociales de Monterrey, al inicio de los años cuarenta. Los detalles del proyecto no se conocen, tienen carácter confidencial y quedaron archivados durante los gobiernos de Bonifacio Salinas Leal y de Arturo B. de la Garza. Fue hasta el periodo de 1949-1952, siendo gobernador Ignacio Morones Prieto, que la canalización del río Santa Catarina se puso en marcha con el nombre de *Magna Obra*, aún así existe información que indique detalles de esta obra (Flores-Salazar, 2010).



Figura 18. Primera página del periódico El Sol, publicado el 29 de agosto de 1938 y que hace responsable a un huracán de la tragedia.

La inundación de 1967 fue provocada por el huracán Beulah, al parecer los daños se concentraron en los días 20 al 24 de septiembre y sobre todo en los afluentes, donde el nivel del agua alcanzó el metro de altura. Durante la contingencia, el río Santa Catarina se mantuvo en su cauce y no hubo afectación significativa en la zona urbana, este es el primer evento importante después de las obras de canalización y rectificación del cauce (Fuentes et al., 2014).

La siguiente inundación se asocia con el huracán Gilberto, 21 años después de la ocurrida en 1967. En este evento, la precipitación del 16 y 17 de septiembre fue de 250 mm con carácter de torrencial, lo que provocó el cierre de las carreteras hacia Saltillo, Laredo, Monclova, Reynosa, Ciudad Victoria y la vía férrea que conecta con la Ciudad de México.

Los daños fueron cuantiosos en la zona metropolitana de Monterrey, los damnificados se contaron en miles y provocó la muerte de 26 personas (Zúñiga, 2015). Las zonas de mayor afectación fueron las construidas dentro de la planicie de inundación y en toda la ribera (Fig. 19). La revisión hemerográfica local aportó poco; los datos se limitaban a mencionar los municipios afectados, que para este caso fueron Apodaca, San Pedro Garza García, Guadalupe y Monterrey.



Figura 19. Impronta de la inundación provocada por la precipitación del Huracán Gilberto en 1988. Se observa un carrusel (tiovivo) arrastrado por las aguas del río Santa Catarina, en su paso por la zona urbana de Monterrey.

La inundación provocada por Gilberto condujo a la búsqueda de soluciones complementarias a la canalización y rectificación del cauce. Esto con el fin de controlar el aumento de caudales en el río Santa Catarina, por lo que se construyó la cortina *Rompepicos* en el año 2004 (Fig. 20), infraestructura que regula el flujo de agua en periodos de lluvia extraordinaria.



Figura 20. Cortina *Rompepicos* ubicada en Corral de Palmas, Municipio de Santa Catarina, Nuevo León (diciembre del 2017).

Las obras de ingeniería realizadas años antes de 1988 sirvieron de poco ante la magnitud del huracán Gilberto, fenómeno que dejó un camino de catástrofe a lo largo del Golfo de México y al interior del país inundaciones y procesos de ladera en la mayoría de los terrenos serranos del país.

2.5 S. XXI: 2000 a 2010

En octubre del 2000 el huracán Keith no dejó precipitaciones significativas, en Monterrey, por lo que la afectación no paso de encharcamientos temporales. Estas condiciones estuvieron presentes en los municipios de Apodaca, General Escobedo, San Pedro Garza García Guadalupe y Monterrey.

Del 19 al 21 de Julio del 2005, el huracán Emily se presenta en Monterrey con lluvias intensas y fuertes vientos, características asociadas con su degradación a tormenta tropical. Si bien no hubo pérdidas humanas, los daños se estimaron en 400 millones de pesos en la ciudad y al menos 100 comunidades fueron incomunicadas.

En julio de 2005 y julio del 2008, Gert y Dolly respectivamente, fueron huracanes que no tuvieron afectaciones importantes en Monterrey, solo encharcamientos temporales en los municipios de Monterrey García, San Nicolás de los Garza, General Escobedo, Garza y García, San Pedro y Guadalupe.

La noche del 30 de junio de 2010 el huracán Alex llegó al noreste del país, en 38 horas la precipitación alcanza los 700 mm, esta cifra supera el promedio anual de todo el estado de Nuevo León, que es de 600 mm.

El paso del huracán Alex fue catalogado como uno de los peores desastres en Nuevo León, los daños fueron comparados con las inundaciones 1909 y 1988, se afirmó que el volumen de agua que tránsito por el río Santa Catarina, fue el doble que el registrado por Gilberto y fallecieron 15 personas (Fig. 21). Contrario al apartado anterior, no fue posible obtener datos relativos a posibles cambios en la dinámica fluvial.

El huracán Ingrid, llegó a Monterrey en septiembre del 2013 con lluvia ligera pero constante, lo que generó encharcamientos temporales en la zona metropolitana y ningún daño relevante (Fig. 22)



Figura 21. Aspecto del río Santa Catarina durante la inundación provocada por el huracán Alex en el 2010. Los daños más severos se registran a lo largo de las avenidas Morones Prieto y Constitución (Téllez, 2010).

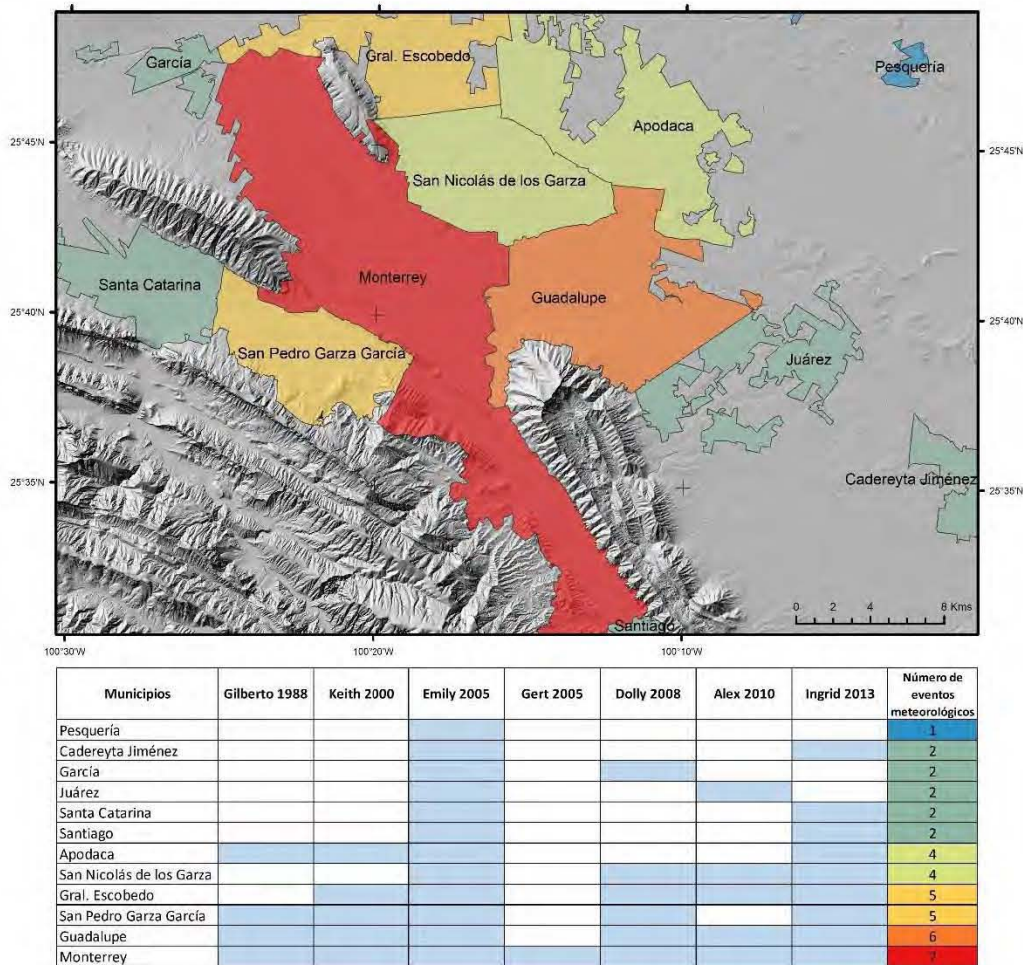


Fig. 22. Municipios que integran la Zona Metropolitana de Monterrey y su afectación por ocurrencia de fenómenos meteorológicos extraordinarios (1988-2013). En un periodo de 15 años la localidad de Monterrey fue afectada siete veces, de ellas tres fueron consideradas como una catástrofe: Gilberto, 1988 y Emily, 2005 y Alex, 2010 (Hanako, 2010; Secretaría de Desarrollo Social. NL, 2010; Montalvo, 2013; Protección Civil, 2013 y Fuentes et al, 2014).

En este capítulo sin duda, queda claro, la importancia que tiene la revisión y análisis de documentos históricos, en particular la cartografía. Estos documentos son una fuente de información valiosa, para entender la dinámica geomorfológica relacionada con las inundaciones y el peligro que representa en un periodo de 401 años (Fig. 23). El análisis de procesos geomorfológicos peligrosos a través de la interpretación de la cartografía histórica permitió entender el origen y los territorios susceptibles a inundarse en la Ciudad de Monterrey. Esta información permitió elaborar un mapa geomorfológico cercano a la realidad.

Inundaciones en la ciudad de Monterrey (1612 – 2013)		
Año	Fecha	Descripción con base en registros históricos
1612	-	<i>hubo una avenida en la cañada del ojo de agua, que derribó la mitad de las casas de la ciudad.</i> (Flores, 2010)
1636	-	<i>se abrieron las cataratas del cielo y rompieron las fuentes del abismo de las sierras, según las bocas por ella reventaron... desgajándose de las sierras las peñas.</i> (Flores, 2010)
1642	-	los daños fueron materiales y la población pudo ponerse a salvo... <i>cayéronse en ellas las más de las casas, sin daño a la gente, por ser de día...</i> (Flores, 2010)
1644	-	<i>cayó un aguacero en las faldas de la sierra de San Gregorio, vertiente de la villa de Cerralvo... enbistió a la villa; derribando las casa que topaba, haciéndolo todo un mar...</i> (Flores, 2010)
1648	2-septiembre	<i>lluvia torrencial asolaba los edificios y ponía en peligro a la gente.</i> (Flores, 2010)
1716	-	-
1752	-	-
1782	-	-
1810	-	-
1833	-	-
1881	-	-
1909	27 y 28-agosto	inundación más devastadora; mueren de 4 a 6 mil personas.
1938	28-agosto	Diario El Sol, <i>pavoroso saldo del huracán</i>
1967	20 al 24-septiembre	Huracán Beulah
1988	16 y 17-septiembre	asociada al huracán Gilberto, mueren 26 personas.
2000	2-octubre	Huracán Keith
2005	19 al 21 de julio	Huracán Emily
2005	23 al 25 de julio	Huracán Gert
2008	23- julio	Huracán Dolly
2010	30-junio	Huracán Alex; mueren 15 personas.
2013	16 septiembre	Huracán Ingrid

Figura 23. Tabla-resumen donde se enlistan las principales inundaciones que afectaron a la ciudad de Monterrey en un periodo de 401 años (El Sol, 1938; Flores, 2010; Hanako, 2010; Secretaría de Desarrollo Social. NL, 2010; Montalvo, 2013; Protección Civil, 2013 y Fuentes et al, 2014).

Capítulo III. Aspectos geológicos

3.1 Tectónica de la Sierra Madre Oriental

La Sierra Madre Oriental (SMOr) es un conjunto montañoso ubicado al este del país, se dispone paralela al Golfo de México; inicia en el estado de Veracruz, en la frontera con el Cinturón Volcánico Mexicano, mantiene una dirección NW hasta el suroeste de Texas. Tiene una longitud aproximada de 800 km, su amplitud varía de 80 a 100 km y su altitud promedio es de 2 200 msnm. Se ha postulado un origen que se asocia al levantamiento y compresión de rocas sedimentarias de origen marino (Cretácico Superior), que inició su ascenso durante el Eoceno, con la Orogenia Laramide (Eguiluz et al., 2000), entre 70-80 Ma y terminó hace 55 Ma (De Cserna, 1960).

El basamento de la SMOr es diverso en litología y edad, las litologías reportadas hasta ahora son: gneis del Precámbrico, esquistos del Jurásico y depósitos volcánicos en el extremo NW y SE (Eguiluz et al., 2000). De acuerdo con la estratigrafía, paleogeografía y arreglo morfoestructural, el frente de la SMOr se divide de la siguiente manera (Fig. 24):

1. Sector San Pedro del Gallo: se localiza al noroeste, su longitud aproximada es de 300 km y se orienta 40° NW. Está formada por depósitos de carbonatos, areniscas y arcillas del Triásico, Jurásico Superior y Cretácico Superior; la morfología de las estructuras es de crestas angostas, alargadas, con alturas que van de los 300 a 800 metros (Eguiluz et al., 2000).
2. Cuenca de Sabinas: ocupa el extremo noreste, tiene una longitud de 300 km, su aspecto aislado se lo da el bloque de Coahuila que interrumpe su continuidad con el conjunto serrano, por su flanco sureste. La litología y morfología son similares al sector anterior, con la diferencia de que los pliegues anticlinales (crestas), están separados por valles sinclinales amplios. En ambos casos, existen al menos dos niveles evaporíticos, uno salino del Jurásico y el otro anhidro del Cretácico Inferior (Eguiluz et al., 2000).

3. La Transversal de Parras: se dispone en el sector central, se orienta NW 70° y su longitud aproximada es de 400 km. Las estructuras que la integran son pliegues angostos (crestas), alargados y que no superan los 800 metros respecto a la planicie inmediata.

El basamento del sector Transversal Parras lo constituyen esquistos que subyacen a rocas del Jurásico Superior intensamente deformadas, hecho que contrasta con la geometría simple de los estratos más jóvenes (Eguiluz et al., 2000).

4. Sector Valles: alcanza una longitud de 300 km y se caracteriza por tener una morfología serrana escalonada constituida de variadas rocas del Triásico, evaporitas del Jurásico, así como esquistos y yesos del Cretácico Inferior (Eguiluz et al., 2000).

5. Tramo Huayacocotla: se ubica en el extremo sureste de la SMOr, tiene una longitud aproximada de 250 km, presenta una orientación NNW-SSE y está constituido por rocas clásticas del Jurásico, con más de 1500 m de espesor y carbonatos del Cretácico (Eguiluz et al., 2000).

6. Saliente de Monterrey o curvatura de Monterrey: se ubica entre la capital del estado de Nuevo León y la ciudad de Saltillo, su longitud máxima es de 130 km, está integrada por numerosos domos salinos a su interior, así como anticlinales angostos bifurcados y extensos núcleos de evaporitas. El basamento de este sector en su mayoría alóctono, se constituye de lechos rojos y esquistos que llegan a ocupar los núcleos de las estructuras plegadas; este hecho pone en evidencia un cambio en movimiento, de normal a inverso.

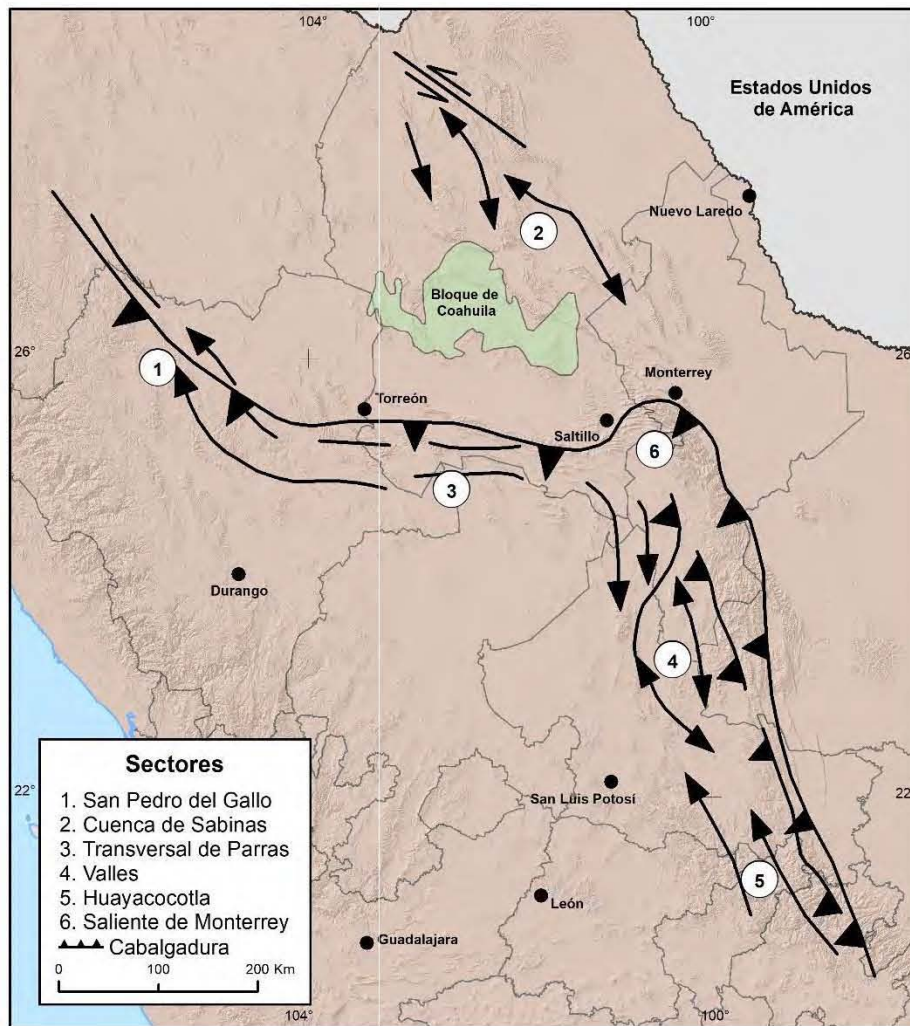


Figura 24. La Sierra Madre Oriental dividida en sectores morfoestructurales de acuerdo con Eguiluz et al. (2000)

Los pliegues de la Saliente de Monterrey presentan morfologías de cresta simple (simétricos o asimétricos), bifurcada y con inmersión. Son de gran tamaño, algunos de ellos alcanzan los 1000 m de altura, hecho que contrasta con los terrenos subhorizontales de la Llanura Costera del Golfo Norte (Eguiluz et al., 2000).

De acuerdo con Padilla y Sánchez (1985) las estructuras plegadas que integran la curvatura de Monterrey se dividen en cinco grandes áreas con un diferente estilo de plegamiento y son los siguientes (Fig. 25):

A) Zona norte: presenta los pliegues más compactos y simétricos, en ellos el plano axial es casi vertical y su longitud varía entre 15 y 60 km. En este grupo destacan el anticlinal de Las Mitras, Los Muertos, Agua del Toro, San Lucas, San Cristóbal, Arteaga, San Juan Bautista y Jamé. Todos ellos están constituidos de rocas sedimentarias marinas del Jurásico Superior y de Cretácico. Las primeras presentan una morfología de *pliegue abierto (breached)* con interfluvios subhorizontales y anchos a manera de *lomo de ballena*.

B) Zona sur: está integrada por anticlinales y sinclinales comprimidos, recostados, con inmersiones y en su mayoría asimétricos. La litología de este sector es variada y está representada por yesos del Jurásico Superior, arrecifes del Cretácico Inferior y lutitas del Cretácico Superior. Las estructuras que destacan dentro de este grupo son la Sierra Hermosa, San Antonio, Potrero de Hidalgo, La Cuchilla, El Muerto, Las Hormigas, El Duraznero, Jabalí y Las Mazmorras. Cabe destacar que las cabalgaduras conocidas como *La frontal* y *La secundaria* son el límite NE de todo el conjunto (Padilla y Sánchez, 1985).

C) Basamento somero: es una superficie asociada al anticlinal del Potosí, estructura compleja y de contraste morfológico. Se trata de un pliegue *abierto (breached)*, de cuatro kilómetros de amplitud y 50 km de longitud, rodeado de plegamientos muy compactos de la región sur (Padilla y Sánchez, 1985).

D) La zona de vergencia opuesta: constituida por los anticlinales de El Zorrillo, El Orégano y El Gateado, todas ellos de orientación 65° NW que coincide con las estructuras circundantes; sin embargo, los planos axiales buzan alrededor de 60° NE, sentido opuesto a la vergencia regional de la Curvatura de Monterrey (Padilla y Sánchez, 1985). Este hecho pone de manifiesto un arreglo perpendicular entre la vergencia opuesta y la disposición de la mayoría de los pliegues de la región sur, haciendo evidente la intensidad de los esfuerzos y la heterogeneidad en dirección de las deformaciones de la región.

E) Anticlinal La Silla: se trata de una estructura simétrica en sus extremos norte y sur, sin embargo, la parte central se recuesta al noreste por la influencia de una falla inversa (Fig. 26). La morfología que presenta es abierta (*breached*), por lo que

quedan expuestos en la cima afloramientos de evaporitas y lutitas del Jurásico Inferior. La longitud de este emblemático pliegue es de 42 km y 30° NW de rumbo (Padilla y Sánchez, 1985).

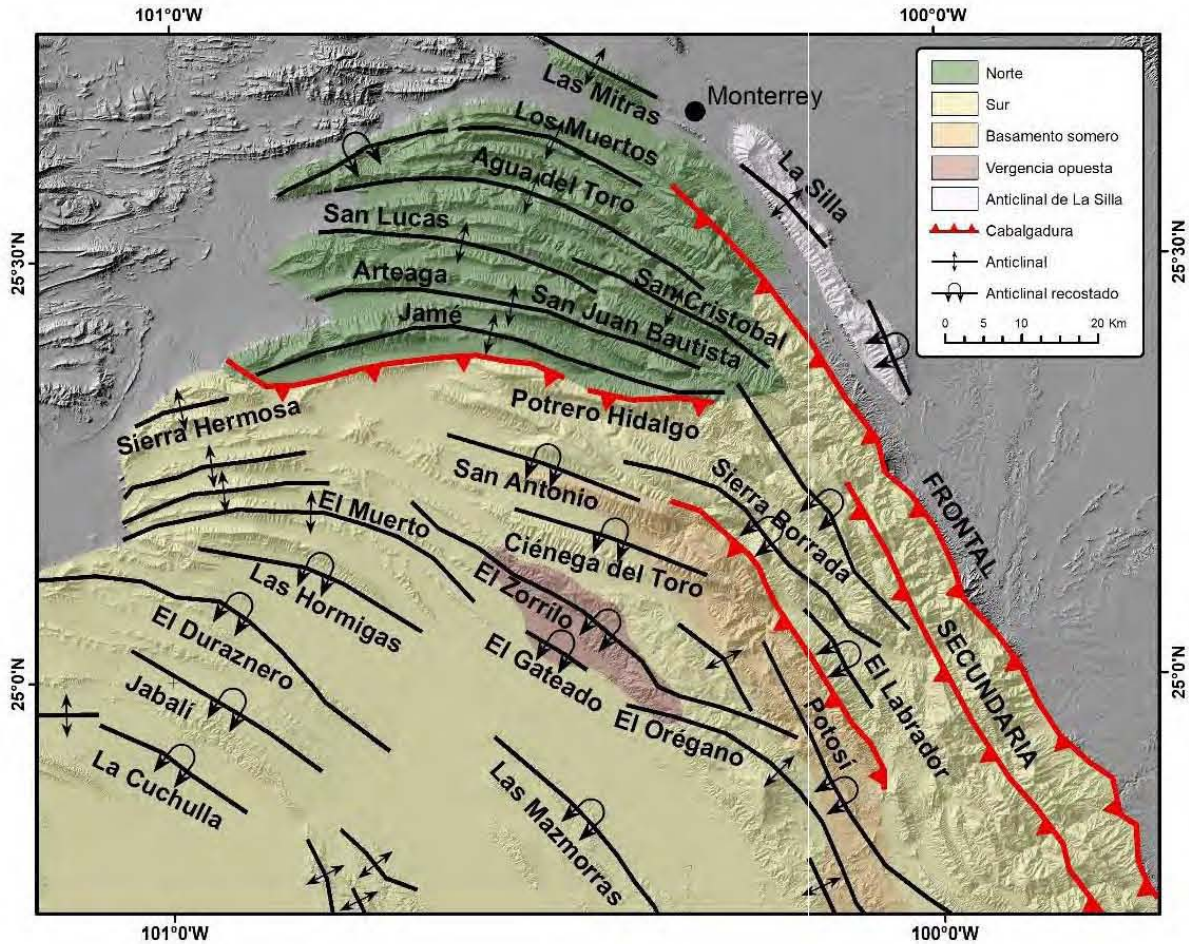


Figura 25. Regiones estructurales de la Curvatura de Monterrey (Padilla y Sánchez, 1985).

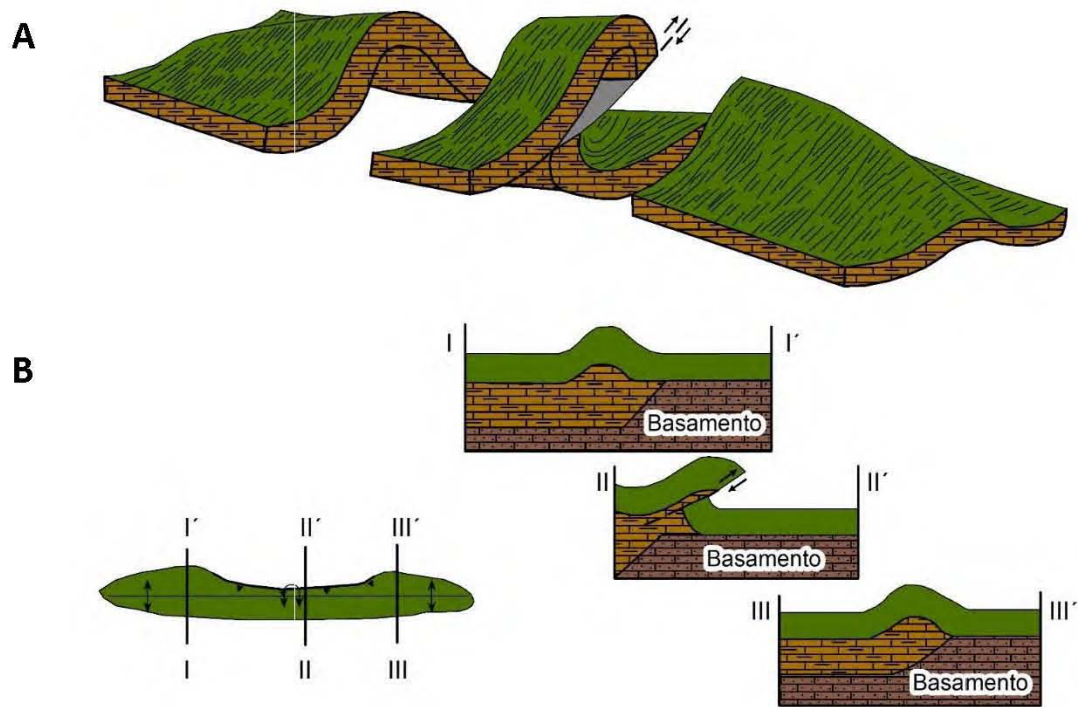


Figura 26. A) Esquema del anticlinal La Silla, se observa la disposición de la falla inversa responsable de la morfología emblemática; B) Planta y disposición de perfiles estratigráficos transversales, al eje del pliegue (Padilla y Sánchez, 1985).

3.2 Geología de la ciudad de Monterrey

El noreste del país a finales del Paleozoico y principios del Mesozoico se encontraba por debajo del nivel del mar. La mayor parte de las evidencias del periodo marino fueron disimuladas o eliminadas por la orogenia Laramide a finales del Triásico. A principios del Jurásico Superior, el agua marina ocupaba el Geosinclinal Mexicano y el Golfo de Sabinas. Esta importante transgresión marina, estuvo controlada por constantes levantamientos continentales, lo que favoreció la existencia de cuerpos lagunares que dieron origen a depósitos evaporíticos, que más tarde formaron parte del basamento de la mayoría de las estructuras plegadas (Muñoz et al., 1991).

Al inicio del Cretácico Inferior los mares ubicados al norte de México eran tranquilos y someros, lo que propició el desarrollo de calizas y lutitas. Durante el Cretácico Superior y como respuesta a una regresión marina, los depósitos de lutita aumentan y los depósitos de carbonatados se mezclan con arcillas continentales, hecho que favorece la existencia de rocas del tipo de margas.

En el Paleoceno la sedimentación marina se interrumpe como respuesta a los esfuerzos compresivos provocados por la Orogenia Laramide, de ellos resultaran las secuencias de anticlinales y sinclinales que integran la Sierra Madre Oriental.

El Cuaternario se caracteriza por un continuo e intenso modelado de la Sierra, lo que dio como resultado el desarrollo de profundos valles que interrumpieron la continuidad del conjunto montañoso. Los sedimentos transportados resultado del proceso erosivo, dieron origen a la Llanura Costera del Golfo, esta unidad, a la altura del estado de Monterrey se conoce como Llanura Costera del Golfo Norte.

En la zona de estudio coinciden 11 formaciones geológicas (Santiago et al., 2008), con rocas del Oxfordiano como las más antiguas y hasta las recientes del Cuaternario (Fig. 27), a continuación, se describen:

1. La Formación Zuloaga es considerada del Oxfordiano y Kimmeridgiano, todos del Jurásico Superior, contiene las rocas más antiguas de la zona de estudio (163-157 Ma). Esta unidad está integrada por calizas arcillosas de color gris, se disponen en estratos delgados (40 – 60 cm; Muñoz et al., 1991). Se localizan en el extremo suroeste en donde integran un par de pliegues de pequeñas dimensiones (Fig. 27).
2. La Formación La Casita se ubica en el Kimmeridgiano, Portlandiano y Titoniano (130-140 Ma). Está constituida por interestratificaciones de areniscas, calizas y lutitas. El espesor de los depósitos no supera los 870 m (Muñoz et al., 1991) y se localiza en el flanco suroeste de la Sierra de los Muertos y al interior del anticlinal La Silla (Fig. 28).
3. Formación La Carbonera, pertenece al Cretácico Inferior y en particular al Berriasiano (145 Ma) (Fig. 26), se constituye de interestratificaciones de lutitas y arenisca (Santiago et al, 2008) y es característica de la Sierra los Muertos (Fig. 28).

4. La Formación Taraises se ubica en el Cretácico Inferior y comprende el Berriasiano, Valanginiano, Hautoeriviano y el Neocomiano (Fig. 27). Las rocas que la integran son calizas con lentes de pedernal negro y lutitas, su espesor no supera los 230 m (Muñoz et al., 1991). Se localiza en laderas del suroeste de la Sierra de los Muertos y al interior del anticlinal La Silla (Fig. 28).
5. La Formación Cupido comprende el Neocomiano, Hauteriviano, Barremiano y Aptiano, épocas del Cretácico Inferior (Fig. 27). Se compone de calizas micríticas de color gris con espesor de hasta 684 m (Muñoz et al., 1991). Estos depósitos forman parte del releve cimero de las sierras Las Mitras, La Silla y los Muertos (Fig. 28).
6. La Formación Peña, forma parte del Cretácico Inferior (Aptiano) (Fig. 27), la constituyen lutitas y calizas fosilíferas con lentes de pedernal, el espesor del depósito no sobrepasa los 34 m (Muñoz et al., 1991); está presente en las sierras Los Muertos, las Mitras y La Silla.
7. La Formación Aurora es el último depósito del Cretácico Inferior, pertenece al Albiano (Fig. 27), se compone de caliza y dolomías que se disponen en una estratificación regular, su espesor máximo alcanza los 450 m (Muñoz et al., 1991). Se localizan en las laderas de las sierras los Muertos, las Mitras y La Silla (Fig. 28).
8. La Formación Cuesta del Cura sobreyace de manera discordante con la Formación Aurora, pertenece tanto al Cretácico Inferior como al Superior, y comprende el Albiano y Cenomaniano (Fig. 27). Se compone calizas intercaladas con delgadas capas de lutitas y pseudo estratos de pedernal, su espesor no sobrepasa 140 m (Muñoz et al., 1991). Estos depósitos están integrados en laderas de las sierras de los Muertos, las Mitras y La Silla (Fig. 28).
9. Formación Agua Nueva comprende el Cenomaniano y Turoniano (Cretácico Superior) y está formada por calizas, lutitas y margas con 175 m de espesor (Muñoz et al., 1991). Las rocas de esta unidad están integradas a las laderas de las sierras los Muertos, las Mitras y La Silla (Fig. 28).

10. La Formación San Felipe comprende las épocas del Coniaciano, Santoniano y Senoniano, todas ubicadas en el Cretácico Superior (Fig. 27). Las rocas que forman parte de esta unidad son lutitas y calizas arcillosas, con 95 m de espesor (Muñoz et al., 1991). Estos depósitos se localizan en la sierra las Mitras, en las laderas inferiores de La Silla y en todo el anticlinal de Loma Larga (Fig. 28).

11. La Formación Méndez se localiza en las laderas bajas de las sierras Los Muertos y la Silla, en contacto con las planicies subhorizontales que las rodean (Fig. 28). Los depósitos pertenecen al Cretácico Superior (Campaniano y Maestrichtiano: Muñoz et al., 1991) (Fig. 27), y está constituidos por lutitas con intercalaciones de margas, el alcanza los 150 m de espesor.

El Terciario no está representado en la zona de estudio, por último, el Cuaternario está constituido por depósitos aluviales poco consolidados (gravas, arenas, limos y arcillas). Estos materiales son parte de extensas superficies subhorizontales, ligeramente inclinadas y onduladas, su origen es acumulativo fluvial (aluvial-proluvial) y representan el nivel base de la región.

El aluvión cubre gran parte del área de estudio y corresponde a los depósitos más recientes (Cuaternario), está constituido por acarreos fluviales de diverso origen con texturas tales como limos, arcillas, arenas finas y gravas. La edad de estos sedimentos cubre un lapso de tiempo que va desde el Jurásico hasta la actualidad.

ERA	Perío- do	É P O C A	C O L U M N A	M a
CENOZOICO	Cua- terinario	Holoceno	Aluvión	
		Pleistoceno		1.68
	Terciario	Plioceno	?	5.1
		Mioceno		
		Oligoceno		37
		Eoceno		
		Paleoceno		67
MESOZOICO	Cretácico	Superior	Maastrichtiano	
			Campaniano	Mendez
			Santoniano	San Felipe
			Coniaciano	
			Turoniano	Agua Nueva
			Cenomaniano	
				97.5
		Inferior	Albiano	Cuesta del Cura
				Aurora
			Aptiano	La Peña
				Cupido
			Barremiano	
		Neocomiano	Hauteriviano	
			Valanginiano	Taraises
			Berriasiano	La Carbonera
				140
	Jurásico	Superior	Tithoniano	La Casita
			Portlandiano	
			Kimmeridgiano	
			Oxfordiano	Zuloaga
				160

Figura 27. Columna cronoestratigráfica de la región de Monterrey, al parecer, el Terciario no tiene litología correlativa presente en la zona de estudio (Santiago et al, 2008).

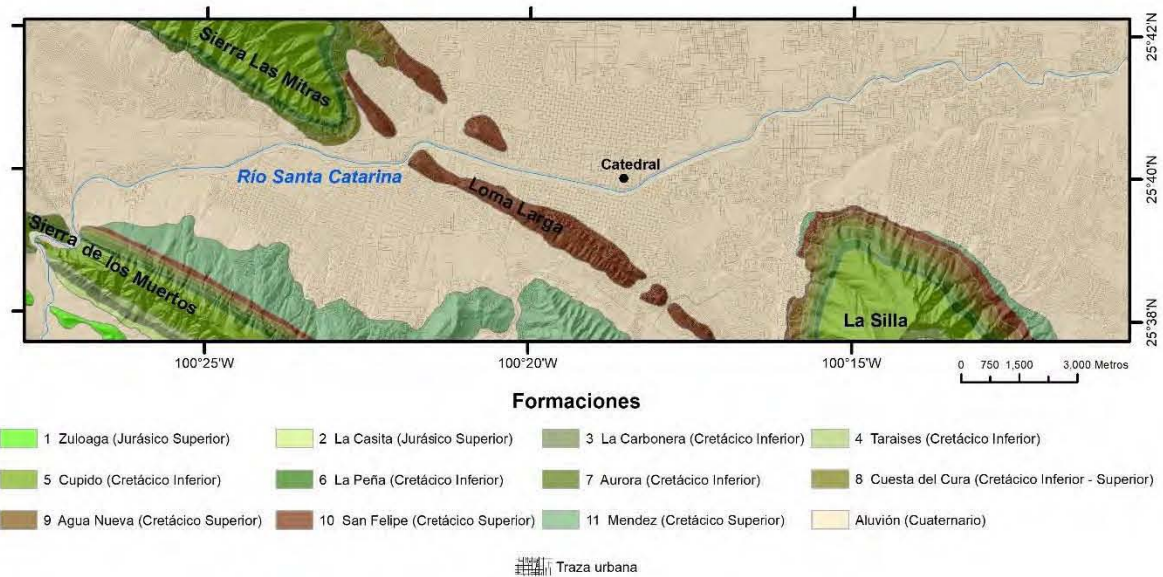


Figura 28. Mapa geol3gico de Monterrey y territorios adyacentes (Santiago et al, 2008).

La Curvatura de Monterey es el resultado de una tect3nica local muy intensa, asociada a la Orogenia Laramide. Este evento deform3, fractur3 (fallas) y cambi3 la direcci3n de la Sierra Madre Oriental a la altura de la ciudad de Monterrey hacia el NW. El arreglo tect3nico que result3 es complejo y condicion3 el acomodo de la litolog3a (estructura), esto se refleja en la espacialidad de los procesos ex3genos actuales. Este hecho justifica la revisi3n tect3nica y litol3gica de la zona que se estudia, en este marco se pueden explicar zonas de mayor recurrencia de procesos gravitacionales e inundaciones en la zona metropolitana de la capital del Estado.

Capítulo IV. Aspectos morfométricos de la zona de estudio

4.1 Morfometría

La morfometría se encarga de cuantificar formas de relieve y para ello utiliza fórmulas matemáticas, de esta manera es posible interpretar la relación que existe entre los procesos endógenos y exógenos (Lugo-Hubp, 1988). Las variables que destacan dentro del análisis morfométrico son las de altitud, inclinación del terreno, superficie y volumen.

En este trabajo se tomó en cuenta la altitud y la inclinación del terreno, debido a que estas características tienen un vínculo entre la precipitación y las inundaciones. Los métodos morfométricos aplicados en este trabajo se establecieron a partir de los criterios de Lugo-Hubp (1988) y Simonov (en Zamorano, 1990). Con la ayuda de un SIG (ArcGis 10.5) y con la base datos LiDAR (INEGI, 2012) se obtuvieron mapas de altimetría e inclinación del terreno para su posterior interpretación bajo un criterio geomorfológico.

4.1.1 Altimetría

El mapa altimétrico simplifica los datos altitudinales, a través de este proceso se establece una primera zonificación del relieve y sus procesos, que al ser complementada con el mapa de inclinación del terreno se obtiene una versión regional más precisa y cercana a la realidad.

El análisis del mapa altimétrico se realizó a partir de un grupo de 3 variantes (alto, medio y bajo), cada una de ellas contienen la información altitudinal de 5 rangos. La interpretación de cada rango se hizo bajo un criterio geomorfológico, en él se tomó en cuenta que el mayor número de formas de relieve estuvieran incluidas (Fig. 29).

Los valores altimétricos se analizan a continuación en tres grupos, cada uno de ellos se asocia con unidades regionales del relieve:

Valores bajos: 427 – 720 msnm

Representa superficies subhorizontales, ligeramente inclinadas y onduladas, todas ellas producto de la deposición proluvial, coluvial y aluvial. En todos los casos, las texturas características de los detritos que las constituyen varían de bloques a arcillas. El origen de todos estos materiales se asocia con la dinámica erosiva de la Sierra Madre Oriental y que a la altura de la ciudad de Monterrey constituyen el sector más proximal de la Llanura Costera del Golfo Norte (Fig. 29).

Valores medios: 721 – 950 msnm

En este rango se agrupan las laderas y las rampas acumulativas mayores en su parte proximal. Se localizan de forma periférica a las estructuras montañosas y corresponden a territorios de transición. La dinámica es el transporte de materiales, ya sea por gravedad o acarreo fluviales (Fig. 29).

La litología que caracteriza este rango altitudinal son las calizas, lutitas, margas, dolomitas y areniscas todas ellas fracturadas, hecho que facilita los procesos erosivos.

Valores altos: 951 – 1800 msnm

El relieve de montaña es el característico de este grupo y corresponde a crestas anticlinales simétricas que se orientan con dirección NW-SE, conocidas como la sierra de los Muertos, la sierra de Las Mitras, Loma Larga y La Silla (Fig. 29). Esta unidad se considera la fuente de aporte de numerosas rampas que llegan a las partes bajas y definen extensas superficies acumulativas.

El mapa altimétrico muestra la relación entre la morfología y la dinámica del relieve, en este marco, fue posible identificar las zonas de aporte de materiales representadas por los conjuntos montañosos; los territorios de transición o de acarreo de materiales, asociados con las laderas y las zonas de acumulación o deposición vinculadas a los terrenos subhorizontales (Fig. 29).

La interpretación anterior está vinculada con regiones geomorfológicas mayores que se conocen como montaña, piedemonte y planicie. Al incluir los valores de inclinación del terreno, fue posible hacer una zonificación a detalle, que toma en cuenta la altitud, inclinación y morfología.

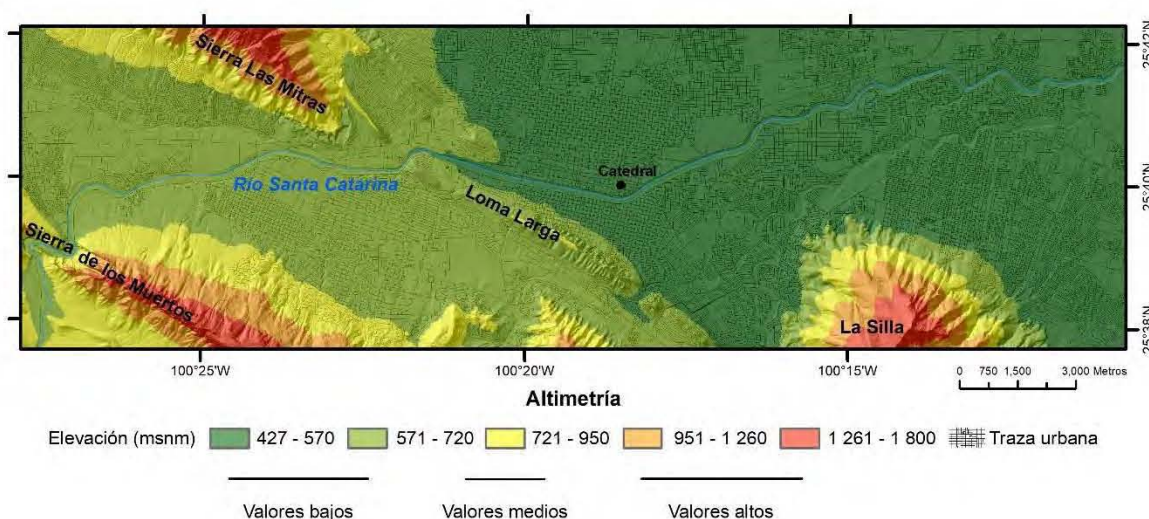


Figura 29. Mapa altimétrico del sector centro de la ciudad de Monterrey.

4.1.2 Inclinación del terreno

El mapa de pendientes presenta las laderas por diferentes grados de inclinación, su objetivo es el de identificar la dinámica de las vertientes, al tomar en cuenta la morfología y el arreglo estructural. De esta manera es posible reconocer las superficies susceptibles a desarrollar proceso de ladera, procesos fluviales intensos (erosivos) o bien, zonas de retención de agua asociados con superficies subhorizontales.

Al igual que en el mapa altimétrico, en este caso, se definieron tres niveles (alto, medio y bajo), a partir de criterios geomorfológicos, donde se privilegió la inclinación de las rampas acumulativas, la llanura aluvial y las terrazas que la componen. Con este criterio se confeccionó el mapa con cinco rangos de inclinación del terreno (Fig. 30).

Valores bajos: < 20°

En este rango se incluyen relieves de génesis acumulativa, se trata de planicies sin variaciones o rupturas de pendiente significativas en su interior, por lo que su morfología es homogénea. Al tratarse de zonas bajas donde predomina la sedimentación sobre la erosión, se pone en evidencia un proceso de deposición continuo que ha sepultado la base de los conjuntos montañosos y, de manera parcial, las crestas sedimentarias de poca altura como Loma Larga, en donde la acumulación de detritos llega a interrumpir su continuidad tanto en el su sector SE como en el NW (Fig. 30).

Con estos valores, destacan las llanuras aluviales del río Santa Catarina y La Silla, las terrazas y las superficies de inundación también son claros. Esta zona es de especial interés, ya que el objeto de estudio son las inundaciones. El mapa de inclinación del terreno, es fundamental para realizar la zonificación general del relieve.

Valores medios: 21° – 30°

Este rango es poco significativo, lo que pone en evidencia las incipientes laderas medias y bajas de los conjuntos montañosos. En este intervalo se puede apreciar el sector central y proximal de las rampas acumulativas. Por su posición se considera una zona de transición morfodinámica (Fig. 30).

Valores altos: > 30°

En este rango las crestas sedimentarias son el elemento característico y se asocian con cimas agudas y laderas altas con inclinaciones que superan los 30°. También son evidentes los ejes de los plegamientos, que han quedado al descubierto por la erosión diferencial presente en las cimas. En esta zona, son frecuentes las caídas y los desprendimientos de bloques, procesos responsables de morfologías agudas como los presentes en la sierra de Las Mitras o resultado de complejos movimientos tectónicos, como los que ocurren en La Silla (Fig. 30).

El mapa de inclinación del terreno permite hacer una valoración de la dinámica exógena de la zona de estudio. Para ello fue necesario analizar la morfología y la altitud. La primera aproximación de este vínculo es el mapa de unidades mayores del relieve que antecede al mapa geomorfológico.

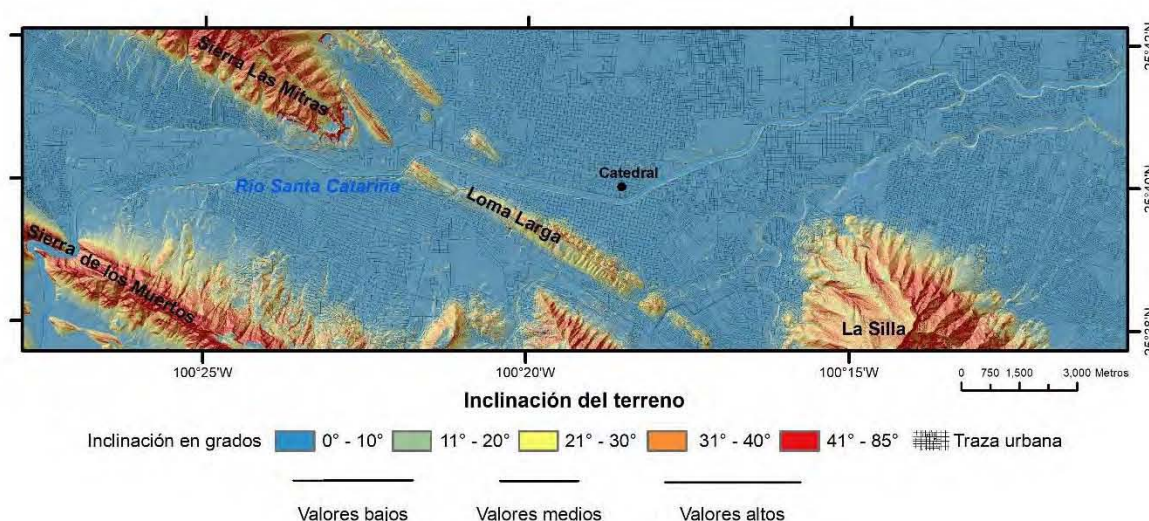


Figura 30. Mapa de inclinación del terreno para el sector centro de la ciudad de Monterrey.

4.2 Unidades mayores del relieve

En la elaboración de este documento, fue necesario el análisis en conjunto del mapa altimétrico, inclinación del terreno y de un modelo sombreado (*Hillshade*) obtenido a partir de datos LiDAR (INEGI, 2012), con estos insumos se realizó la zonificación de unidades mayores del relieve en donde se establecieron las siguientes unidades: montaña, piedemonte y planicie (Fig. 31).

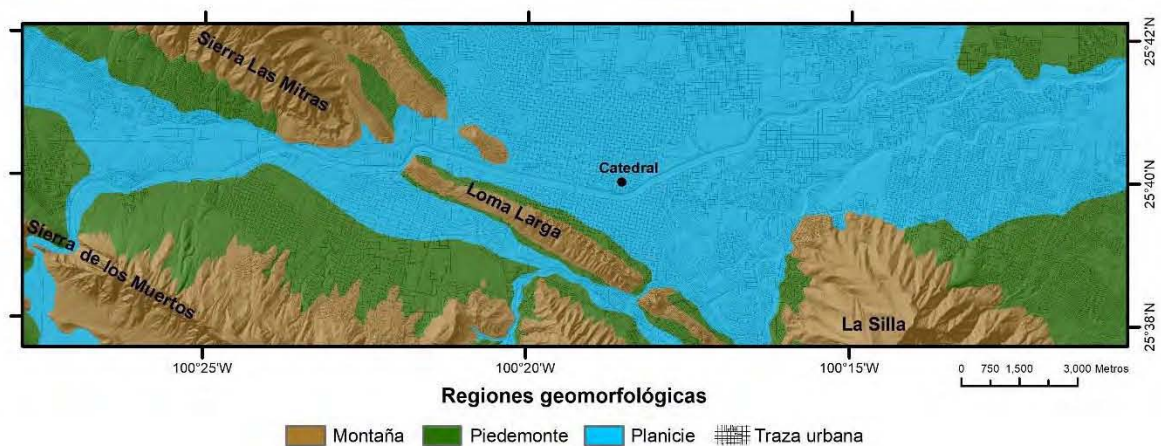


Figura 31. Mapa de unidades mayores del relieve del sector centro de la ciudad de Monterrey.

Montaña (700 – 1 800 msnm).

Esta región agrupa estructuras de gran tamaño que sobresalen del entorno adyacente, se caracteriza por presentar contrastes altitudinales muy marcados en distancias cortas, su origen, está vinculado con movimientos compresivos asociados con el levantamiento del piso oceánico, proceso que inició en el Eoceno y que está vinculado con la Sierra Madre Oriental.

Las montañas en cuestión son rocas de origen sedimentario y se tratan de pliegues aislados de gran tamaño (> 500m) que se alternan con grupos de plegamientos que definen sierras con alturas menores a 500 m, son parte de las estribaciones de la Sierra Madre Oriental la dinámica dominante es la erosiva, que se evidencia en la gran cantidad de barrancos que se encargan de erosionar y transportar el material hasta el piedemonte y planicie (Fig. 32).

La orientación de las montañas plegadas en este sector del país es NW-SE, la mayoría de ellas son pliegues estrechos, simétricos de longitud variable (3 – 5 km) y en escala regional, el sector forma parte de la Curvatura de Monterrey (Fig. 31).



Figura 32. Fotografía del anticlinal La Silla, con 1260 metros respecto a la planicie circundante (vista desde el Parque Fundidora; octubre 2014).

Piedemonte (500 – 750 msnm)

Se trata de una superficie marginal a la zona de montaña, de origen acumulativo y de geometría recta-cóncava, la inclinación promedio de estas estructuras es de 15° y la constituye detritos proluviales – aluviales (Fig. 31).

El piedemonte se originó a partir de la superposición de abanicos proluviales hasta definir rampas continuas. En la actualidad es posible diferenciar estructuras independientes e incluso se pueden establecer estadios de evolución de estas formas acumulativas, este aspecto se muestra en el mapa geomorfológico (Fig. 33).

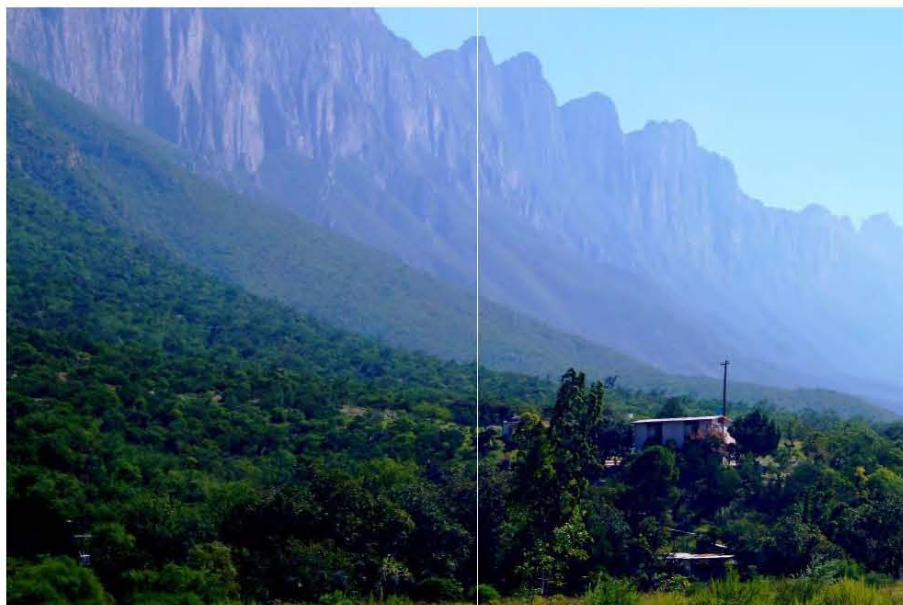


Figura 33. Sierra Los Muertos (montaña) y piedemonte asociado (octubre 2014).

Planicie (400 – 500 msnm)

Se trata de un relieve con poca diferencia altitudinal, en donde la morfología es subhorizontal, en algunos sectores se muestra ligeramente inclinada y en otros ondulada, es de gran extensión y su origen es exógeno – acumulativo. En la zona de estudio esta estructura representa la transición, entre un piedemonte regional y efímero asociado a la Sierra Madre Oriental y al sector proximal de la Llanura Costera del Golfo Norte, esto explica la complejidad de esta estructura (Fig. 34).

La planicie es una asociación de depósitos complejos, en ellos se reconocen detritos aluviales – torrenciales que contienen gravas, gravillas, bloques, cantos rodados y arenas de distintas texturas. Esta complejidad se asocia con los eventos fluvio – acumulativos que le dieron origen, si bien predominan los procesos acumulativos, en la actualidad es posible observar surcos y barrancos que funcionan como afluentes del río Santa Catarina y de La Silla, todos ellos con un carácter erosivo en temporada de lluvias extraordinarias (ciclones). Esta superficie tiene una dinámica vinculada con las inundaciones que se ven favorecidas por una inclinación del terreno que es $< 8^\circ$ (Fig. 31).



Figura 34. Planicie de inundación del sector norte, su morfología subhorizontal ha favorecido el desarrollo urbano sobre ella (vista desde el *cerro* El Obispo; octubre 2014).

Las regiones geomorfológicas consideran altitud, la inclinación del terreno y la morfología. Con la integración de estos elementos, la zonificación y la dinámica geomorfológica se vuelven más precisas. Las formas de relieve implicadas en estas regiones, no son todas las que existen, en la planicie es posible observar abanicos aluviales extensos que no tienen explicación de acuerdo con las condiciones hidrológicas y climáticas actuales, razón por la cual se inició un análisis geomorfológico más detallado, que se explica en el siguiente capítulo.

Capítulo V. Geomorfología

La geomorfología es la ciencia que estudia el relieve y para ello, toma en cuenta la génesis, morfología, dinámica, edad y evolución. Una particularidad de esta disciplina es la de mostrar sus resultados a través de una cartografía, especializada y sintética, para ello se vale de símbolos, colores y achures entre otras posibilidades gráficas. Los mapas de este tipo varían de acuerdo con la escuela geomorfológica, en este caso se han usado los criterios de la *Escuela Geomorfológica Mexicana*, crisol donde se funden normas y procedimientos de por lo menos tres escuelas, la francesa (Tricart, 1972), holandesa (Verstappen, 1983) y rusa (Bashenina, 1977; Lugo, 1988 y Zamorano, 1990).

La cartografía geomorfológica realiza un inventario de formas de relieve (Peña Monné, 1997), a través del cual, distinguen los procesos endógenos y exógenos que le dieron origen, del mismo modo, es posible entender el modelado actual o del pasado, para de esta manera, conocer la dinámica y evolución de cualquier sector de la corteza terrestre.

El análisis geomorfológico hace evidente los vínculos que existen entre la naturaleza y la actividad humana, de manera tan puntual que permite definir planes de prevención y mitigación de fenómenos naturales que derivan en desastre, las inundaciones en la ciudad de Monterrey son un ejemplo de ello.

La cartografía que se analiza en este capítulo es resultado de la interpretación de un modelo sombreado (*hillshade*), elaborado con datos LiDAR de resolución de 5 m (INEGI, 2012) (Fig. 35 A), un mosaico de ortofotos (INEGI, 2007; Fig. 35 B) y de trabajo de campo en diciembre de 2017.

Con el fin de lograr mayor detalle en las planicies, se utilizó la herramienta *curvature* (ArcGis 10.5), con el fin de fragmentar los terrenos mencionados de acuerdo con su geometría (cóncava, recta o convexa), de esta manera se logró una representación y caracterización, más precisa.

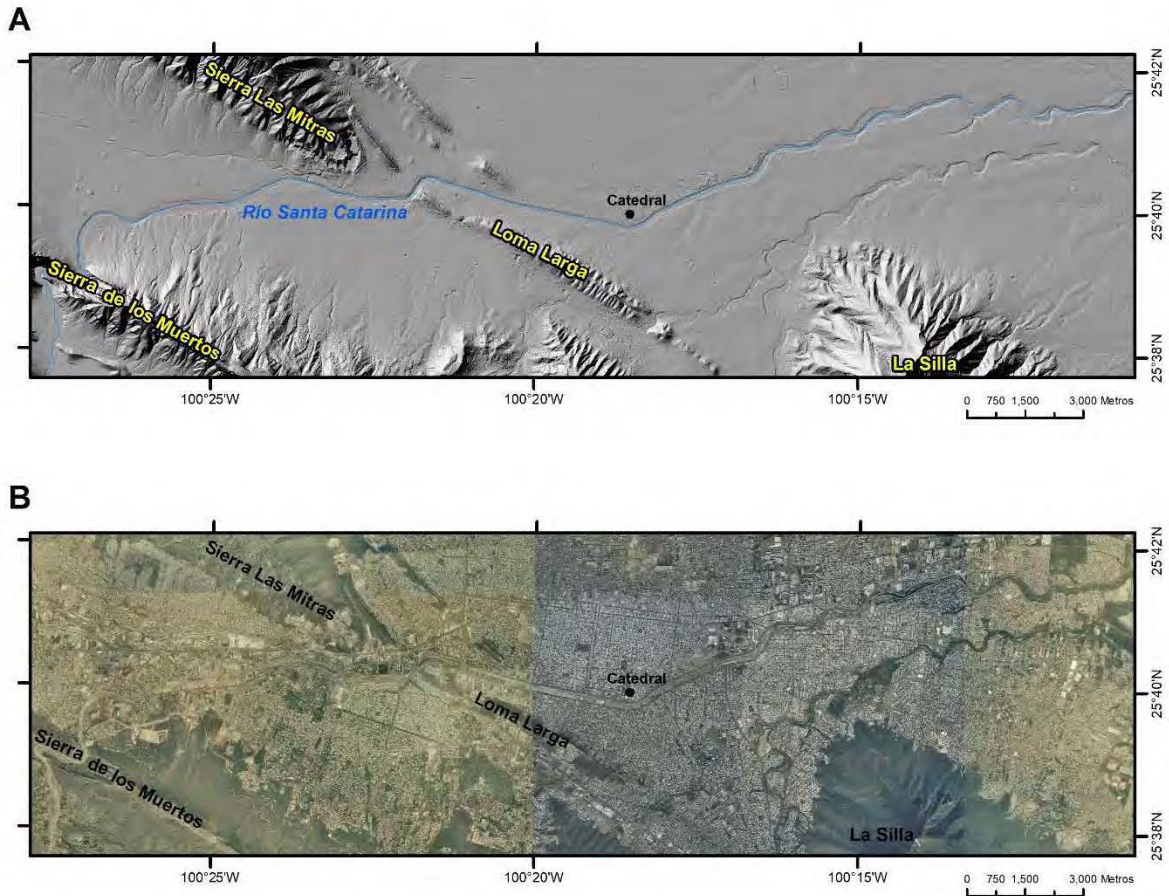


Figura 35. (A) Modelo sombreado; (B) mosaico de ortofotos, materiales utilizados en la elaboración del mapa geomorfológico (INEGI 2007 y 2010).

El relieve que integra el mapa geomorfológico de la ciudad de Monterrey (ver mapa Anexo), se ha dividido dos grupos genéticos, el endógeno modelado y el exógeno, el criterio utilizado en esta clasificación es el de Bashenina (1977) y el de Simonov (1985). El análisis de la cartografía sigue el orden de la leyenda y se presenta a continuación:

RELIEVE ENDÓGENO MODELADO

1. Estribaciones de la Sierra Madre Oriental

1.1 Laderas de montaña intensamente modeladas (crestas anticlinales)

RELIEVE EXÓGENO

2. Erosivo fluvial

2.1 Valles

a) < 20m

b) > 20m

3. Acumulativo fluvial

3.1 Llanura de inundación:

a) Activa

b) Inactiva

3.2 Terrazas fluviales

3.3 Glacis (planicies complejas) con geometría:

3.3.1. Convexas, rectas y cóncavas

4. Rampas acumulativas proluviales-gravitacionales

4.1 Colgadas

4.1.1 De valle estructural (*comba*)

4.1.2 En mantos

4.2 Asociados a frentes rocosos

4.2.1 Marginales a laderas de montaña

4.2.2 Radiales a crestas aisladas

4.2.3 En cajón

4.3 Escalonadas

4.3.1 Con ápices al interior del frente montañoso

4.3.2 De transición

4.3.3 Frontales

4.4 Asociadas a crestas anticlinales

4.4.1 Proximales

4.4.1.1 En abanicos coalescentes

4.4.1.2 Cubiertas proluviales - diluviales

4.4.2 Taludes de transición

4.4.3 Mantos acumulativos distales

RELIEVE ANTRÓPICO

5. Relieves transformados

5.1 Minas a cielo abierto

5.2 Superficies niveladas

SÍMBOLOS COMPLEMENTARIOS

Contactos

- a) Reales
- b) Inferidos

Escarpes – litológicos (*caprock*)

Escarpes de terraza fluvial

Líneas de flujo en las rampas con morfología:

- a) De abanico
- b) De abanico sobre sustrato rocoso visible
- c) De rampa-abanico
- d) De rampa-planicie

Vialidades principales

Relieve endógeno modelado

Este grupo concentra formas de origen endógeno, que, al estar expuestas a procesos modeladores intensos por largos periodos de tiempo, han perdido su morfología primaria. La Sierra Madre Oriental (SMOr) es un ejemplo de lo anterior, su origen se vincula con movimientos tectónicos que elevaron el piso oceánico al término del Mesozoico. En este proceso, las rocas marinas (sedimentarias), deformaron (pliegues) y fracturaron (fallas). Los procesos exógenos (erosivos) comenzaron a establecer su morfología, en el momento que alcanzaron la superficie.

1. Etribaciones de la Sierra Madre Oriental

La Sierra Madre Oriental (SMOr) tiene una dirección NE-SE, presenta dos cambios de dirección, a la altura de Monterrey se orienta de E-W y en las cercanías de la Ciudad de Piedras Negras su rumbo es de NE- SW, con esta dirección ingresa al territorio de Estados Unidos.

Esta región se conoce como Curvatura de Monterrey, su complejidad está determinada por la unión de dos Provincias Fisiográficas (SMOr y Llanura Costera del Golfo Norte) distintas en origen, temporalidad, litología, morfología y dinámica. A lo anterior se suma una marcada influencia tectónica que se puede reconocer en la deformación, disposición de pliegues y crestas sedimentarias.

1.1 Laderas de montaña intensamente modeladas (crestas anticlinales)

Las laderas de montaña corresponden a los flancos de estructuras plegadas, su origen es endógeno y se asocian con movimientos compresivos, lo que provoca un acortamiento y engrosamiento de la corteza terrestre (Tarbuck, 2008). En el caso de Monterrey, este tipo de deformaciones se presentan de manera grupal y a nivel regional recibe el nombre de *Curvatura de Monterrey*.

En la zona de estudio se reconocen pliegues simétricos y recostados, estos últimos tienen como característica un eje inclinado cercano a 45° (Sánchez-Martínez y Velozo-Figueroa, 2007). Su morfología es variada, sin embargo, el interés de este trabajo es geomorfológico y no estructural, por esta razón se han nombrado de manera general como crestas anticlinales. Este concepto se entiende como una o un conjunto de estructuras plegadas, cuya cima presenta una morfología aguda y discontinua, producto del modelado exógeno (Fig. 36).

Las crestas anticlinales presentan cambios de altura en distancias cortas, del orden de 700 a 1800 m. Los datos resultan de la diferencia de la cota más baja (inmediata), a la más alta (cima), el índice que se obtiene se conoce como amplitud del relieve y en este caso es de 1100 metros, hecho que explica la intensidad de la erosión fluvial en este territorio.

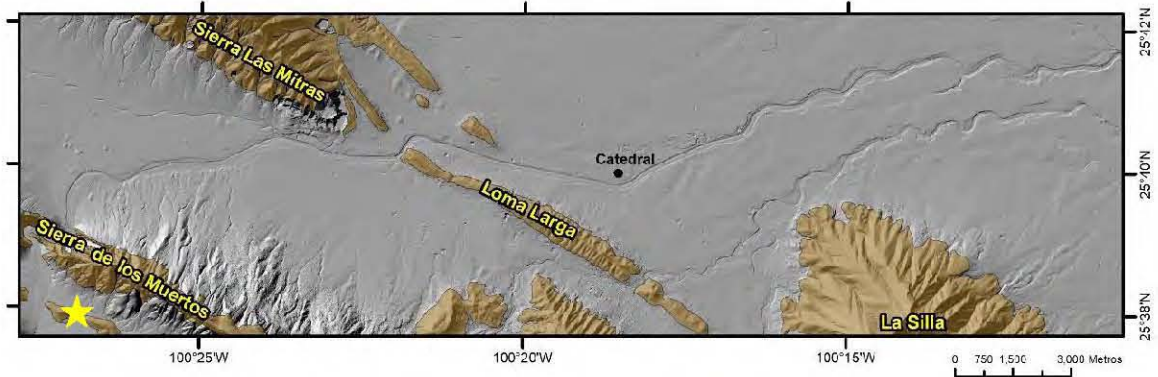


Figura 36. La acción fluvial y los procesos gravitacionales son los responsables del intenso modelado (en color café). La estrella muestra el sitio de la fotografía de la figura 37.

Por otro lado, la dinámica de las laderas (desprendimientos, caídas y deslizamientos) tiene su explicación en la existencia de laderas con fuerte inclinación: 30° y 85° (Fig. 30). A estas características se suma su arreglo litológico (estratos a favor de la pendiente), existencia de una densa red de estructuras disyuntivas (fallas y fracturas) y un excedente de agua (lluvias ciclónicas), que lubrican los planos de debilidad y favorecen el movimiento ladera abajo (Fig. 37).



Figura 37. La Sierra de los Muertos es un ejemplo de laderas de montaña a manera de barras y hogbacks intensamente modeladas (octubre 2014).

Relieve exógeno

El relieve que integra este grupo genético resulta de la interacción del clima y la dinámica de la corteza terrestre. En esta asociación, la latitud, altitud, litología y tipo de vegetación definen el agente modelador que será responsable no solo de la morfología, sino también de la intensidad y área de influencia. En este marco, la erosión fluvial y los procesos gravitacionales son los procesos que dominan en la zona de estudio y son ellos, los que controlan las formas erosivas y acumulativas que integran el territorio de Monterrey.

2. Erosivo fluvial

En este apartado, se analizan relieves que resultan del desgaste o destrucción de las rocas, debido al paso de las corrientes fluviales. Este proceso, junto a la actividad gravitacional crean valles (Lugo-Hubp, 2011), formas consideradas *negativas* por desarrollarse por debajo de la superficie inmediata.

2.1. Valles

Los factores que favorecen el desarrollo de los valles en la horizontal como en la vertical son; la susceptibilidad o competencia de la roca a la erosión, la existencia de un sustrato impermeable, presencia de estructuras de debilidad (fracturas, fallas, contactos litológicos y geomorfológicos) e inclinación del terreno. Se dividieron de acuerdo con un parámetro morfométrico en mayores o menores a 20 m de profundidad.

< 20 m

La morfología y dinámica de este tipo de valles responde a diseños fluviales específicos como el dendrítico y subdendrítico que se localizan en las laderas montañosas y trenzado, presente en la planicie de inundación del río Santa Catarina (Fig. 38).

En dicho territorio, este tipo de cauces llegan a ser efímeros ya que pueden desaparecer por modificaciones sustantivas tanto en la zona de montaña,

piedemonte y planicie. Todo esto como consecuencia del desmedido crecimiento urbano de Monterrey que conlleva una constante transformación del relieve.

El significado geomorfológico de los diseños fluviales, se explican a continuación:

El patrón de drenaje dendrítico se desarrolla en zonas montañosas antiguas, en donde las rocas han tenido largos periodos de exposición a los procesos de intemperismo y erosión (Guerra, 1980). Durante estos estadios, la red fluvial se va integrando bajo la influencia de la inclinación (por lo regular ocurre en ríos cataclinales), geometría, orientación y longitud de las laderas.

Este tipo de patrón también indica la existencia de una litología dominante, en este caso se trata de rocas sedimentarias marinas (calizas, areniscas y lutitas) donde la existencia de fallas y fracturas controla la dirección de los principales afluentes.

El patrón subdendrítico es una variación del dendrítico, se diferencia por presentar una densidad menor de cauces, hecho que responde a la existencia de una morfología e inclinación del relieve homogéneo o simplificado (Guerra, 1980).

La configuración subdendrítica en la área de estudio, ocupa el sector distal de la zona de montaña, se dispone sobre terrenos que están en contacto con el piedemonte y su existencia, pone en evidencia rocas más competentes, en este caso se trata de caliza en los flancos de las montañas-pliegue (anticlinales), mientras que al interior de estas estructuras, existen areniscas y lutitas que al ser más sensibles a la erosión, favorecen el desarrollo de arreglos fluviales densos (dendríticos).

En general, los ríos que integran este apartado se caracterizan por el predominio de la erosión sobre el depósito, la dinámica es torrencial en época de lluvias tanto estacionales como ciclónicas, donde son removidos grandes volúmenes de detritos desde los terrenos cumbrales, hacia las rampas detríticas que bordean las montañas y que constituyen el piedemonte (Fig. 39).

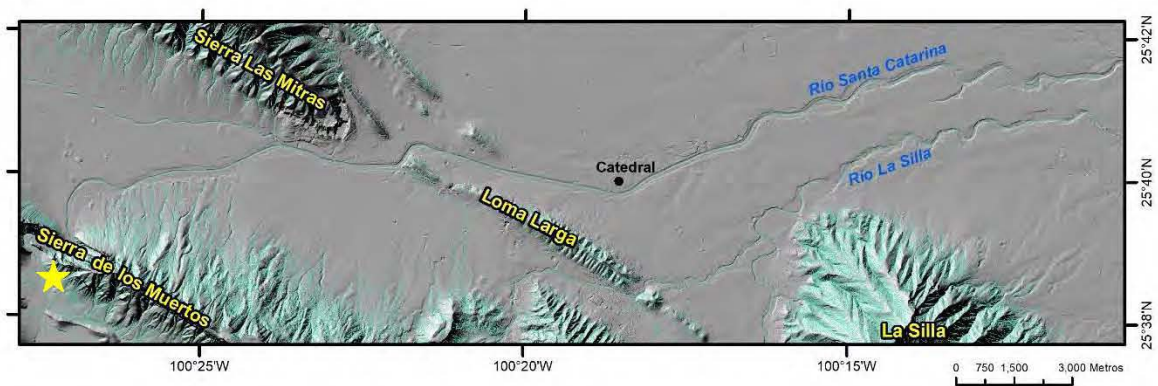


Figura 38. Los cauces < 20 m se localizan cercanos a la cumbre y en las laderas de montaña, algunos de ellos llegan al piedemonte y a las planicies complejas (glacis).

La configuración trenzada se presenta en la llanura de inundación del río Santa Catarina y La Silla, el primero, ha sido modificado por el humano desde la primera fundación de Monterrey en 1577. En la actualidad, las dos llanuras de inundación han sido rectificadas a partir de la construcción de un sistema de diques (< 10 m), que impiden variaciones laterales y que tienen la finalidad de contener las crecidas en temporada de lluvias extraordinarias.



Figura 39. Cauce con profundidad < 20 m sobre las laderas de la Sierra de los Muertos, su localización se muestra en la figura 38: ★ (diciembre, 2014).

Al interior de las respectivas paredes de contención y, sobre las llanuras de inundación, en ambos casos, se observa una intrincada red de canales que se entrecruzan y están separados por bancos de arena. El significado geomorfológico de este diseño fluvial manifiesta la incapacidad de los ríos para transportar su carga y al mismo tiempo, refleja una abundancia de detritos que se asocia a una intensa erosión en la cuenca alta de este río (Fig. 38).

> 20 m

Este tipo de cauces son característicos del piedemonte, su existencia se explica a partir de la sobreposición de abanicos proluviales, al margen de laderas y frentes montañosos. En un inicio, los detritos se depositaron al pie de las montañas (Fig. 40 A), al continuar este proceso se forma una segunda generación con morfología similar a la primera. En ella se observan los ápices desplazados indistintamente hacia los flancos de los conos iniciales, migración que obedece a la búsqueda de geometrías cóncavas por parte de los ríos para fluir (Fig. 40 B).

La sobreposición de abanicos proluviales, forma una rampa continua, larga, amplia y de espesor potente alrededor de los conjuntos montañosos, estructura que se conoce como piedemonte (Fig. 40 C). Una vez que se construye esta forma acumulativa, incluso antes, la morfología original comienza su transformación por efecto de la erosión, este proceso inicia con la nivelación de la rampa y la pérdida de las fronteras de los antiguos conos. Al mismo tiempo el drenaje se integra en un diseño paralelo, que sigue los límites distales de cada estructura inicial (Fig. 40 D y 41).

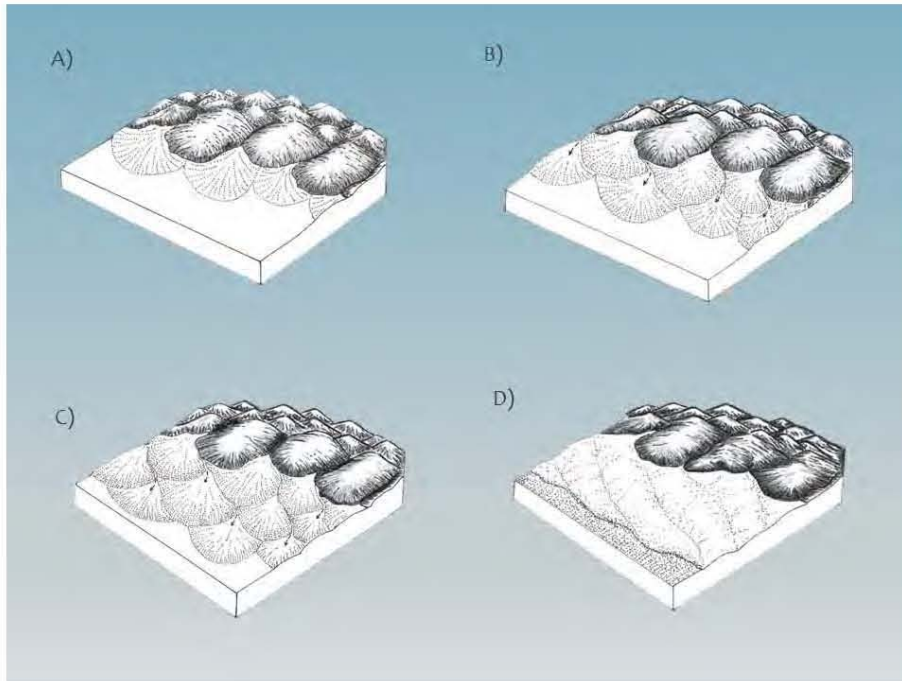


Figura 40. Modelo que muestra la génesis de un piedemonte a partir de la sobreposición de abanicos proluviales. El bloque D, muestra un patrón de drenaje subparalelo responsable del modelado de la rampa acumulativa (Ortiz-Pérez, 1985).

Los ríos > 20 m de profundidad se desarrollan entre las fronteras de los antiguos abanicos, en estos sitios los cauces definen valles en V, donde predomina la erosión sobre el depósito. No obstante, existen estrechas y largas llanuras aluviales intermontanas al interior de los conjuntos montañosos.

El poder erosivo de este tipo de cauces se magnifica en temporada de lluvias ciclónicas (julio-octubre), en este periodo, importantes acarreos de escombros son transportados de la zona de montaña a la planicie, muchos de ellos se quedan atrapados en las rugosidades del piedemonte (diluviones).

Es importante mencionar que la mayoría de los cauces > 20 m, desaparecen en la porción media del piedemonte de forma gradual (Fig. 41). Existen dos explicaciones para este hecho, la primera, se relaciona con la disminución de la inclinación del terreno. Cuando este factor decrece, el escurrimiento se divide en numerosos regueros y se filtra o se evapora, además de que libera su carga, principal responsable de su potencial de incisión. La segunda opción tiene que ver con el

crecimiento urbano, los cauces se convierten en avenidas, se entuban o en el peor de los casos se rellenan en su porción terminal.

Otros factores relacionados con la existencia de la configuración paralela son la inclinación del terreno, morfología y existencia de un sustrato homogéneo. En la zona de estudio el piedemonte se inclina en un rango de valores que va de 10° a 25°, no presenta resaltes ni cambios en su morfología, hecho que favorece un decremento gradual de la pendiente y el desarrollo de escurrimientos largos que, en conjunto, definen el patrón en cuestión.

En cuanto al sustrato, se trata de detritos fluviales poco consolidados, con texturas que varían de arenas finas (2.25 - 3 Φ : de acuerdo con la clasificación sedimentológica de Folk, 1969) a bloques (256 Φ : Corrales et al., 1977), estas condiciones favorecen la incisión vertical y la permanencia del diseño en superficie (Fig. 41).

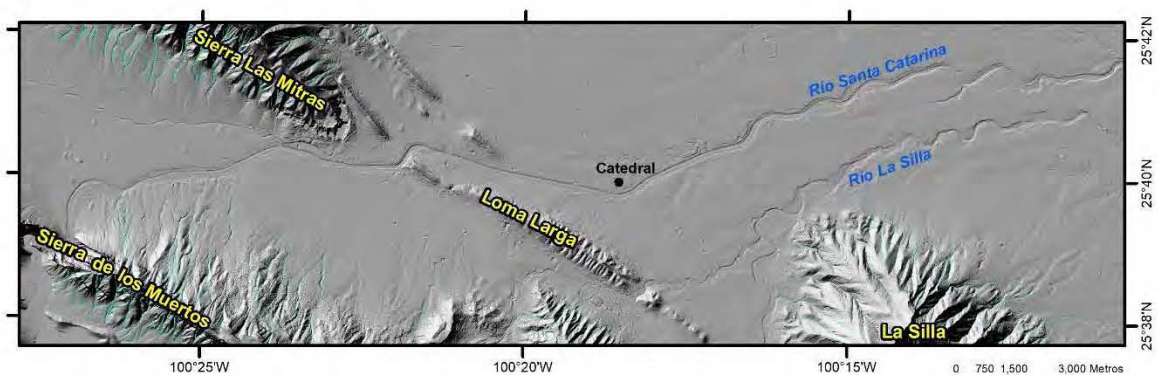


Figura 41. Los cauces > 20 m se emplazan entre las antiguas fronteras de abanicos proluviales, profundizan en la porción media del piedemonte y desaparecen de forma gradual hacia las zonas planas.

Su existencia indica variaciones en la inclinación del terreno, morfología y litología, condiciones que se reflejan en un espaciamiento irregular entre cauces, pérdida de integración o conectividad entre ríos, ausencia de afluentes y diferencias marcadas en longitud. Son característicos de los sectores más distales del piedemonte y de las planicies complejas (*glacis*).

Los cauces de la zona de Monterrey presentan continuas modificaciones, todas vinculadas con la expansión urbana. Con el objetivo de obtener una configuración

fluvial pre-crecimiento de la ciudad, se interpretó un modelo LiDAR de terreno con 5 m de resolución (INEGI, 2012), *limpio* de datos de superficie (construcciones), lo que facilita la interpretación de la morfología. El resultado hace evidente tres condicionantes que determinan la existencia de estos ríos (Fig. 42):

- I. Fallas, fracturas, contactos y arreglo estructural (pliegues y estratos) en la zona de montaña.
- II. Sobreposición de abanicos proluviales y sus distintas fases de evolución.
- III. La pendiente regional, en las planicies complejas (glacis): SW-NW y SE-NW.

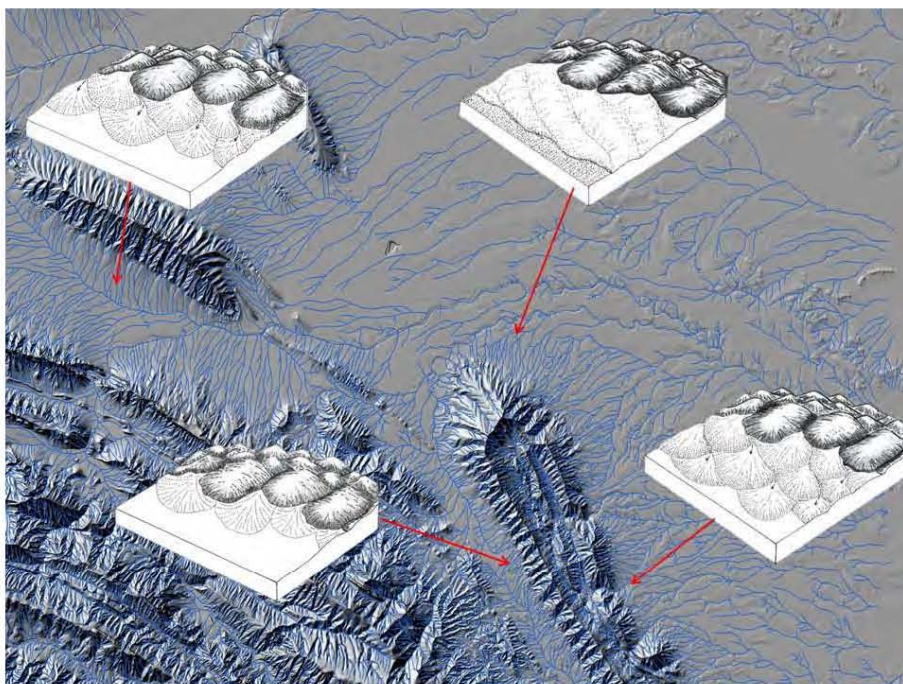


Fig. 42. Modelo LiDAR con 5 m de resolución, en él se muestra la configuración fluvial y la evolución del piedemonte a partir de los diferentes estadios de superposición de abanicos proluviales en Monterrey (con base en la propuesta por Ortiz-Pérez 1985).

3. Acumulativo fluvial

En este apartado se analizan las formas terrestres que tienen como origen la deposición, en particular la que se vincula con la de transporte fluvial, la variedad y tamaño del relieve resultante, depende de la intensidad del proceso, a mayor capacidad de modelado (erosión), mayor es la carga; de este factor dependen las

dimensiones. La variedad morfológica tiene que ver con la frecuencia del agente modelador (dinámica), aspecto que se relaciona con la precipitación de forma directa.

Las expresiones morfológicas resultantes se explican a continuación:

3.1 Llanura de inundación

Se trata de superficies con poca inclinación que se desarrollan en valles amplios y de morfología de subhorizontal a ligeramente ondulada, por lo general estos terrenos se inundan en su totalidad o de manera parcial en la temporada de lluvias de tipo estacionales o extraordinarias.

Su origen se asocia con la acumulación de capas de aluvión, depositadas durante las crecidas y marcan la zona de influencia máxima de los ríos. Al interior de este tipo de llanuras, son frecuentes los bancos de aluvionamiento, terrazas, diseños de drenaje trenzados y meandros. Estos últimos, al migrar de manera *libre* dentro de la superficie subhorizontal, son los responsables del aumento de amplitud.

En la zona de estudio existen tres llanuras de inundación, de ellas la del río Santa Catarina es la más importante por su longitud, amplitud y periodicidad de inundación para la ciudad de Monterrey, hecho que ha condicionado su morfología por los últimos 441 años. Con respecto a los lechos aluviales de los ríos La Silla y El Obispo, también han sido modificados en la medida que el crecimiento urbano ha integrado los terrenos adyacentes a los cauces mencionados.

Los cambios más sustantivos se localizan en los sectores que cruzan la ciudad, en donde se han construido los muros de contención altos y anchos, esto con el fin de prevenir futuras inundaciones. La presencia de estas estructuras a lo largo de las llanuras de inundación define una morfología en donde alternan tramos rectilíneos ondulados, sinuosos y en *zigzag* (Fig. 43).

a) Activa

En esta categoría se incluyen las llanuras de inundación de los ríos Santa Catarina, La Silla y Obispo, todas ellas presentan una dinámica muy activa durante las lluvias estacionales, siendo en la temporada de ciclones donde adquieren su mayor capacidad de erosión-transporte-acumulación. En todos los casos la llanura de inundación ocupa la porción más deprimida de los valles, que en este caso son amplios y de fondo plano.

La morfología subhorizontal y ligeramente ondulada es característica de las llanuras de inundación de la zona estudio. Al emplazarse estas estructuras en los terrenos con menor altitud, a ellas se integran numerosos afluentes erosivos que vierten su carga a la del río principal; de esta manera, la superficie acumulativa crece en la vertical.

La llanura de inundación activa más representativa es la del río Santa Catarina, su cuenca de captación en su mayoría se localiza al interior de la Sierra Madre Oriental, representa un afluente importante del río Bravo y llega a él como un cauce amplio de fondo plano y con un patrón de drenaje sinuoso. La amplitud promedio de la llanura aluvial es de 240 metros, pero existen sectores que se aproximan a los 500 m.

Con respecto a la erosión-acarreo y sedimentación de detritos en el río Santa Catarina, ha cambiado desde 2004 con la construcción de la presa Rompepicos, razón por la cual los procesos mencionados, solo están activos en la temporada de lluvias excepcionales, época donde es posible observar su funcionamiento de manera parcial o inundado en su totalidad (Fig. 44).

Las llanuras de los ríos La Silla y El Obispo, presentan una morfología muy parecida a la del río Santa Catarina, pero con longitudes y amplitudes más reducidas, en promedio es > 400 m. Por lo que influyen el tamaño y la cercanía de las respectivas cuencas de captación; El Cerro La Silla y parte de la Sierra de los Muertos para el curso del río que lleva el mismo nombre y la Sierra de las Mitras, para el de El Obispo.

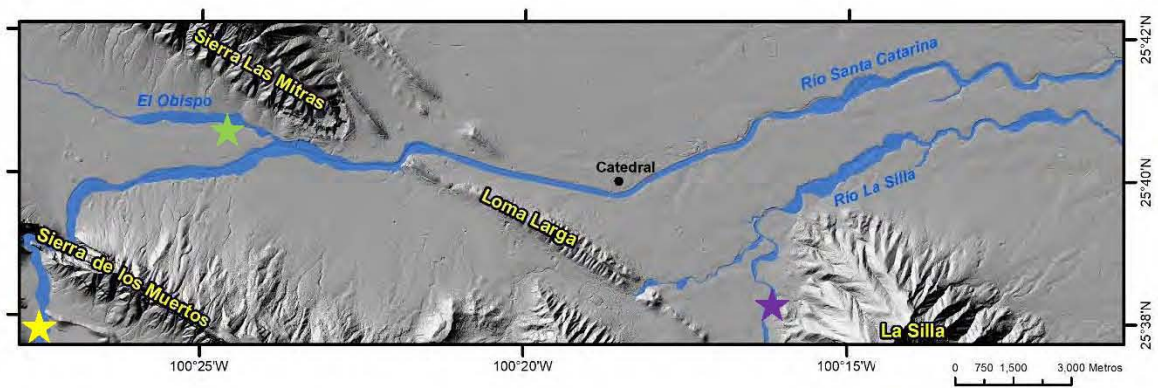


Figura 43. Llanuras de inundación en planta, se observan morfologías rectilíneas, onduladas, sinuosas y en zigzag, todas ellas vinculadas con la acción antrópica.



Figura 44. Llanura de inundación de morfología subhorizontal-ligeramente ondulada y *encajonada* por frentes montañosos y laderas de fuerte inclinación. Se observa un patrón de drenaje de incipiente trenzado, bancos de material y terrazas fluviales, integradas por bloques a gravillas. La figura 42 muestra la localización de la imagen: ★ (Octubre, 2014).

Cabe mencionar que, los terrenos adyacentes a las llanuras antes descritas se encuentran urbanizadas, este hecho representa un peligro de inundación importante para los habitantes de la ciudad de Monterrey. Como medidas de protección se ha

construido una infraestructura que evita el desastre como: canales antrópicos amplios (Fig. 45 A) y bardas-dique en las zonas habitacionales (Fig. 45 B).



Figura 45. (A: ★) Obras de contención en Río El Obispo, canal amplio y con desazolve para facilitar el paso del torrente fluvial. (B: ★) Barda-dique (de 1.6 m de altura), evita las inundaciones estacionales en la colonia Rincón de la Primavera. Las estrellas muestran la localización de las imágenes en la figura 42 (diciembre, 2017).

b) Inactiva

Esta forma de relieve se puede distinguir en el extremo SW de la zona de estudio, son llanuras de inundación intermontanas con una morfología subhorizontal e inclinada que presentan cauces efímeros que sólo se activan con potentes precipitaciones (Fig. 46). En promedio se encuentra un metro y medio por encima de la llanura de inundación actual, está conformada de una sucesión de capas de arena, gravas, gravillas, cantos y bloques, en su mayoría de calizas y areniscas.

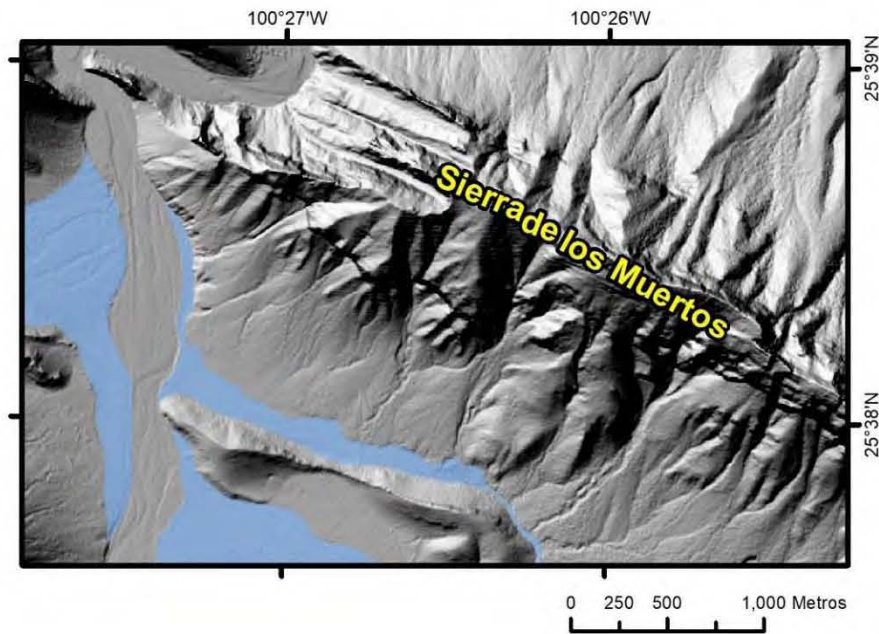


Figura 46. La llanura de inundación inactiva (en azul claro), se trata de un antiguo lecho fluvial abandonado en la vertical, se localiza 1.5 metros por encima del cauce actual.

3.2 Terrazas fluviales

Son formas acumulativas asociadas a los depósitos fluviales, su génesis está relacionada con el abandono del lecho fluvial o de una llanura de inundación, en la vertical. Este proceso se asocia con lluvias torrenciales (transporte – acumulación) o levantamientos tectónicos, donde el resultado de su profundización genera superficies más altas en relación con el terreno inmediato, pueden ser continuas y alargadas o cortas y discontinuas. La morfología superficial es subhorizontal, ondulada o en gradería (Lugo-Hubp, 2011).

En la cuenca alta del río Santa Catarina se pueden distinguir cuatro generaciones de terrazas, alargadas, amplias (85 m), asimétricas y en gradería, se localizan en las estribaciones de la Sierra Madre Oriental y por este hecho es probable que su origen sea tectónico-erosivo (Fig. 47). En la actualidad la urbanización no ha alcanzado este punto, en la medida en que el río se desplaza hacia la ciudad, la terraza más alta se ha ocupado, primero por viviendas informales, después por complejos habitacionales o comerciales.

En la zona urbana se distinguen con dificultad dos niveles de terraza, sin embargo, no es posible identificar su correspondencia, debido a los cambios que la actividad humana ha realizado sobre estos terrenos (Fig. 48).

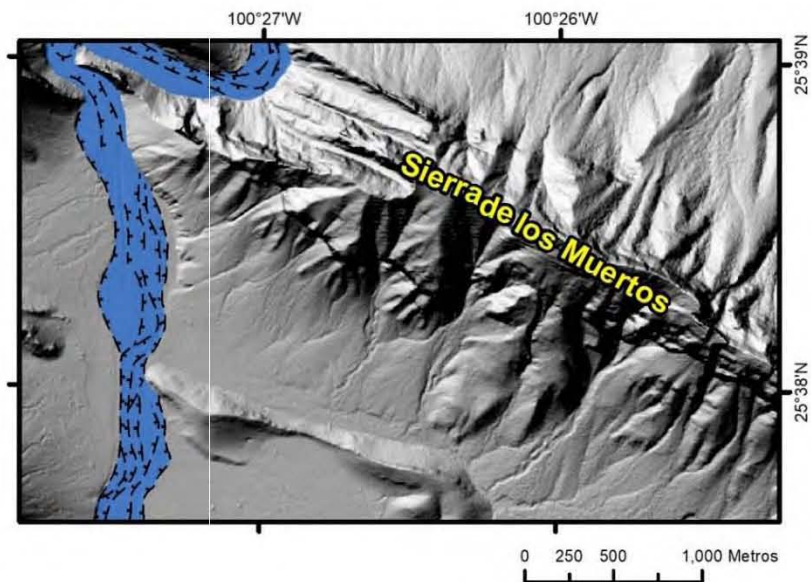


Figura 47. En línea negra y discontinua, se representan una serie de terrazas, hasta 5 niveles, alargadas asimétricas y en gradería, en el extremo SW de la zona de estudio.



Figura 48. Dos niveles de terrazas (T1 y T2) en la llanura de inundación del río Santa Catarina, entre los puentes de las avenidas Cuauhtémoc y Pino Suárez (diciembre 2017).

De igual forma este tipo de relieve es común en la llanura de inundación de los ríos La Silla y El Obispo. En el primer caso, la amplitud promedio de las terrazas es de 130 m y en el segundo de 100 m.

Estos territorios forman parte de la zona urbana de Monterrey, el hecho de tener menor densidad de construcciones con respecto a las del río Santa Catarina, es por un menor desarrollo de terrazas al interior de las llanuras de inundación.

3.3 Glacis (planicies complejas)

Se considera un relieve acumulativo de origen complejo, característica que no se refleja en su morfología. Lugo-Hubp (2011), lo define como un plano inclinado al pie de una fortificación, se trata de una rampa situada en la base de las montañas y que mantiene una pendiente suave y homogénea.

En la zona de estudio existen dos estructuras de este tipo, la oriental más extensa (Santa Catarina-La Silla) y la occidental de menor tamaño (El Obispo). Ambas superficies están completamente urbanizadas, sobre ellas está construida parte de la ciudad de Monterrey.

La interpretación geomorfológica del glacis se realizó a partir de la existencia de datos LiDAR de terreno (5 m, horizontal - 1 m, vertical: INEGI, 2012), información que fue analizada a través de la herramienta *curvature* (ArcGis 10.5). El resultado fue una imagen sin infraestructura urbana, en donde se observan las geometrías cóncavas, convexas y rectas que existen en el glacis, de esta manera se hizo posible entender el origen, morfología, dinámica de la rampa, así como el vínculo que existe con las inundaciones de la ciudad de Monterrey (Fig. 49).

Las rampas identificadas presentan características genéticas, morfológicas y dinámicas similares. La diferencia está en su área, altitud e inclinación. El glacis Santa Catarina - La Silla tiene un área de 70 km², su altitud promedio es de 510 msnm (máxima 580 msnm y mínima 430 msnm) y 2° de inclinación promedio, (con máxima de 6° y mínima de 0.9°).

El *glacis* El Obispo ocupa 8 km² en el sector occidental de la zona de estudio, su altitud promedio es de 645 msnm (máxima 680 msnm y mínima 610 msnm) y 1.5° de inclinación promedio (máxima 1.5° y mínima de 0.9°).

Este relieve tiene un origen erosivo-planar, es decir, desaparecen las rocas superficiales por ser más competentes a la erosión (suprayacentes); de esta manera, al quedar expuestos materiales más resistentes (infrayacentes), disminuye la intensidad de la disección y se incrementa la acumulación en la base (Lugo, 2011). Esta idea explica el sector proximal NE, de las Mitras, Cerro del Obispo y Loma Larga, así como la frontera occidental del glacis El Obispo.

Por otro lado, la zona central y distal de ambas rampas, se entienden con otro modelo genético (Gutiérrez-Elorza, 2008), que toma en cuenta la existencia de valles procedentes de la zona de montaña, que al llegar a terrenos subhorizontales de poca inclinación, el flujo se transforma en una lámina de agua en donde los sedimentos se derraman de forma turbulenta, no confinada (avenidas) de morfología lobular (Fig.49).

El *glacis* es un relieve de transición entre la montaña y terrenos de baja altitud, su dinámica está caracterizada por el transporte y la sedimentación; en general, en este tipo de rampas predomina el depósito sobre la erosión y son frecuentes en zonas áridas y semiáridas, donde la vegetación es escasa y no representa obstáculo para la escorrentía.

Si bien en los ambientes áridos y semiáridos existe un déficit hídrico, las lluvias que se llegan a presentar son de régimen torrencial, que favorecen la existencia de cursos de agua intermitentes, no muy extensos y abundante carga. En la medida que avanzan a favor de la pendiente, derivan a una arrollada en manto.

El significado geomorfológico del glacis es la estabilidad cortical, que favorece un ambiente de erosión en las zonas de montaña y la sedimentación en los terrenos bajos. Estas condiciones se reflejan en la existencia de frentes montañosos sinuosos como en la sierra Las Mitras y Loma Larga (Fig. 49).

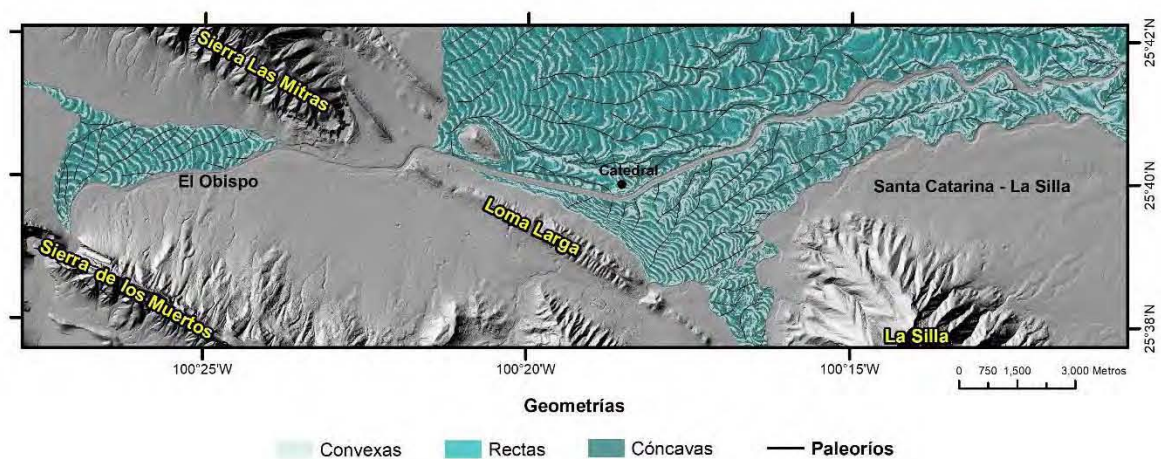


Figura 49. Imagen LiDAR de terreno, en ella se han eliminado las construcciones de la ciudad de Monterrey con el fin de mostrar la morfología del glaciar. Se observan numerosos flujos de escombros lobulados asociados a lluvias torrenciales. Entre los depósitos tiene desarrollo un paleodrenaje dendrítico poco denso (INEGI, 2012).

3.3.1 Superficies convexas, rectas y cóncavas

La cartografía geomorfológica muestra la alternancia y espacialidad de las geometrías cóncavas, rectas y convexas en la superficie del glaciar. De esta manera es posible interpretar la morfología de los depósitos asociados a la dinámica torrencial de la región (mapa anexo y Fig. 49).

La alternancia de las geometrías en que está dividido el glaciar, permite explicar su significado geomorfológico y su vínculo con las inundaciones.

Las superficies cóncavas se asocian con los frentes laterales y frontales de los lóbulos detríticos; de igual forma, corresponden a las crestas de mantos ondulados. Este tipo de morfología es característica de la porción media y distal de la rampa El Obispo, así como de la porción proximal y centro-norte de Santa Catarina - La silla (mapa anexo y Fig. 49).

La geometría convexa favorece la dispersión de los líquidos hacia los flancos, en este caso, hacia los terrenos rectos inclinados que funcionan como superficies de tránsito. Sobre ellos el agua de lluvia fluye hacia los terrenos cóncavos, que vistos

en planta, definen cubetas y surcos de encharcamiento, estos últimos en un arreglo paralelo (mapa anexo y Fig. 49).

La tercera expresión morfológica relacionada con geometrías cóncavas (colectoras), se vincula con la existencia de paleocanales poco profundos (Fig. 49). Estas formas de relieve negativo sirvieron para evacuar el excedente de agua pluvial retenida en las fosas y surcos y el agua proveniente de manantiales ubicados en las proximidades del centro histórico de la ciudad de Monterrey.

La morfología y dinámica geomorfológica del *glacis*, está cubierta en su totalidad por la ciudad de Monterrey. En este marco hay que mencionar que los edificios fueron contruidos sobre un terreno ondulado y ligeramente inclinado, las modificaciones al terreno no fueron trascendentes, los desniveles y resaltes no condicionaron la construcción de la ciudad. El resultado fue un manto de cemento adaptado al terreno preexistente, este hecho explica los encharcamientos e inundaciones estacionales en el área metropolitana. Con el fin de hacer evidente la importancia de la morfología del *glacis* en las inundaciones actuales de la ciudad de Monterrey, se realizó un perfil topográfico, donde se utilizó un navegador para obtener el transecto (la localización del transecto se muestra en la figura 53; diciembre, 2017). En su elaboración y representación, se utilizó el modelo digital de INEGI (2012) y el SIG: ArcMap 10.5.

En el perfil se utilizaron los mismos colores que aparecen en el mapa geomorfológico, para distinguir las geometrías que existen en el *glacis*, azul oscuro para las colectoras (cóncavas), gris para las esparcidoras (convexas) y azul claro para las de tránsito (rectas). De esta manera la dinámica pluvial dentro de la zona urbana explica los encharcamientos en la ciudad y su espacialidad (Fig. 50 y mapa anexo).

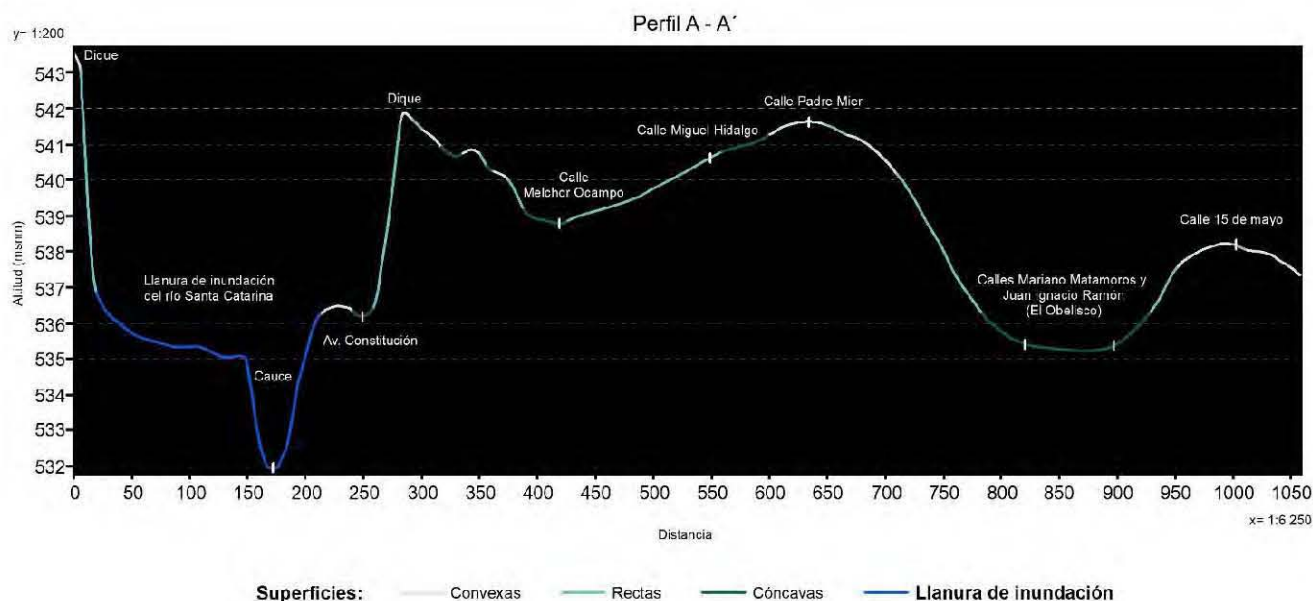


Figura 50. Perfil topográfico levantado en el centro de la zona urbana de Monterrey, muestran las geometrías que favorecen los encharcamientos provocados por lluvias estacionales (cóncavas) y se hace evidente la posición de la llanura de inundación, por encima de la zona urbana de Monterrey.

En el recorrido de campo, llamó la atención la construcción de diques en las márgenes del río Santa Catarina como medida de protección para las inundaciones. Estas construcciones constriñeron el área del cauce y lo confinaron con la construcción de avenidas paralelas dentro del área fluvial. Las obras de infraestructura mencionadas han favorecido la retención de sedimentos y como consecuencia el nivel de la planicie de inundación se ha elevado. Esta idea fue ratificada con el perfil topográfico, en donde el gráfico muestra tres puntos de referencia que están por debajo de los muros de contención: la calle Melchor Ocampo a 3 m; la Glorieta del Obelisco a 7 m (Mariano Matamoros y Juan Ignacio Ramón: Fig. 51) y la avenida 15 de mayo, a 4 m (Fig. 50).

El perfil fue realizado en un pequeño sector de la ciudad y los datos que se presentan son suficientes para evidenciar la alta susceptibilidad del peligro a inundación en la ciudad de Monterrey. Los diques son un elemento clave para evitar la catástrofe, por tal motivo su mantenimiento es primordial. También hay que considerar los azolves, en el sentido de retirarlos del cauce después de cada avenida torrencial. La figura 19 y 21 (segundo capítulo), muestran la situación de la

llanura de inundación en temporada de lluvias extraordinarias, el nivel del río Santa Catarina alcanza el límite de los actuales muros de contención, esto ocurrió con el paso de Gilberto en 1988 y Alex en el 2010.

En el siglo XVI los habitantes de Monterrey tenían la necesidad de regar sus cultivos, para ello construyeron canales que conectaron a cárcavas poco profundas por donde fluía un cauce permanente proveniente de los *ojos de agua* y del *manantial de la fundación* (Fig. 7 B, 51, 52 y 53). Las construcciones hidráulicas de la época se realizaron al aprovechar depresiones naturales formadas entre los depósitos de flujos de escombros para establecer el canal y dirigir el agua hacia donde la requerían (Fig. 54).

Los canales cercanos al cauce principal tenían el objetivo de desviar el agua del río principal hacia el interior de la planicie (glacis) y una vez que los cultivos eran regados, el excedente era eliminado a través de otro canal conectado *río abajo* al Santa Catarina. Este método se conoce como *regadío de boquera* (Bermúdez, 2014), la técnica de construcción fue inventada en la época romana y se usó en Monterrey en 1765, por los españoles (Fig. 54). Si bien, este tipo de regadío permitía aprovechar el agua del río, era un problema debido a que no era posible controlar el ingreso del agua, en la época de crecidas a las zonas de cultivo y terminaban magnificando las inundaciones (Fig. 54: línea morada y roja).



Figura 51. Glorieta El Obelisco, monumento que marca el lugar donde se localizaban los *ojos de agua*, manantiales que en 1765 estaban en la periferia de la ciudad, en la actualidad forman la esquina entre la calle Juan Ignacio Ramón y Av. Cuauhtémoc (diciembre, 2017).



Figura 52. Fuente Monterrey, también se conoce como los manantiales de la fundación de la ciudad (Fig. 7 B). Se localiza frente al edificio de H. Congreso del Estado de Nuevo León (esquina Mariano Matamoros y General Ignacio Zaragoza; diciembre, 2017).



Figura 53. Antiguo canal por donde fluían de manera natural las aguas provenientes de los ojos de agua, localizados en la periferia de Monterrey en 1765. Sobre la antigua depresión se dispone la calle Mariano Matamoros en el cruce de la avenida Cuauhtémoc.

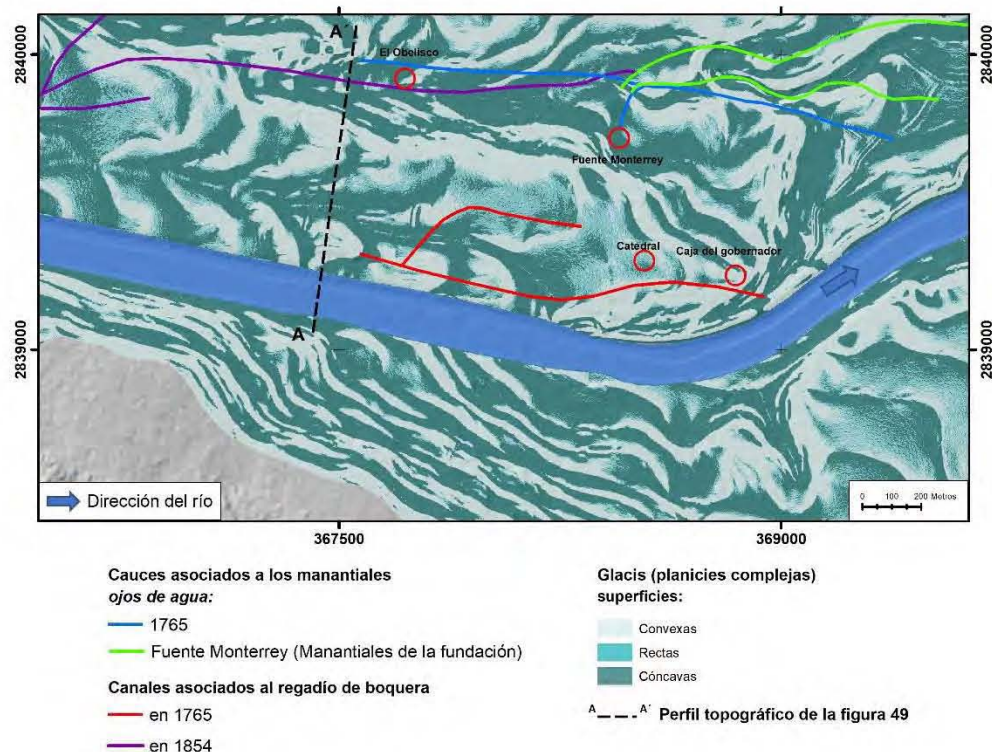


Figura 54. Los manantiales que existieron en Monterrey vertían sus aguas a través de cárcavas poco profundas, mismas que se desarrollaron entre las depresiones que existen entre incipientes pero múltiples flujos de escombros que dieron origen al *glacis*. La morfología cóncava de la rampa se aprovechó en la construcción de canales para riego en 1765 y 1854 (regadío de boquera).

4. Rampas acumulativas: fluviales (proluviales) – gravitacionales.

Es un relieve de transición entre la zona de montaña y las planicies, se trata de formas acumulativas originadas por la actividad fluvial (proluvial) y gravitacional. La interacción de estos procesos, definen morfologías de medios conos recostados, de rampas o mantos.

La morfología de medio cono recostado, resulta de la interacción de procesos gravitacionales y fluviales. Cuando la influencia del agua corriente es mínima o inexistente, esta estructura es angosta, más inclinada (60°) y su ápice se localiza a una altitud $> 1\,590$ msnm. Cuando las condiciones de su formación son opuestas, es decir, existe mayor influencia fluvial sobre la gravitacional, su aspecto es distendido como el de un abanico, su inclinación varía entre $20^\circ - 30^\circ$ y el foco de dispersión ocupa las cotas de $800 - 1\,000$ msnm. Los depósitos que integran estas

formas se conocen como proluviones, de ahí que se conozcan también como conos o abanicos proluviales.

Las rampas y mantos se forman a partir del acarreo de detritos provenientes de los conos y abanicos proximales, a la zona de montaña (ver mapa anexo). En general, la diferencia entre estas dos unidades es la inclinación y la textura de los materiales. En la zona de estudio, el conjunto ocupa los flancos y la base de las crestas montañosas (Las Mitras, Sierra de los Muertos, Loma Larga y La Silla), en donde se integran en una rampa acumulativa extensa (piedemonte).

La dinámica que ha creado la rampa acumulativa fluvial (proluvial)-gravitacional, se observó en la zona de montaña. Aquí algunos sectores del fondo de los valles están ocupados por detritos heterométricos asociados a la actividad gravitacional (vuelcos y caídas), el volumen de los depósitos es variado y en espera de ser desplazados por lluvias estacionales o extraordinarias, río abajo a manera de torrentes.

Los procesos gravitacionales presentes en los valles montañosos tienen como factores condicionantes: la competencia de la roca a erosión (areniscas, lutitas y calizas), el arreglo estructural (buzamiento de los estratos en dirección de la inclinación de la ladera), la existencia de fallas-fracturas, la fuerte inclinación en las laderas y los fenómenos de *zapa*. Si bien todos los factores mencionados son importantes, hay uno o un par de ellos, que tienen más influencia en algún tipo de rampa.

En este apartado se analizan cinco variantes de rampas acumulativas y para ello se tomó en cuenta: morfología, inclinación, altitud del ápice, extensión y la profundidad de sus valles.

4.1 Colgadas

Se trata de mantos detríticos localizados sobre laderas con fuerte pendiente, particularidad que da la ilusión de estar *suspendidos o atorados por algo* que no permite que se deslicen. Los depósitos son heterométricos (de arenas a bloques), mal clasificados y de litología variada, se reconocieron en campo calizas, lutitas y

areniscas. La inclinación de estas superficies varia de 10° a 60°, el espesor es < 5 m, la amplitud y longitud promedio es de 350 m y 435 m.

Se han clasificado de acuerdo con su morfología y se reconocieron las siguientes variantes:

4.1.1 De valle estructural (*comba*)

Este tipo de rampa ocupa depresiones alargadas que siguen el plano axial de antiguos pliegues, desmantelados por intensos procesos fluviales y gravitacionales que definen valles amplios, de fondo plano e inclinados.

El nombre de valle estructural resulta por el control que tiene la estructura geológica en la morfología, orientación y erosión, que en este caso corresponde a un anticlinal que ha sido exhumado por la acción exógena. Como tal, el valle corta el eje del anticlinal por lo que se dispone de manera ortogonal respecto al tren de compresión (Fig. 55).

Las rampas de este tipo son estrechas y alargadas, sobreyacen en terrenos inclinados (35°- 40°) y ocupan las cotas entre 670 -1170 msnm. Su longitud máxima es de 835 m y su amplitud mayor es de 135 m, se orientan de NW-SE, son características de la Sierra de los Muertos. En cada valle, existe un cauce principal que desarrolla un patrón de drenaje en espiga, su profundidad es < 10m (Fig. 55).

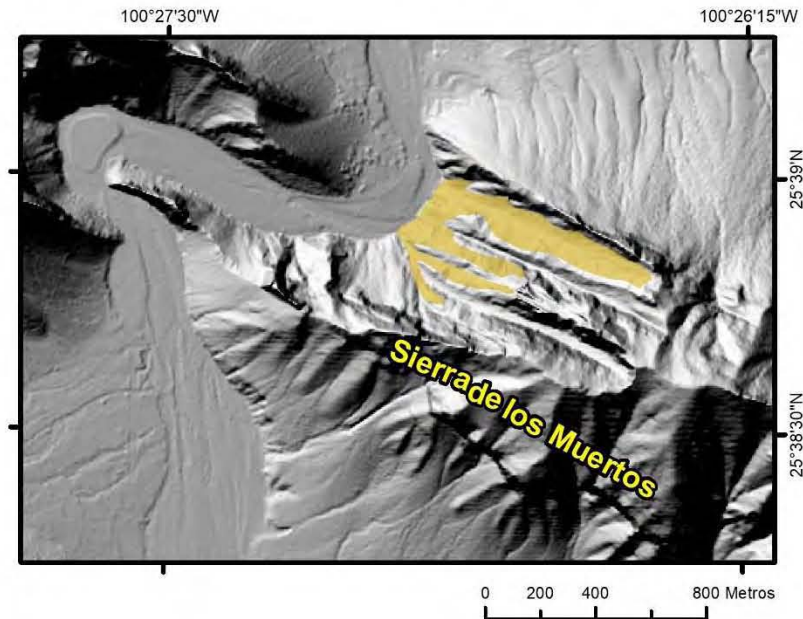


Figura 55. Rampas tipo valle estructural al NE de la Sierra los Muertos (en amarillo).

4.1.2 En mantos

Este tipo de cubiertas de detritos tienen un desarrollo heterogéneo, característica que no permite definir una morfología precisa, adoptan una forma de pseudoabanico - rampa inclinada. Como rasgo común, este tipo de formas están en contacto con la llanura de inundación (activa o inactiva) y, por tanto, están bajo la influencia de las crecidas del río Santa Catarina.

En campo, se observó la base de los mantos socavada por la acción fluvial (zapa), lo que favorece las caídas y el crecimiento en la horizontal de la superficie fluvial (borde gravitacional), a costa de la destrucción de los mantos. Como evidencia de este proceso, existe un escarpe de caída de entre 2 – 3 metros de altura aproximada que se inclina entre 60° - 80° (Fig. 57).

Los mantos son característicos de la Sierra de los Muertos (sector occidental), se disponen entre las cotas de 675 y 845 msnm, la inclinación es de 25°, su amplitud es 280 m y su longitud 265 m, todos los datos son promedio.

Los cauces que drenan estas superficies son difusos y su profundidad es < 5 m, en planta desarrollan un patrón paralelo; de esta manera, los cauces hacen contacto con la llanura de inundación activa, esto permite una disección continua de los frentes gravitacionales desarrollados en los bordes de la llanura de inundación (Fig. 57).

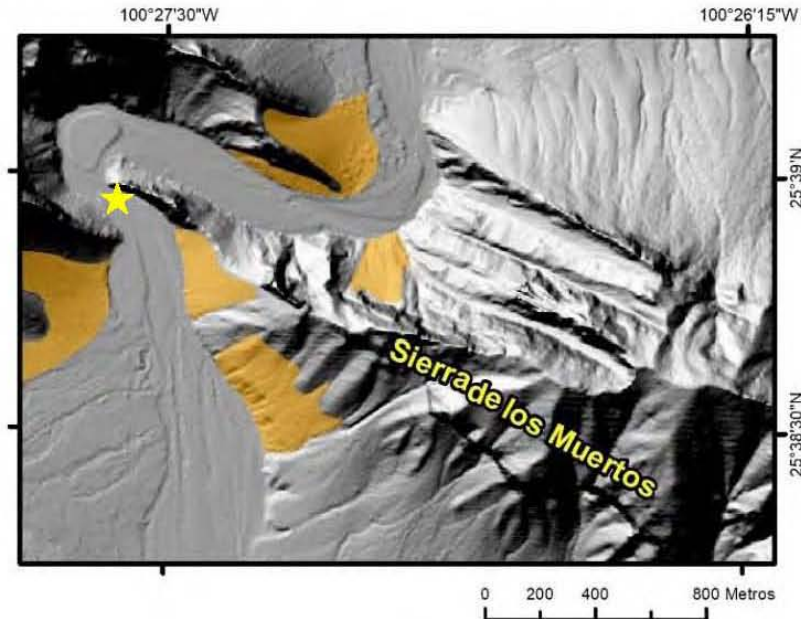


Figura 56. Rampas en manto en el occidente de la Sierra de los Muertos (en amarillo), representan un relieve de transición entre la zona de montaña y las llanuras de inundación. La estrella muestra el sitio de la fotografía de la figura 57.



Figura 57. Rampa en manto, se observa sobre ella un arreglo fluvial paralelo que disecciona el borde gravitacional, formado por acción de la zapa (diciembre 2017).

4.2 Asociadas a frentes rocosos

Las rampas clasificadas en esta categoría se desarrollan en el límite inferior de las laderas de montaña, sector que se conoce como frente montañoso, donde se han identificado tres variantes morfológicas, dos de ellas, se unen con el *glacis* al centro de la zona de estudio. El tercer tipo (marginales a laderas de montaña), es una superficie de transición entre la montaña conocida como La Silla y la llanura de inundación activa del mismo nombre, que se localiza al NW de la estructura anterior (centro-oriental del mapa anexo). El límite distal de la rampa es sinuoso y responde a la actividad erosiva de los meandros que presentan cambios constantes en configuración y posición.

La inclinación de las rampas de este tipo es $< 10^\circ$ y son características de las vertientes SE de la Sierra Las Mitras, en todos los flancos de Loma Larga y las laderas noroccidentales de La Silla. Los materiales que las constituyen son detritos con características texturales y litológicas similares a las descritas en el inciso 4.1. Hay que mencionar que todas las variantes morfológicas de este tipo de rampas, en la actualidad están densamente urbanizadas. A continuación, se analizan sus características geomorfológicas.

4.2.1 Marginales a laderas de montaña

Están integradas por antiguos abanicos sobrepuestos, de ellos, solo es posible reconocer su ápice. La morfología actual es la de una rampa que presenta 20° de inclinación en el sector proximal, a partir de ese punto disminuye de forma gradual, hasta alcanzar los 2° en su porción más distal (Fig. 58) y curiosamente sólo son claros en el sector occidental de la cresta de La Silla. Estas estructuras se disponen entre los 495 msnm y los 595 msnm; su amplitud es constante, la mayor es de 4000 m y la mínima de 560 m. Con respecto a la longitud, varía de 390 a 1380 metros. Sobre esta superficie los cauces son escasos, la mayoría de ellos han sido entubados, desviados o convertidos en calles (Fig. 59), los que aún existen tienen una profundidad < 5 m.

La cartografía geomorfológica muestra la espacialidad y configuración de los meandros libres, que existen en la llanura de inundación del río La Silla. Las curvas fluviales internas, en este caso, dirigen su curvatura hacia la montaña y las externas en sentido contrario (Fig. 58 y mapa anexo).

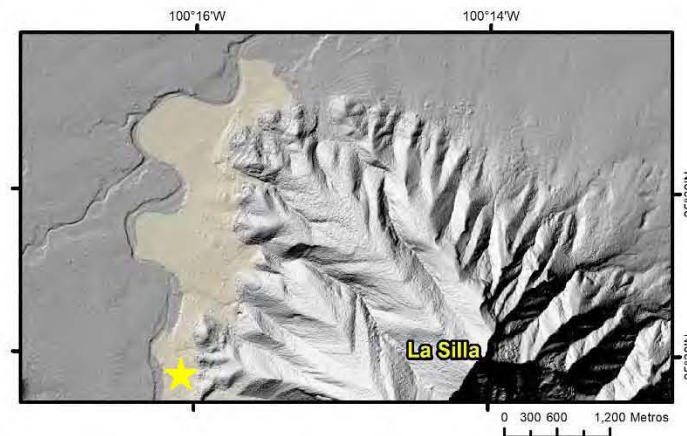


Figura 58. Rampas marginales a laderas de montaña (en beige), son características de las laderas noroccidentales de la sierra La Silla. La estrella muestra el sitio de la fotografía de la figura 58

La frontera entre antiguos abanicos proluviales favorece el desarrollo de meandros internos, por su movilidad desarrollan una dinámica erosiva cuando los depósitos en contacto, presentan diferencia en acomodos detríticos, distintos grados de compactación y textura.



Figura 59. Calle Alejandro Dumas en la Colonia Country - La Silla, fue un barranco poco profundo rellenado y nivelado para convertirse en una calle (diciembre 2017).

4.2.2 Radiales a crestas aisladas

Su origen se asocia con abanicos yuxtapuestos alrededor de una estructura sedimentaria menor, como el anticlinal de Loma Larga (cresta). En planta los límites distales de este tipo de rampa se disponen en semicírculos y cada uno de ellos, corresponde a un antiguo cono.

Este tipo de rampas se dispone entre los 540 msnm y los 650 msnm, la amplitud varía entre 760 m y los 6 700 m; la longitud máxima es de 1040 m y mínima de 40. La inclinación es de 20° en el sector proximal y disminuye a un grado en la porción distal (Fig. 60), es en esta zona que se funde con el *glacis*.

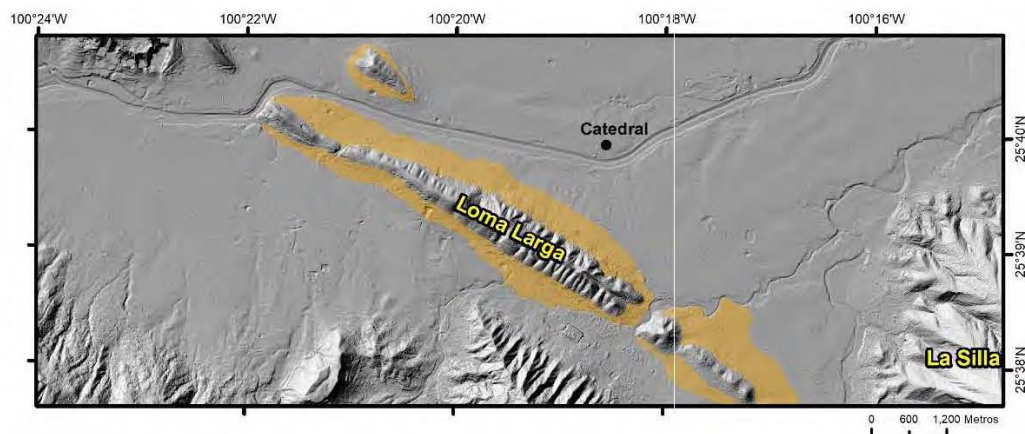


Figura 60. Rampas radiales a crestas anticlinales aisladas (en amarillo), se disponen en todos los flancos de la sierra Loma Larga.

4.2.3 En cajón

Este tipo de rampa es característica de la sierra Las Mitras en su flanco SE y está limitada por paredes rocosas en tres de sus flancos, de ahí su nombre (Fig. 61). Se localizan entre los 575 msnm y los 750 msnm; la inclinación es progresiva, en el sector proximal existen 25° y en el distal un grado, la amplitud máxima es 1600 m y la mínima de 100. Su longitud es variable, la más larga alcanza los 3500 m y la más corta, 475 m.

La rampa en *cajón* hace frontera al E con el *glacis* y se funde de manera gradual. El límite sur lo define el río Santa Catarina, este contacto es ligeramente ondulado,

debido a la dinámica erosiva del cauce. El borde poniente no es muy claro debido a la existencia de minas a cielo abierto que han modificado la morfología original del relieve (Fig.62).

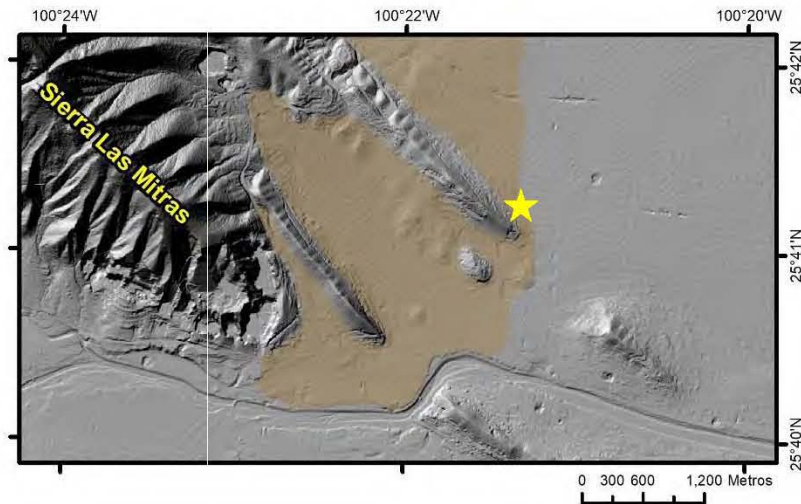


Figura 61. Rampas en cajón (en café), propias del sector oriental de la Sierra de Las Mitras, limitadas por paredes rocosas en tres de sus flancos. La estrella muestra el sitio de la fotografía de la figura 62.



Figura 62. Contacto entre la rampa en *cajón* y el glacis, en el cruce de las calles Sudamérica y Bahamas, colonia Vista Hermosa. El cambio de inclinación de terreno corresponde con el límite entre las unidades mencionadas (diciembre 2017).

4.3 Escalonadas

Este tipo rampas tienen una distribución amplia en la zona de estudio, se localizan en las vertientes SW de las sierras de Las Mitras y de Los Muertos; al centro de la zona de estudio y en las laderas NE de la sierra La Silla (ver mapa anexo). El origen, desarrollo y evolución está representado en la figura 40. De los cuatro esquemas que integran la imagen, el diagrama C refleja las condiciones morfológicas actuales de los declives escalonados.

Las rampas escalonadas reciben el nombre por su morfología, condicionada por tres generaciones de abanicos dispuestos en gradería o escalones, en donde cada desnivel (ruptura de pendiente), hace evidente un grupo distinto de depósitos (Fig.42), en esta categoría existen tres subtipos y se explican a continuación.

4.3.1 Con ápices al interior del frente montañoso

Este subtipo de rampa está en contacto con el frente montañoso, como particularidad, el ápice de los abanicos que dieron origen al terraplén se encuentra al interior del valle y *no a la salida*, en la desembocadura en donde la pendiente cambia de manera abrupta.

En este sentido, hay que decir que los vértices o puntos de eyección de sedimentos, no son fijos, cambian en la medida que los conos se sobreponen unos con otros, de esta manera crecen en la vertical y en consecuencia en la horizontal. Con este mecanismo uno de los ápices se encuentra a 1 025 m desde el glacis y es la excepción, los demás han llegado a una altura promedio de 645 m.

La acumulación paulatina de detritos hace que el frente montañoso pierda altura por acumulación de escombros en su base; en este proceso, los valles montañosos comienzan a detener sedimentos y a colmatarse desde su desembocadura y hacia la montaña, debido a la presencia de sedimentos en la desembocadura (< 1m de altura). Esta dinámica de sedimentación se asocia al crecimiento heterogéneo, en la vertical, de toda la rampa (ver mapa anexo).

El crecimiento paulatino de la rampa, en la vertical, suavizó el contacto de los frentes montañosos. Vistos en planta existen sectores rectilíneos, sinuosos y *festonados* (Fig. 63).

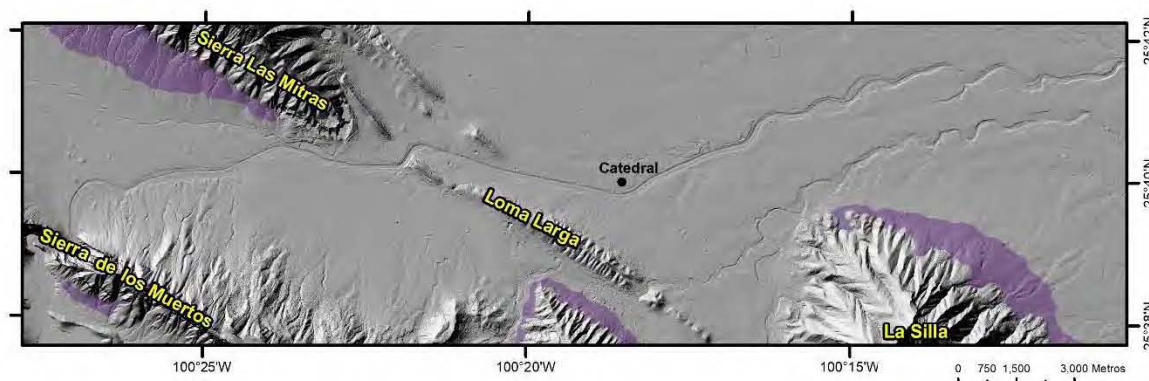


Figura 63. Rampas con ápices al interior del frente montañoso, se conocen como tardías (en morado) y representan la fase más reciente de todo el conjunto.

La configuración festonada, se utilizó para medir la migración de los ápices al interior de la montaña. Para ello se trazó una línea recta en cada saliente hasta intersectar el valle, después se trazó una perpendicular hasta el punto de interés y se hizo la medición, todo el procedimiento fue digital, el valor de movilidad máximo promedio fue de 610 m y el mínimo de 120 m.

Las rampas de este tipo se localizan entre los 520 msnm y los 1 025 msnm; la pendiente es de 30° en el sector proximal y decrece a 3° en la zona distal. La superficie de la rampa es irregular, con desniveles, resaltes y rugosidades. Todos estos elementos, reflejan la morfología accidentada de las laderas preexistentes o infrayacentes. La amplitud máxima es de 5 400 m y de 795 m la mínima. Su longitud es variable, el mayor alcance es de 1 840 m y de 335 el menor.

4.3.2 De transición

Representan la segunda fase de formación e integración de todo el conjunto (ver mapa anexo), su desarrollo y evolución está representado en la figura 40 y 42. En estos relieves la acumulación predomina sobre la erosión; no obstante, existen cárcavas y barrancos (< 5 m de profundidad) que, al activarse en la temporada de

lluvias, acarrean importantes volúmenes de escombros hacia las partes bajas. Estos cauces se disponen en un patrón de drenaje subparalelo, más no se integran en una red fluvial debido a las transformaciones que han tenido las rampas a consecuencia del crecimiento de la ciudad de Monterrey (Fig. 64).

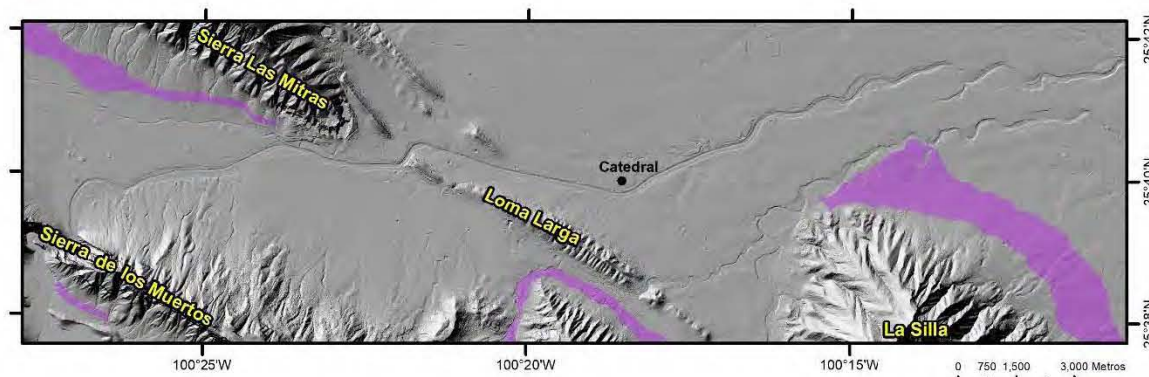


Figura 64. Rampas de transición representan la segunda fase del conjunto (en morado): Rampas acumulativas: fluviales (proluviales) – gravitacionales. La más extensa se localiza al NE de la sierra La Silla.

Las rampas de transición presentan una morfología escalonada en donde alternan geometrías rectas y convexas. La mayor parte de este sector se encuentra urbanizado, por lo que es probable que las laderas en gradería sean artificiales para facilitar la construcción de edificios y viviendas.

La altitud en la que tienen desarrollo las rampas de transición, varía entre los 480 msnm y los 780 msnm; la inclinación promedio es de 5°. El valor máximo de amplitud es de 6 740 m y el mínimo de 910 m; con respecto a la longitud, la más larga alcanza los 1 890 m, mientras la más corta tiene 140 m. Están presentes en las sierras de Los Muertos, Las Mitras, Los Muertos, La Silla y en el sector central de la zona de estudio (Fig.64).

4.3.3 Frontales

Representan los depósitos más distales y también los más recientes, su origen se asocia con la remoción de materiales provenientes de rampas localizadas en posiciones altitudinales superiores (4.3.1 con ápices al interior del frente montañoso: tempranas y 4.3.2 de transición: intermedias). La erosión fluvial, a través de

barrancos, cárcavas, canales, surcos y badenes han removido detritos hacia la parte frontal (ver mapa anexo).

El trabajo de campo permitió observar otro proceso con mayor relevancia en el transporte de sedimentos, se trata del *lavado del suelo* o arrollada. Las dos dinámicas han dejado evidencia en la textura y acomodo de los detritos transportados. Los depósitos asociados al transporte fluvial se reconocen por la existencia de cantos rodados, gravas y gravillas. Todos ellos contenidos en una matriz de arenas finas a medias, el depósito es poco consolidado y masivo, aunque llegan a reconocerse pseudoestratos.

Los detritos transportados por la arrollada son de textura más fina que los anteriores, están integrados de arenas finas a gruesas, se disponen en bandas o de manera masiva, es común la presencia de lentes aislados de gravillas de hasta 30 cm de espesor y de 1.50 m de longitud, la consolidación de los depósitos es media.

El espesor de los sedimentos que integran esta rampa es < 5 m, la potencia del manto no es suficiente para ocultar la morfología lobular infrayacente. En el mapa anexo se puede observar la rugosidad de la superficie, este aspecto es más claro al NE de la sierra La Silla. Con el fin de afirmar esta hipótesis, se buscó un corte a lo largo de la llanura de inundación del río La Silla, Santa Catarina y Obispo (río abajo), los muros de contención no permitieron observar la estratigrafía del lugar.

Las rampas de este tipo se localizan entre los 440 msnm y los 740 msnm; la inclinación promedio es de 3° . La morfología es subhorizontal, la amplitud máxima es de 5 980 m (NE de La Silla) y de 730 m (SW De Los Muertos). La longitud mayor es de 3 100 m y la más corta de 70 m, para los mismos sectores (Fig. 65).

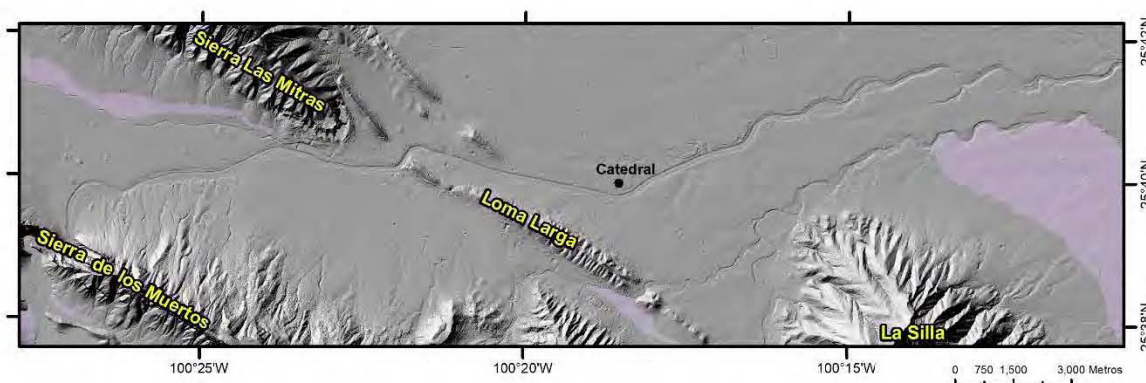


Figura 65. Rampas Frontales, representan el último nivel de las rampas acumulativas: fluviales (proluviales) – gravitacionales (en color lila claro). La de mayor de ellas se localiza al NE de la sierra La Silla.

4.4 Asociadas a crestas anticlinales

El rasgo distintivo de este tipo de rampa es su morfología y el vínculo con la cresta sedimentaria. Su génesis, desarrollo y tipo de materiales es similar a los mantos anteriores (fluvio-gravitacional y Fig. 40 y 42). Se compone de tres sectores, proximal, de transición y distal, cada uno de ellos presenta características distintas.

El sector proximal es el único, de este conjunto, que se subdivide en dos subunidades: abanicos coalescentes y cubiertas proluviales-diluviales. La diferencia entre cada una de ellas es el espesor de detritos que tiene reflejo en la morfología.

4.4.1 Proximales

Este tipo de rampa tiene su origen en la sobreposición de abanicos, el primer subtipo es un claro ejemplo (abanicos coalescentes), en donde en conjunto constituyen potentes capas de detritos.

El segundo subtipo de rampas es opuesto al anterior (cubiertas diluviales), en este caso la sobreposición es irregular y poco definida, forma un terraplén en donde no es posible reconocer abanicos individuales. Es probable que la existencia de un contacto gradual, entre los detritos y las laderas rocosas que integran a la cumbre (cresta anticlinal), explique la morfología del relieve.

En este sentido es probable que los ápices presentaran menor fuerza erosiva, debido a la escasez de escombros, por estar asociados a cuencas de captación donde predominan las superficies rocosas. Por otro lado, la morfología, el contacto entre los detritos y las laderas montañosas también influye, en este caso, no hay contrastes altitudinales que condicionen el potencial erosivo de los ríos y el transporte de detritos.

4.4.1.1 En abanicos coalescentes

La morfología de los abanicos es clara, la sobreposición entre ellos es gradual y es posible reconocer el contacto entre cada estructura. La superficie es homogénea, existen rugosidades y algunos resaltes, pero son mínimos (ver mapa anexo). Esta última característica, hace suponer la existencia de una cubierta detrítica potente que atenúa en superficie. Este tipo de rampas se localizan en la vertiente NW de la sierra Los Muertos y en un pequeño sector de la misma estructura, al centro de la zona de estudio (Fig. 66).

Las rampas de este tipo se ubican entre los 635 y los 1 345 msnm; la inclinación promedio es de 30°. La morfología es subhorizontal, la amplitud máxima y mínima es de 2 120 m y de 360 m, al NW y centro-sur de la sierra De Los Muertos, respectivamente. La longitud máxima es de 1 285 y la más corta de 300 m, para cada uno de los sectores mencionados.

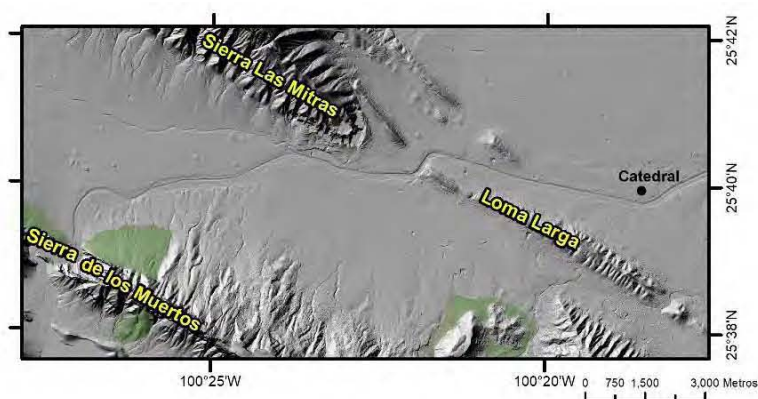


Figura 66. En abanicos coalescentes (en color: verde Olivo), este subtipo pertenece a las rampas proximales asociadas a crestas anticlinales. De todo este conjunto, son las de mayor potencia de detritos y de morfología mejor conservada.

4.4.1.2 Cubiertas proluviales-diluviales

Se trata de una capa delgada de sedimentos depositada en la desembocadura de valles montañosos que se disponen en la proximidad de la cima y, por tanto, son de corta longitud. Esta característica, explica la falta de detritos y la existencia de un manto superficial con morfología de pseudoabanicos (proluviones). Estas condiciones tienen reflejo en la existencia de una superficie irregular, rugosa con resaltes y numerosas rupturas de pendiente (ver mapa anexo y fig. 67).

Las rampas de este tipo se localizan entre los 660 msnm y los 1 590 msnm; la inclinación promedio es de 35° . La superficie es irregular, la amplitud máxima es de 6 900 m, la mínima de 720 m. La longitud mayor es de 2 550 m y la más corta de 1 060 m. Son características de la vertiente NE y SW de la sierra de Los Muertos y son la última etapa de deposición de este grupo (asociadas a crestas anticlinales).

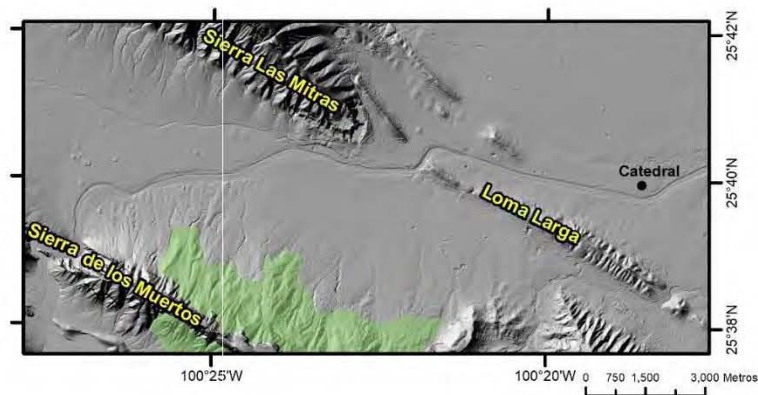


Figura 67. Las cubiertas proluviales-diluviales (en color verde manzana), son el segundo subtipo de las rampas asociadas a las crestas anticlinales. Son características de las vertientes NE y SW de la sierra De Los Muertos y se caracterizan por ser mantos delgados y superficiales.

4.4.2 Taludes de transición

Se trata de una rampa continua formada por abanicos proluviales coalescentes que, a lo largo de su desarrollo, estuvieron en contacto con las laderas del anticlinal y en una fase más tardía, el sector proximal quedó cubierto por otra generación de detritos (unidades 4.4.1.1 y 4.1.1.2). El análisis del mapa geomorfológico sugiere un origen vinculado con la erosión de la rampa proximal actual, hecho que explica la

existencia de las cubiertas proluviales-diluviales (unidad 4.4.1.2), como una superficie *retrabajada* por la acción fluvial (Fig. 68).

Las evidencias para validar alguna de las dos hipótesis mencionadas, están cubiertas por las densas construcciones de la ciudad de Monterrey; sin embargo, existe la posibilidad de que los dos planteamientos pudieron ocurrir en forma sincrónica.

Los taludes de transición se localizan entre las cotas de 665 y 855 msnm; la superficie es subhorizontal y se inclina en promedio 8°. La amplitud máxima es de 4 720 m, la mínima de 660 m. La longitud mayor es de 1 250 m y la más corta de 80 m. Son características de la vertiente NE y SW de la sierra de Los Muertos y representa una etapa intermedia de deposición de este grupo.

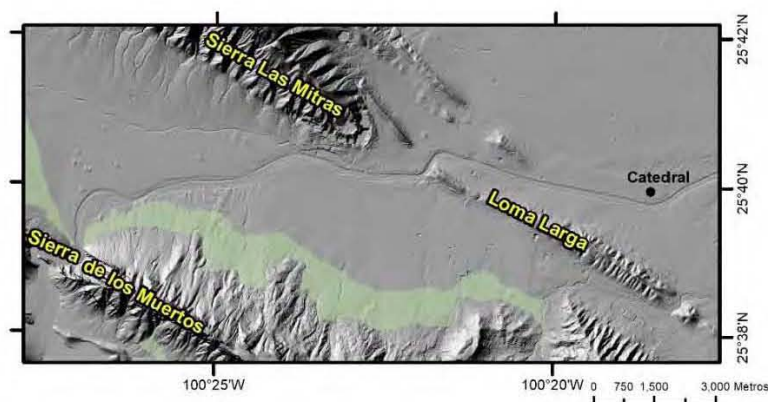


Figura 68. Taludes de transición en el NW de la sierra de Los Muertos, en este sector se presentan con una morfología definida y continua (en color verde claro). El espesor de detritos de la unidad se desconoce, pero se puede afirmar que tiene la potencia necesaria para sepultar o suavizar las rugosidades del relieve infrayacente.

4.4.3 Mantos acumulativos distales

Se trata de superficies de detritos localizadas en el sector más alejado de las crestas anticlinales, al mismo tiempo, es el relieve que ocupa un área importante de la zona de estudio. Por su posición, es probable que cubran la región proximal de las planicies complejas (ver mapa anexo), con un manto potente que sepulta las rugosidades del *glacis* (Fig. 69).

El origen del manto está asociado al escurrimiento laminar del agua, proceso que se conoce como arrollada (*lavado del suelo*) y es la responsable del transporte de detritos desde las rampas proximales, hasta los terrenos más bajos (ver mapa anexo). Esta idea se apoya en la interpretación de la imagen LiDAR, una vez eliminados los datos de superficie (elementos urbanos), se observó que no existía evidencia morfológica de flujos concentrados (canalillos, surcos, badenes, canales, cárcavas o barrancos).

Con base en lo anterior, se propone que la edad de la rampa es reciente y al no existir construcciones, en la actualidad continuaría su desarrollo. Respecto a su espesor y a los materiales que la constituyen, se puede decir que, no fue posible localizar un corte que permitiera describir el depósito, debido a la densa ocupación urbana que existe en este territorio.

Los mantos acumulativos distales se localizan entre los 585 y los 680 msnm; su inclinación promedio es de 3°. La superficie subhorizontal tiene una amplitud máxima de 10 700 m, la mínima de 520 m. La longitud mayor es de 2 930 m y la más corta de 560 m. Son características de la vertiente NE de la sierra de Los Muertos y representa la etapa de deposición más reciente de este grupo.

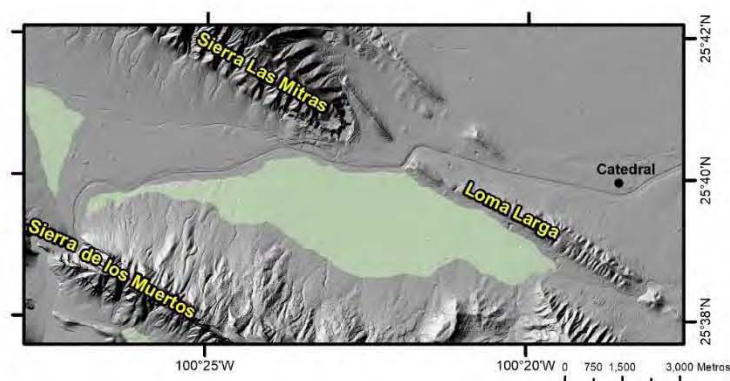


Figura 69. Mantos acumulativos distales (en color verde pistache), son los detritos más alejados de las crestas anticlinales, su morfología es subhorizontal y se localizan al NW de la sierra de Los Muertos.

Relieve antrópico

El humano tiende a modificar su entorno en función de su bienestar, comunicación, obtención de recursos y seguridad. En esta tarea, aparecen nuevos relieves que no se ajustan a la génesis y dinámica natural del terreno.

Como *agente geomorfológico*, el humano tiene la capacidad de modificar, perturbar y alterar la dinámica de la naturaleza. En este sentido y en un futuro próximo, será necesario evaluar los cambios del relieve y establecer alguna normatividad que minimice sus efectos (Pedraza, 1996).

5. Relieve transformado

La acción humana en la zona de estudio es directa, se observa en la *remodelación* del terreno a partir de nivelaciones a manera de gradas en laderas de montaña, con el fin de construir casas multifamiliares, centros comerciales o complejos habitacionales.

La extracción y traslado de materiales, es otra acción que está presente y va en aumento en este territorio, se trata de la minería a cielo abierto en particular las canteras.

Existen obras de ingeniería de gran magnitud en Monterrey y todas ellas tienen relación con el río Santa Catarina, en general, se trata de variados muros que tienen la finalidad de contener el cauce en su lugar en periodos de lluvia extraordinaria (estacional y extraordinario). Este tipo de construcciones se han realizado desde la primera fundación de la ciudad (1577) y con esta práctica se ha modificado el relieve fluvial y su dinámica actual, en el sentido de los continuos azolves y construcción-reemplazo de diques a lo largo del tiempo, se ha modificado la posición de la llanura de inundación, la cual está siete metros por arriba en la Glorieta del Obelisco (Mariano Matamoros y Juan Ignacio Ramón: Fig. 50).

En la actualidad no hay algún tipo de prácticas agrícolas relevantes en el territorio de Monterrey, pero anteriormente fueron la causa de las inundaciones en 1765 y 1854 esto debido a que incorporaron un sistema de riego conocido como *boquera*. Con este sistema era posible regar los terrenos agrícolas al interior, el sistema

seguía funcionando en temporada de lluvias con lo que favorecía anegación e inundaciones.

El territorio que ocupa la ciudad de Monterrey es una superficie modificada desde sus tiempos más tempranos, hasta la actualidad y con ello la dinámica de los procesos geomorfológicos explicados a lo largo de este capítulo.

5.1 Minas a cielo abierto

Se trata de terrenos *negativos* que se crean en la medida que se extrae material para la construcción, en la zona de estudio existe una sola mina a cielo abierto, se localiza al SW de la sierra Las Mitras y tiene un área de 1 km² (Fig. 70).

El relieve más afectado por este tipo de minería son las rampas escalonadas en sus tres sectores (con ápices al interior del frente montañoso; de transición y frontales), debido a la existencia de bloques; cantos rodados; arenas muy finas, finas, medias, gruesas, muy gruesas; gravas y gravillas. La variedad textural es una ventaja y tiene mayor importancia cuando se presenta en un área reducida. A lo anterior se suma la facilidad en su extracción (trascabos y camiones de volteo), procesamiento (tamizado en cribas) y rápida distribución, la mina provee a numerosas construcciones localizadas al interior y periferia de la ciudad.

En la selección de los materiales que integran las rampas mencionadas, intervinieron procesos gravitacionales, fluviales y los característicos de la erosión superficial: laminar y de arrollada, cada uno de ellos transportó por tamaños los escombros y de esta manera los depósitos quedaron seleccionados por texturas.

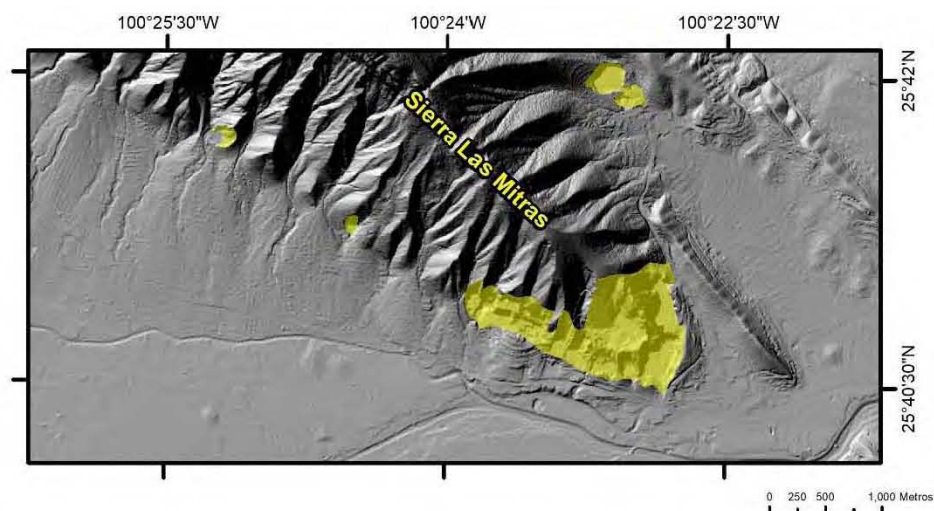


Figura 70. Minas a cielo abierto al SE de la sierra Las Mitras, en ellas se comercializan los detritos que constituyen los mantos escalonados (4.3), por tener una variedad textural importante que presenta un rango que varía de bloques a arenas muy finas.

5.2 Superficies niveladas

Se trata de terrenos escalonados a manera de amplias terrazas o laderas en gradería, en ambos casos, la transformación se vincula con la construcción de viviendas. Por otro lado, llama la atención la cercanía que tienen superficies con las minas a cielo abierto (Fig. 71). Al parecer, en un inicio estos terrenos formaron parte de ellas, pudo haberse agotado y decidieron nivelar y urbanizarlos con fraccionamientos horizontales (Fig. 72).

Estos terrenos tienen la desventaja de estar limitados por lo menos de una pared vertical que se encuentra asociada a las antiguas minas. Al no tener acceso al fraccionamiento no se pudo caracterizar el talud, comprobar su estabilidad o analizar el arreglo estructural de la litología. Se puede concluir que la vocación de las superficies niveladas no son los asentamientos humanos.

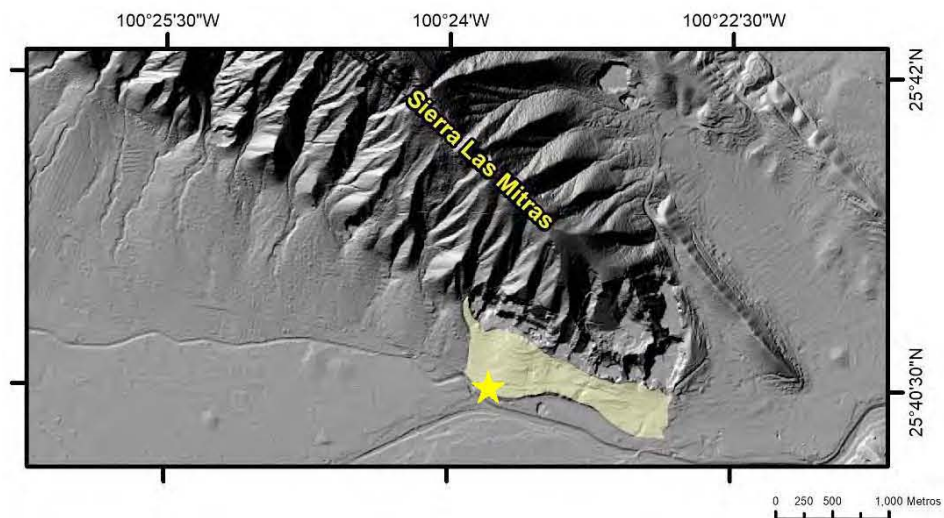


Figura 71. Superficies niveladas (en amarillo), propias del sector sur de la Sierra de Las Mitras. La estrella muestra el sitio de la fotografía de la figura 72.



Figura 72. Fraccionamiento Colinas del Valle, construido sobre superficies niveladas, próximas a minas vestigios de minas a cielo abierto (diciembre 2017).

SIMBOLOS COMPLEMENTARIOS

Contactos

- a) Reales: indican fronteras precisas.
- b) Inferidos: este tipo de límites no son precisos debido a que están sepultados o erosionados.

Escarpes-litológicos (*caprock*): elementos lineales del relieve que indican cambios en la inclinación del terreno.

Escarpes de terraza fluvial: bordes exteriores abruptos, marcan el límite de terrazas que forman parte de la llanura de inundación

Líneas de flujo en las rampas con morfología:

- a) De abanico
- b) De abanico sobre sustrato rocoso visible
- c) De rampa-abanico
- d) De rampa-planicie

El análisis de la cartografía geomorfológica permitió establecer el origen, evolución y morfología de las rampas y permitió correlaciones dinámicas y litológicas entre ellas. Del mismo modo se pudo vincular las inundaciones en la ciudad, con la geometría del *glacis*.

A través de esta cartografía se explicó la espacialidad de las formas del terreno e incluso se identificaron factores que condicionan o favorecen dinámicas de peligro. En este marco, se hizo evidente la acción antrópica como agente perturbador de la dinámica natural del relieve y en particular con la acción fluvial.

Conclusiones

La cartografía geomorfológica y su análisis permitieron identificar, clasificar y conocer la dinámica del relieve en el territorio donde se asienta la ciudad de Monterrey. El último aspecto fue posible entenderlo cuando se vincularon los aspectos geográficos, el desarrollo histórico de la ciudad y la morfología. En este sentido, es claro que la frecuencia y la magnitud de las inundaciones tienen relación con los siguientes aspectos.

1. A través del marco físico geográfico se hizo evidente la relación entre la posición geográfica de la zona de estudio. El factor que desencadena la dinámica geomorfológica, y en particular las inundaciones, es la ubicación geográfica de la ciudad de Monterrey, por encontrarse en un territorio vulnerable a experimentar ciclones, que entran a continente y se degradan a tormentas tropicales.

Por otro lado, la existencia de un clima semidesértico con una vegetación xerófila y de matorrales muy abierta, sobre laderas de fuerte inclinación constituidas de rocas sedimentarias y sensibles a los procesos de modelado, hace que las intensas cargas fluviales asociadas a ciclones tengan un papel relevante en la erosión, depósito de sedimentos e impacto en las inundaciones del río Santa Catarina.

2. La cartografía y los documentos históricos sobre las inundaciones de Monterrey, permitieron entender el origen de las inundaciones urbanas actuales. En 401 años la situación no ha cambiado, son los mismos terrenos e incluso se han sumado nuevas áreas. La constante a lo largo del periodo analizado ha sido la capacidad de transformar el relieve por parte de la sociedad, desde el regadío de *boquera* hasta la construcción de diques de contención.

En este contexto hay que considerar al humano como un proceso geomorfológico, que ha tenido la capacidad de perturbar, en una primera etapa, y después modificar la dinámica erosiva y sedimentaria del río Santa Catarina.

3. Los aspectos litológicos y tectónicos permitieron conocer la variedad de rocas, su acomodo, su arreglo estructural y la susceptibilidad de éstas al proceso erosión-deposición.

La revisión de estos aspectos aportó información relevante en el establecimiento de unidades mayores del relieve, este fue el punto de partida para integrar los aspectos geológicos y tectónicos en una clasificación morfogenética, aspecto que forma parte del mapa geomorfológico y que, junto con su análisis, representan el aporte principal de esta investigación.

4. El análisis morfométrico, integrado por, la altimetría y la inclinación del terreno, facilitó la delimitación de regiones morfológicas y con ello, una zonificación de procesos gravitacionales, erosivo-deposicionales y de peligro (inundaciones).

Se hizo evidente que la zona de montaña no es exclusiva de presentar procesos peligrosos (gravitacionales), sino también aquellas que se caracterizan por ser terrenos homogéneos en cuanto a morfología y, por tanto, no se esperaría la existencia de una dinámica exógena que puede significar una amenaza, como la que representa el glacis (planicies complejas), en temporada de lluvias.

5. El mapa geomorfológico escala 1: 20 000 es el aporte principal de este trabajo que, junto con la leyenda, donde se asocia información geológica, tectónica, climática y de evolución del relieve facilita su lectura y utilidad. Este documento se compone de 21 formas de relieve, mismas que están ordenadas de acuerdo con su génesis (relieve endógeno- modelado, exógeno y antrópico). El mapa geomorfológico de la ciudad de Monterrey es un documento original, muestra resultados de interés científico (evolución y morfología de las rampas acumulativas) y aplicado (terrenos susceptibles a inundaciones).

La cartografía geomorfológica permitió conocer la evolución del piedemonte, su clasificación y vincular su morfología con los distintos materiales que lo integran, otro aspecto de este documento fue la representación de las distintas

configuraciones de la red fluvial, y con ello, determinar la edad relativa de las rampas-abanicos.

Por otro lado, el mapa geomorfológico hace evidente la importancia de la actividad humana como un proceso geomorfológico activo, que modifica la dinámica natural del relieve, en particular la fluvial y con ello favorece la amenaza por inundación en la zona urbana de Monterrey.

Bibliografía

- Bashenina, B. (1977). *Cartografía Geomorfológica*. Ed. Educación Superior, Moscú, URSS. (en ruso). 375 pp.
- Bermúdez, F. L. (2014). *El riego por boquera en agricultura de secano, técnica hidráulica tradicional de lucha contra la desertificación en el sureste ibérico semiárido*. Geoecología, cambio ambiental y paisaje: homenaje al profesor José María García Ruiz, 405-414.
- Buentebello, H. (1970). *La inundación de 1909: Sus aspectos trágico y político*. Edit. Tipografía económica, Monterrey, N. L. México. 75 pp.
- CENAPRED (2014). *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México*. Versión electrónica. Secretaría de Gobernación-Centro Nacional de Prevención de Desastres. México. 232 pp.
- Cervantes-Zamora, Y., Cornejo-Olgín, S. L., Lucero-Márquez, R., Espinoza-Rodríguez, J. M., Miranda-Viquez, E. y Pineda-Velázquez, A. (1990). *Provincias Fisiográficas de México*. Extraído de Clasificación de Regiones Naturales de México II, IV.10.2. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- CONABIO (1998). *Climas, escala 1:1000000*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Contreras, C. (2007). *Geografía de Nuevo León*. Fondo editorial de Nuevo León. México. 229 pp.
- Corrales, I., Rosell, J., Sánchez, L. Vera, J. y Vilas, L. (1977). *Estratigrafía*. Edit. Rueda. México. 734 pp.
- De Cserna, Z. (1960). "Orogenesis in time and space in Mexico". *Geologische Rundschau*. 595-605 pp.

- Eguiluz De Antuñano, S., Aranda-García, M., y Marrett, R. (2000). *Tectónica de la Sierra Madre Oriental. México*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Volumen 53(1), 1-26 pp.
- Flores-Salazar, A. (2010). *Pérdidas de patrimonio arquitectónico de Monterrey*. Desastres naturales por lluvias. CIENCIA-UANL, vol. 1. México. 11-15.
- Fuentes, O., Aragón, J., De Luna, F., Morales, H. y Franco V. (2014). *Caracterización fluvial e hidráulica de las inundaciones en México. Organismo de Cuenca VI Río Bravo*. Instituto de Ingeniería, UNAM – Comisión Nacional del Agua. México. 58 pp.
- Folk, R. (1969). *Petrología de las rocas sedimentarias*. Instituto de Geología, UNAM. México. 121pp.
- Guerra, F. (1980). *Fotogeología*. Facultad de Ingeniería, UNAM. Ciudad de México. México. 337 pp.
- Gutiérrez-Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Pearson Educación, S.A. Madrid, España. 898 pp.
- INEGI (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. General Bravo, Nuevo León*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- León, H., Masuch, D., Medina, F., Köhler, V., Liestmann, J. y Mühlenkamp, M. (1998). *Estudios geológicos preliminares para el desarrollo de recursos hídricos con fines de abastecimiento de agua potable de Monterrey en la sierra de Higuera, Nuevo León, NE-México*. GEOGACETA 23. México 83 – 85.
- Lugo-Hubp, J. (1988). *Elementos de geomorfología aplicada (métodos cartográficos)*. Instituto de Geografía. UNAM. México, D.F., 128 pp.
- Lugo-Hubp, J. (2011). *Diccionario Geomorfológico*. Instituto de Geografía, UNAM. Ciudad de México, México. 479 pp.

- Muñoz, B., Conde, R. y Rincón J. (1991). *Evaluación de riesgos por urbanización en zonas montañosas de Monterrey, N. L.*. Universidad Autónoma de Nuevo León. México
- NOAA (2016). "*Hurricane History. Data from 1949 in the Pacific, from 1851 in the Atlantic*". National Oceanic and Atmospheric Administration. United States of America. Disponible en: <https://www.weather.gov/images/lot/tropicalsystems/TStracks.png> consultado en junio 2017.
- Ortiz-Pérez, M. A. (1985). *Geomorfología de la disección fluvial asimétrica en depósitos de piedemonte por cambios del nivel base (Caso: Sierras Monte Alto y Monte Bajo, México)*. Tesis para optar por el título de Doctor en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México. 75 pp.
- Padilla y Sánchez, R. J. (1985). *Las estructuras de la Curvatura de Monterrey. Monterrey, estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas y San Luis Potosí* Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, volumen 6, 1-20 pp.
- Pedraza, J. (1996). *Geomorfología: principios, métodos y aplicaciones*. Editorial Rueda. Madrid, España. 414 pp.
- Peña-Monné, J. L., (1997). *Cartografía Geomorfológica: Básica y Aplicada*. Geoforma Ediciones. Logroño, España. 227 pp.
- Protección Civil (2013). *Plan de Contingencias, Fenómenos Hidrometeorológicos*. Municipio de Santa Catarina. México. 79 pp.
- Robles, V. (1978). *Acapulco, Saltillo y Monterrey: en la historia y en la leyenda*. Edit. Porrúa. México. 670 pp.
- Rosengaus, M., Jiménez, M. y Vázquez M. (2002). *Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales en México*. Centro Nacional de Prevención de Desastres. México. 108 pp.

- Sánchez-Martínez, M. y Velozo-Figueroa L. (2007). *Vocabulario de Geomorfología y términos afines*. Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile. 415 pp.
- Secretaría de Desarrollo Social (2010). *Huracán Alex en Nuevo León, la memoria, Riesgos, testimonios y acción social*. Gobierno del Estado de Nuevo León, México. 120 pp.
- Simonov, Y. (1985). *Análisis morfométrico*. Universidad estatal de Moscú, Lomonosov. Moscú.
- Simonov, Y. (1999). *Interpretación morfométrica del relieve*. Universidad Estatal de Moscú, Lomonosov. Moscú. 262 pp.
- Tarbuck, E. J., Lutgens F. K. (2008). *Ciencias de la Tierra*. Pearson Educación S. A. Madrid. 736 pp.
- Tricart, J. (1972). *Landforms of the humid tropics, forest and savannas*. Longmans, London. 306 pp.
- Verstappen, H. T. (1983). *Applied geomorphology: geomorphological surveys for environmental development*. Elsevier. Ámsterdam. 57 – 83 pp.
- Zamorano-Orozco, JJ. (1990). *Análisis ingeniero-geomorfológico de la cuenca de México. Tesis para optar por el título de Doctor en Geografía (Geomorfología)*. Facultad de Geografía, Universidad Estatal de Moscú, M.V. Lomonosov. 225 pp.
- Zamorano-Orozco, J.J., Lugo-Hubp, J., Figueroa-García, J.E. y Quijada-Mendoza, I. (2016). *El relieve Mexicano: una superficie de contrastes. Geografía de México. Una reflexión espacial contemporánea*. Coord. Moncada-Maya, O. y López-López, A. Instituto de Geografía, UNAM. Pp. 37-55.

Periódicos digitales

- El Sol (1938). *Pavoroso saldo del huracán*. 29 de agosto de 1938. El Sol.
- Hanako Taniguchi (2010). *Damnificados por Álex vislumbran un futuro incierto*. Viernes 16 de julio 2010. CNN México.

Tania L. Montalvo (2013). *Las afectaciones por Ingrid y Manuel en los estados*. 17 de septiembre. Animal Político.

Téllez, F. (2010). *Archivo fotográfico*. 2 de julio 2010.

Zúñiga, F. (2015). *Huracán Gilberto, el antes y el después de Monterrey*. 17 de septiembre 2015. Multimedios.

Material Cartográfico

Epstein, I. (1865). *Plano de la Ciudad de Monterrey y sus egidos*. Escala 1:135000. Colección Orozco y Berra. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Gobernación, México.

González (1930). *Plano general de Monterrey y sus ejidos*.

INEGI, (2007). *Ortofotos*. escala 1:10 000, datum ITRF 92, formato GRID, serie I, claves: G14C25B2; G14C25B4; G14C25C1; G14C25C2; G14C25C3; G14C25C4; G14C26A1; G14C26A2; G14C26A3; G14C26A4; G14C26B1; G14C26B2.

INEGI, (2012). *Modelo Digital de Elevación LIDAR (Terreno)*. Escala 1:10 000, datum ITRF 92, formato GRID, serie I, claves: G14C25B2; G14C25B4; G14C25C1; G14C25C2; G14C25C3; G14C25C4; G14C26A1; G14C26A2; G14C26A3; G14C26A4; G14C26B1; G14C26B2.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Datos vectoriales Hoja topográfica G14C25 *Garza García*, Escala 1:50 000.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Datos vectoriales Hoja topográfica G14C26 *Monterrey*, Escala 1:50 000.

M.R. (1854). *Plano de la Ciudad de Monterrey*. Escala 1:13966. Colección Orozco y Berra. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Gobernación, México.

Madero y García Galán (1901). *Plano de la Ciudad de Monterrey capital del estado de Nuevo León Mex.*. Escala 1:10000. Colección Orozco y Berra. Servicio

de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Gobernación, México.

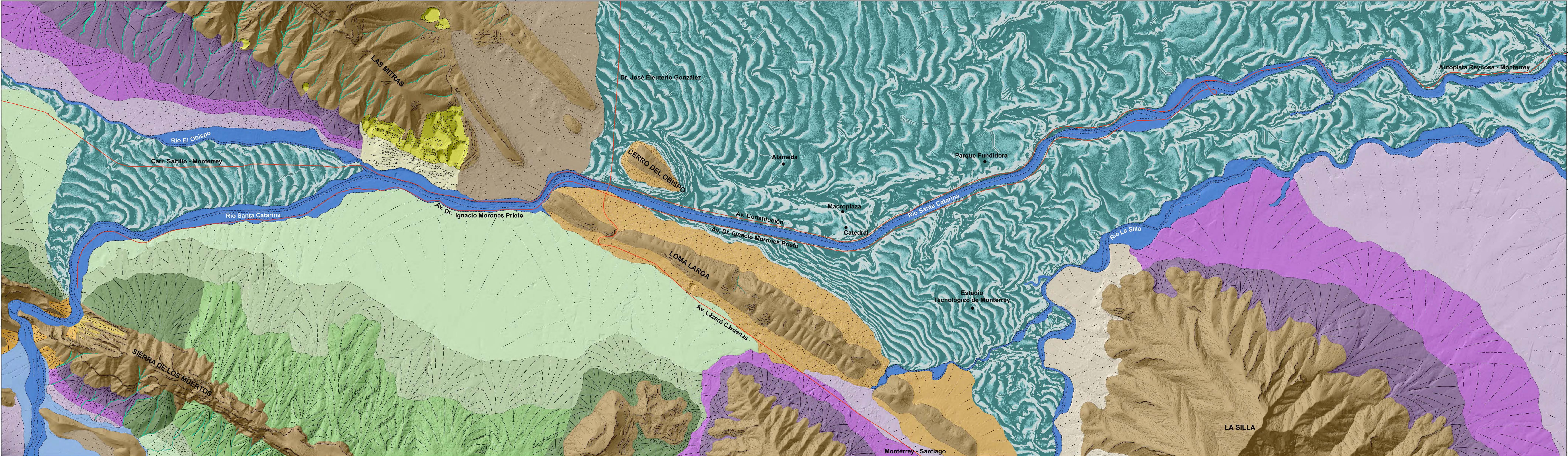
Naval Intelligence Division (1919). *Monterey*. Naval Intelligence Division. University of Texas Library.

O. S. M. (2018). Open Street Map. Obtenido en enero 2018.

Santiago, B., Martínez, C., Sánchez, G., Palacios, R. y Chiapa, R. (2008). *Carta Geológico – Minera G14-7 Monterrey*. Servicio Geológico Mexicano.

Urutia, J. (1767). *Plano del Presidio y Ciudad de Monterrey Capital del Nuevo Reyno de León situada en 26 grados y 4 minutos de Latitud boreal y 271 y 25 de Longitud contada desde el Meridiano de Tenerife*.

Mapa geomorfológico de la Ciudad de Monterrey



RELIEVE ENDÓGENO MODELADO

1 Estribaciones de la Sierra Madre Oriental

1.1 Laderas de montaña intensamente modeladas (crestas anticlinales)

RELIEVE EXÓGENO

2 Erosivo fluvial

2.1 Valles

< 20m

> 20m

3 Acumulativo fluvial

3.1 Llanura de inundación:

a) Activa

b) Inactiva

3.2 Terrazas fluviales

3.3 Glacis (planicies complejas) con geometría:

3.3.1 Convexa, recta y cóncava

4. Rampas acumulativas proluviales - gravitacionales

4.1 Colgadas

4.1.1 De valle estructural (comba)

4.1.2 En mantos

4.2 Asociadas a frentes rocosos

4.2.1 Marginales a laderas de montaña

4.2.2 Radiales a crestas aisladas

4.2.3 En cajón

4.3 Escalonadas

4.3.1 Con ápices al interior del frente motañoso

4.3.2 De transición

4.3.3 Frontales

4.4 Asociadas a crestas anticlinales

4.4.1 Proximales

4.4.1.1 En abanicos coalescentes

4.4.1.2 Cubiertas proluviales - diluviales

4.4.2 Taludes de transición

4.4.3 Mantos acumulativos distales

RELIEVE ANTRÓPICO

5 Relieves transformados

5.1 Minas a cielo abierto

5.2 Superficies niveladas

SÍMBOLOS COMPLEMENTARIOS

Contactos

a) Reales

b) Inferidos

Escarpes-litológicos (caprock)

Escarpes de terraza fluvial

Líneas de flujo en las rampas con morfología

a) De abanico

b) De abanico sobre sustrato rocoso visible

c) De rampa - abanico

d) De rampa - planicie

Referencias geográficas

Vialidades principales

Sitios de interés



Alumno: Isaac Quijada Mendoza

Asesor: Dr. José Juan Zamorano Orozco

Colegio de Geografía, UNAM

Tesis de Licenciatura

Sistema de coordenadas: ITRF 1992 UTM Zona 14N

Proyección: Transversal de Mercator

Escala: 1:20 000

0 0.5 1 2 Kms