

caudales son muy variables, ya que durante la época de lluvias y bajo la influencia de las tormentas, pueden aumentar rápidamente, alcanzando grandes valores durante el tiempo que duran las lluvias, aunque luego tienden a descender rápidamente, cuando terminan las mismas.

Debido al régimen torrencial y por los constantes aportes de sedimentos, estos ríos presentan un fuerte poder erosivo, lo cual produce (principalmente en las partes planas) erosión en las riberas, generando cortes verticales que posteriormente son zonas susceptibles de sufrir desprendimientos de terreno y donde anteriormente se han producido desastres. Además y como consecuencia de la litología predominante, las corrientes torrenciales han cortado profundamente los cauces, generando cauces estrechos con taludes de verticales a subverticales.

7.2. Geomorfología

Es evidente que la geomorfología local es producto de las fuerzas geodinámicas externas, ya que las geoformas dominantes son efecto de la erosión y de la precipitación pluvial que en la región son sumamente activas. A pesar de la predominancia de la geodinámica externa, es evidente que la tectónica regional y la actividad antrópica han dejado su huella, principalmente con la destrucción de algunas formas terrestres locales (geoformas).

Las geoformas más abundantes en el área son los cañones profundos y angostos que cubren principalmente la parte central del área y que hacia el norte tienden a transformarse en valles angostos, lo cual indica que la actividad fluvial ha hecho retroceder la planicie de la meseta de Guatemala (Apéndice 2). Considerando esto, las principales unidades geomorfológicas del área son: Remanentes de planicie estructural, cañones fluviales, valles fluviales y depósitos de remociones.

a. Planicie estructural

Está constituida por una serie de remanentes de la meseta del valle, que dentro del área forman las extensiones alargadas de terreno que se observan desde el noroeste, pasando por el sur hasta el este del área (Figura 7.2).



Figura 7.2. Vista de la Planicie estructural que se extiende hacia el sur del área. Vista desde el Cerro Vivo.

Esta unidad muestra una superficie casi plana, con pendiente variable entre 3 y 4° al norte y que ocasionalmente presenta cerros aislados que representan diferencias de elevación de hasta 50 metros. El límite norte, está constituido por cañones de paredes muchas veces subverticales o verticales

que los cortan principalmente con dirección noreste.

En algunos casos la superficie de la planicie está constituida por material pomáceo de granulometría que varía desde cenizas hasta pequeños bloques y ocasionalmente, por fragmentos arenáceos líticos. En el caso de los cerros del sudeste, estos están formados por caliza. Hacia el centro del área, los cuerpos alargados desaparecen paulatinamente, transformándose en pequeñas mesetas aisladas, que

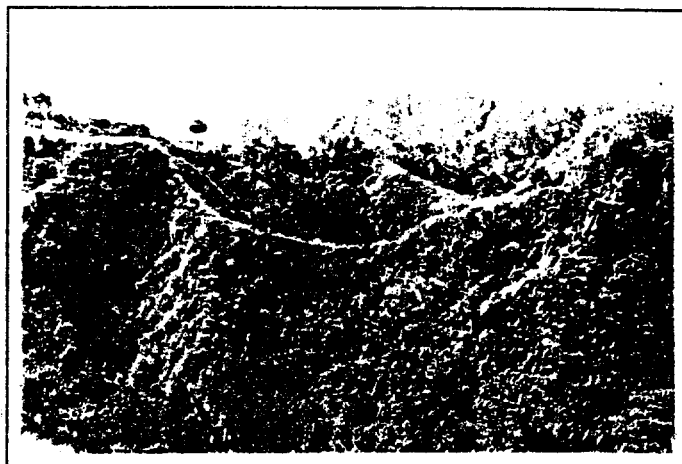


Figura 7.3. Ejemplo de los camellones que unen algunas de las pequeñas mesetas aisladas con el resto de la Planicie Estructural que se encuentra al sur del área.

están parcialmente comunicadas con los cuerpos principales por angostos camellones bordeados por cañones (algunos de ellos de paredes verticales) y que en algunos casos forman únicamente crestas sin que se observen superficies planas en ellos (Figura 7.3). Hacia el norte, los pequeños remanentes desaparecen cerca de Santa Cruz, en donde las elevaciones forman lomas alargadas de sección triangular con laderas muy abruptas.

La planicie se originó por la depositación de una serie de materiales piroclásticos cuaternarios, producto de eventos volcánicos sucesivos (en ocasiones con lapsos de erosión), los primeros de los cuales fueron depositados sobre el paleorelieve del graben original de Guatemala, que posiblemente se originó en el Eoceno (SCHWARTZ Y DONNELLY, 1978), mientras que

los últimos fueron depositándose en forma casi horizontal sobre los depósitos precedentes durante el Cuaternario, depositándose el último posiblemente en el Pleistoceno.

b. Cañones fluviales

Son los rasgos fisiográficos más característicos del lugar y están constituidos por laderas con ángulos variables ($> 30^\circ$), existiendo casos en donde los cañones están bordeados por acantilados verticales, constituyen el límite de la planicie que se extiende hacia el sur y tienen profundidades variadas hasta de casi 150 metros. Estas geoformas se originaron por la acción erosiva de las corrientes fluviales sobre materiales fácilmente erosionables o poco competentes (depósitos piroclásticos). En el caso del cañón cortado por el Río Las Vacas en intrusivo, posiblemente se originó por la presencia de alguna falla de rumbo noroeste, la que constituye una zona de debilidad sobre la cual fácilmente actuó la corriente fluvial.

Hacia el centro y norte del área, los interfluvios de los cañones están constituidos por camellones que forman elevaciones alargadas de sección triangular que separan cañones de distintas profundidades, mientras que hacia el sur, la mayoría de los interfluvios están constituidos por pequeñas mesetas ocasionalmente muy angostas.

Debido al origen hídrico, los cañones locales se encuentran alineados, al igual que la red hidrográfica local, preferentemente al noreste, presentando por lo tanto un comportamiento dendrítico cuyas ramificaciones principales son los cañones en los que se encauzan las principales corrientes fluviales del lugar. Conforme se dirigen hacia el norte, los cañones se ensanchan hasta formar los valles fluviales de los ríos Tzajá y Chinautla.

c. Depósitos de Remociones en masa

Las remociones han formado abundantes depósitos, la mayoría de los cuales abarcan poca extensión areal y en algunos casos se encuentran total o parcialmente erosionados. Los mayores depósitos se ubican en: Santa Cruz Chinautla, Colonia El Paraíso, Quebrada Pansigüir y Río Tzajá. De estos depósitos, los de mayor importancia son los depósitos de Santa Cruz y El Paraíso, ya que ambos se encuentran atravesados por la carretera que conduce hacia el norte, además que en ellos se han asentado dos comunidades que le dan su nombre.

Los principales depósitos están formados por el material piroclástico que ha perdido su compactación y coherencia, presentando una coherencia muy frágil, producto seguramente del desplazamiento de la masa original. Los depósitos de Santa Cruz y El Paraíso, así como seguramente el del Río Tzajjá, descansan sobre el granito que allí aflora y que posiblemente formó parte de la superficie sobre la cual se deslizaron los materiales de los depósitos actuales. Estos depósitos están limitados en su cabecera por cortes verticales o subverticales, los que seguramente constituyen las cicatrices de antiguos planos sobre los que se deslizaron las masas de terreno. En la mayoría de los casos (excepto en el depósito del Río Tzajjá), los planos de deslizamiento se encuentran muy erosionados, lo que evidencia el prolongado intemperismo al que se han visto sujetos.

El depósito de Santa Cruz, es el producto de varios deslizamientos: tres originados en las laderas del llamado Cerro Partido (al oeste de Chinautla) y otro originado en la ladera oriental del poblado. Al parecer, estos eventos no sucedieron al mismo tiempo, siendo la sección más antigua la que se encuentra en la base del Cerro Najtinamit (sudoeste de Chinautla), tal y como lo demuestra la evidencia local: el material del depósito forma una superficie casi plana; también se observan algunos relictos del o de los bloques originales que fueron desplazados originalmente, además la superficie del escarpe original se



Figura 7.4. Vista de la cicatriz fuertemente erosionada del deslizamiento del Cerro Najtinamit al sur de Santa Cruz Chinautla. Vista al sudoeste.

encuentra muy intemperizada, observándose pocos cortes originales (Figura 7.4). Los otros sectores occidentales parecen ser mucho más recientes que el anterior, ya que sus superficies aún conservan las características de los bloques desplazados originalmente, al mismo tiempo que los escarpes de deslizamiento se encuentran poco intemperizados.

El sector oriental del depósito, está formado por una serie de pequeños bloques del material que fue originalmente desplazado, formando una superficie muy accidentada con la presencia de cuerpos en ocasiones de forma piramidal que seguramente constituyen los restos de los bloques desplazados y expuestos a la intemperización. En algunos puntos del depósito, principalmente en cortes de terreno, se observa que el material que constituye el depósito, se encuentra poco

compactado y presenta aún los rasgos originales de los depósitos piroclásticos, que seguramente al ser removidos de su posición original, fueron trasladados sin ser alteración.

Cerca de la escuela de Chinautla, existe un afloramiento donde se observan pequeños bloques de intrusivo dentro de una matriz arcillosa, lo cual puede ser indicio de la remoción de parte del intrusivo que forma la base del Cerro Partido.

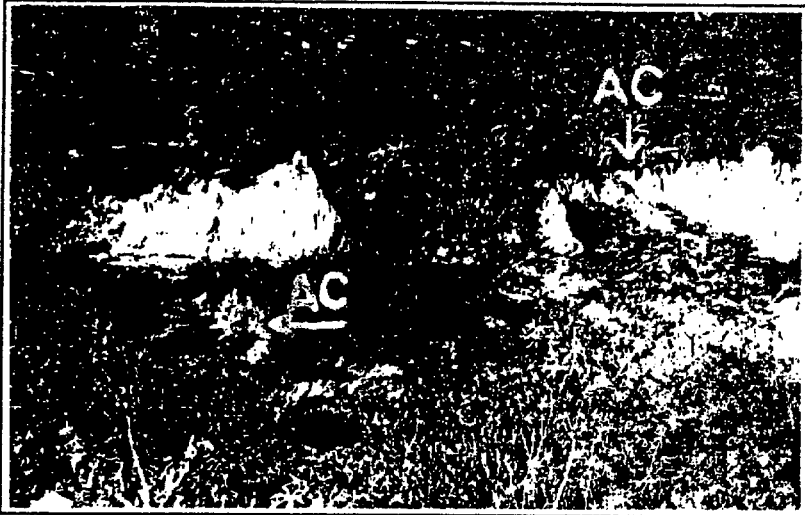


Figura 7.5. Vista del cauce del Río Chinautla a su paso por la población de Santa Cruz. Se observan antiguos cauces (AC), los cuales han erosionado parte del depósito que corta la corriente. Vista al norte.

Además del intemperismo al que se encuentra expuesto el depósito de Santa Cruz, también se observa la actividad erosiva del Río Chinautla, el cual ha cortado su cauce en los materiales del depósito, en algunos casos ensanchando su llanura de inundación y en otras, cambiando su cauce, por lo que regularmente erosiona las paredes del depósito (Figura 7.5).

El depósito de la Colonia El- Paraíso, es de menores dimensiones que el anterior y comprende el material de un solo deslizamiento que transportó la masa original en un solo bloque, como lo demuestra la presencia de un pequeño remanente de superficie plana en la parte baja del depósito (Figura 7.6). La presencia de este remanente, puede ser evidencia de un

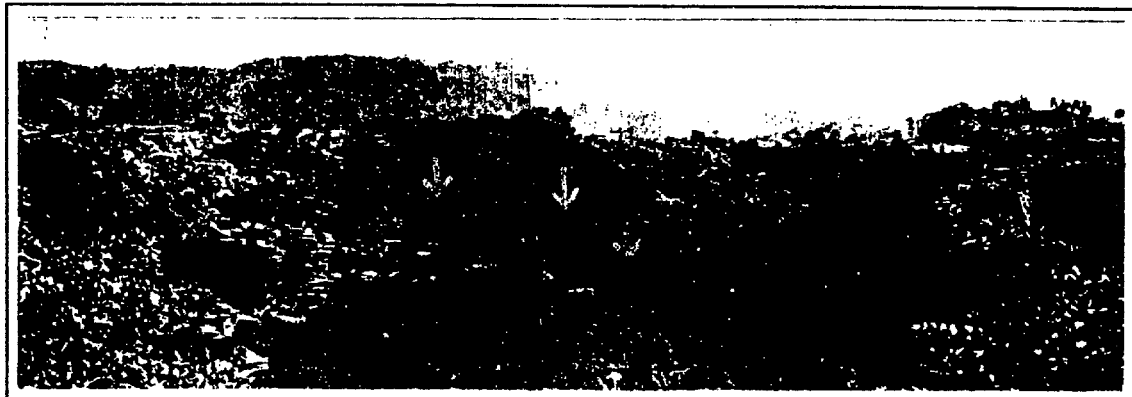


Figura 7.6. Vista de la cicatriz de deslizamiento sobre la cual se ha edificado la Colonia El Paraíso. En primer plano, se observa el remanente del bloque removido originalmente. A la derecha se observa la cicatriz de un deslizamiento de menor dimensión, sobre el cual se han edificado algunas viviendas. Vista al oriente.

intemperismo poco intenso en el lugar o puede indicar lo reciente del movimiento, con respecto a la antigüedad que presentan los otros depósitos. La cicatriz de este depósito, parece que forma parte de otra mucho más antigua y de mayores dimensiones que se extiende hacia el sudeste, en donde ha formado una depresión con paredes muy escarpadas y que constituye la cabecera del deslizamiento anterior.

A pesar de que no existen evidencias de cuales fueron los disparadores de las principales remociones (únicamente se conoce con seguridad el disparador del depósito del Río Tzajá), se podría suponer que se dispararon por la actividad sísmica, ya que el área se encuentra muy influenciada por la presencia de segmentos de fallas que seguramente forman parte del Sistema de Mixco, que corre hacia el sudoeste del área y que en la actualidad se encuentra activa como lo demostró en 1976. En el caso del depósito de Santa Cruz Chinautla, la relación con su origen tectónico es evidente, como lo demuestra el hecho de que el poblado se encuentra dentro de una pequeña depresión tectónica, la cual está alineada con la zona de fallas de Mixco¹¹⁸.

d. Valles Fluviales

Son las geoformas con menos extensión areal y se encuentran en el sector norcentral del área, en la parte baja de los Ríos Chinautla y Tzajá. Constituyen pequeñas planicies de inundación limitadas al oeste y este por laderas de pendientes

variadas, las cuales son producto de la actividad de las corrientes fluviales a su paso por las partes bajas. Ambos representan una etapa madura de los cañones que existen al sur, pero al parecer, tienen diferencias de madurez, lo cual se observa en el ancho de ambos, ya que el valle del Río Tzajá presenta mayor ancho que el valle del río Chinautla (Figura 7.7).

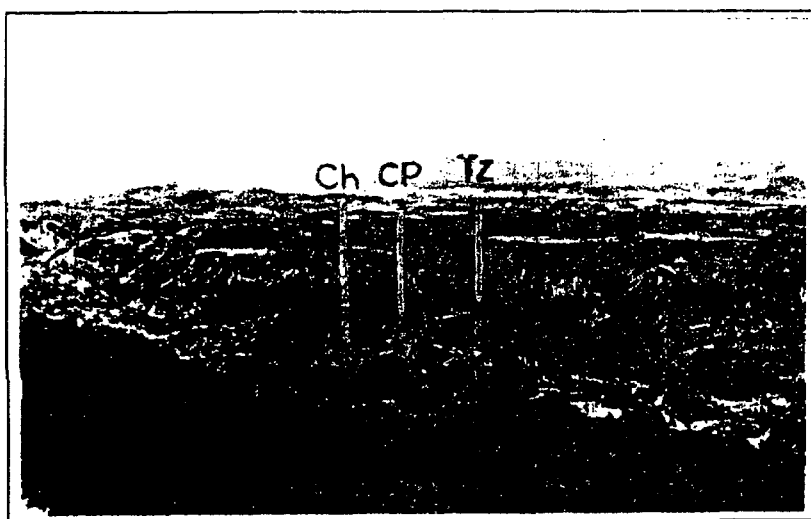


Figura 7.7. Panorámica donde se observan los valles fluviales de los Ríos Tzajá (Tz) y Chinautla (Ch), los cuales están separados por el Cerro Partido (CP). Vista al sudoeste.

¹¹⁸ INSIVUMEH / FONDO ARGENTINO DE COOPERACION HORIZONTAL, 1995.

Al igual que los cañones, los valles han sido cortados en los depósitos piroclásticos que forman la meseta del graben. El lecho rocoso sobre el cual se encuentran estas geoformas, lo constituye el granito, el cual posiblemente, ha dificultado la profundización de los cauces de los ríos, pero que a la vez a permitido el ensanchamiento de los valles. En el fondo de los valles, existen aluviones de diferente granulometría: En el valle del Tzajá, el aluvión lo constituyen clastos redondeados de granulometría muy gruesa (principalmente bloques), mientras que el valle del Chinautla, el aluvión está constituido principalmente por materiales más finos (materiales arcillosos hasta arenas gruesas). Los cauces actuales de los ríos en ambos valles, se encuentran cortando antiguas terrazas aluviales.

Los valles corren paralelos hacia el noreste y están separados por un angosto interfluvio (Cerro Partido) de forma triangular y de paredes muy abruptas que hacia el norte, desaparece paulatinamente conforme se acerca a la confluencia de estos ríos con el Río Las Vacas (Figura 7.7). En el valle de Chinautla, el río presenta un comportamiento donde la presencia de meandros es mucho mayor que en el río Tzajá, lo cual se puede deber a varias causas: a los caudales mayores que transporta el Río Chinautla y al constante azolvamiento del cauce del Río Chinautla, producto de la sedimentación de los materiales que arrastra en su trayecto.

8. EL AGUA

En algunas remociones generadas anteriormente, ha sido fundamental la presencia de agua en diversas formas: agua meteórica, corrientes fluviales y agua subterránea, esta presencia ha sido fundamental para modificar las condiciones normales que presenta el terreno y las rocas del lugar. Entre los papeles que ha realiza el agua están: Como agente erosivo; como sobrecarga en el terreno al saturarlo y como medio para llevar a cabo la meteorización de las rocas y materiales locales. Estos procesos, producen fundamentalmente, dos efectos en los materiales: debilita sus propiedades geomecánicas y los desintegra hasta formar regolita, lo cual facilita el proceso de remoción.

8.1. Aguas Meteóricas

Dependiendo de las condiciones de intensidad y duración de la lluvia, es posible que el agua llegue a saturar el terreno, lo cual aumenta la presión intersticial de los suelos y facilita enormemente la remoción de grandes bloques de materiales permeables¹¹⁹.

En el departamento de Guatemala, las aguas meteóricas han constituido un importante disparador de remociones como se observa en la **Figura 8.1**, en donde se presentan gráficas de la precipitación pluvial promedio durante la década 1980-89, y se compara con los eventos de remociones que han sido reportados para el mismo lugar durante el mismo tiempo. En estas gráficas, se observa que durante la primera parte del año (época seca), la generación de deslizamientos fue mínima, pero conforme se acerca junio, el aumento de los deslizamientos es muy evidente, hasta llegar a la época lluviosa o de altas precipitaciones (septiembre), donde la generación de deslizamientos aumentó enormemente, y conforme la temporada de lluvias fue decreciendo, la generación de deslizamientos disminuyó bruscamente.

¹¹⁹ Por ejemplo, los suelos del Valle de Guatemala, permiten intensidades de lluvia entre 10 y 15 mm/hora, sin llegar a saturarse. Ing. Fulgencio Garavito, Jefe de la Sección de Agrometeorología-INSIVUMEH. Com. Verbal, 1997.

A pesar que no existen parámetros similares a los que se observan en la Figura 8.1 para el área de estudio, la relación que existe entre ambos, es muy evidente, como se puede comprobar con el Deslizamiento de La Culebra (en las márgenes del río Tzajjá), donde se ha confirmado que el factor de disparo fue la intensidad de la precipitación pluvial.

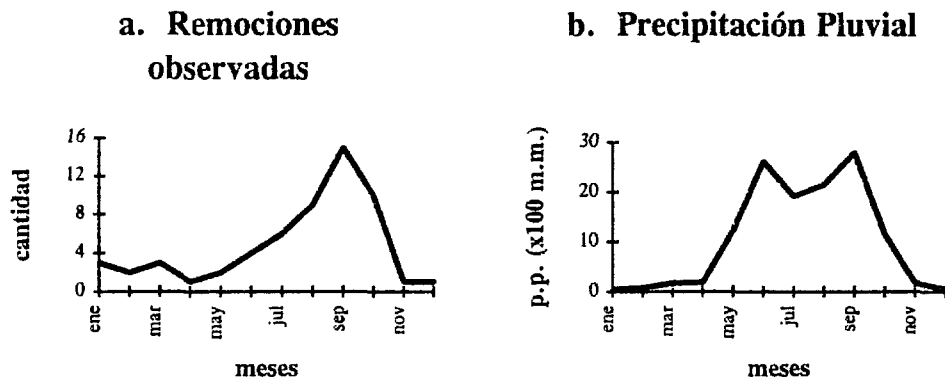


Figura 8.1. Gráficas: a. Principales deslizamientos reportados para el departamento de Guatemala, decenio 1980-89 (n=57). b. Precipitación pluvial mensual promedio (pp) para el departamento de Guatemala, decenio 1980-89 (información tomada de INSIVUMEH). Se observa que la incidencia de mayores deslizamientos para este período corresponde con el mes de septiembre (época de mayor precipitación pluvial).

Debido a que los cambios que sufre el clima en el valle, definitivamente tienen influencia en Chinautla, es necesario estudiar el comportamiento de estos cambios a nivel regional. Los cambios climáticos que afectan al valle, están influenciados principalmente por los fenómenos meteorológicos que afectan la región Centroamericana y Caribeña, siendo los más importantes: la presencia de la fase fría del Fenómeno del Niño (llamada "La Niña") y la temporada de huracanes (la cual generalmente se presenta entre los meses de agosto y octubre).

El Fenómeno del Niño, modifica la temperatura sobre la superficie del Océano Pacífico, lo cual incide en las precipitaciones pluviales que caen en Guatemala. Este fenómeno, presenta dos fases: La caliente, la cual produce que en el país una disminución en la frecuencia e intensidad de las lluvias que caen sobre el territorio, y la fría, la cual modifica el inicio, finalización e intensidad de las épocas lluviosas en el país y que involucra un aumento de los valores en las precipitaciones pluviales. En ocasiones, las condiciones climáticas del país pueden estimarse como normales (estaciones seca y de lluvias bien definidas), y entonces se puede mencionar que el fenómeno está en un estado neutro (ni fase fría ni caliente). En años

recientes (1995-96), el Fenómeno del Niño estuvo en su fase fría, lo que influyó en un aumento en las precipitaciones durante las estaciones lluviosas, algunas veces muy por encima de lo normal, pero para el año de 1997, la tendencia del Niño, es a aumentar la temperatura, pasando lentamente a la fase cálida, lo que podría influir negativamente en las lluvias.

Debido a que el país se encuentra al sudeste y al norte de la zona donde se generan las tormentas tropicales, es constantemente castigado por perturbaciones ciclónicas, además, hay que considerar que debido a la relativa cercanía de los océanos Pacífico y Atlántico, cuando cerca o en cualquiera de las costas pasa un huracán, la parte central y la costa opuesta sufren copiosas lluvias (Figura 8.2)¹²⁰.

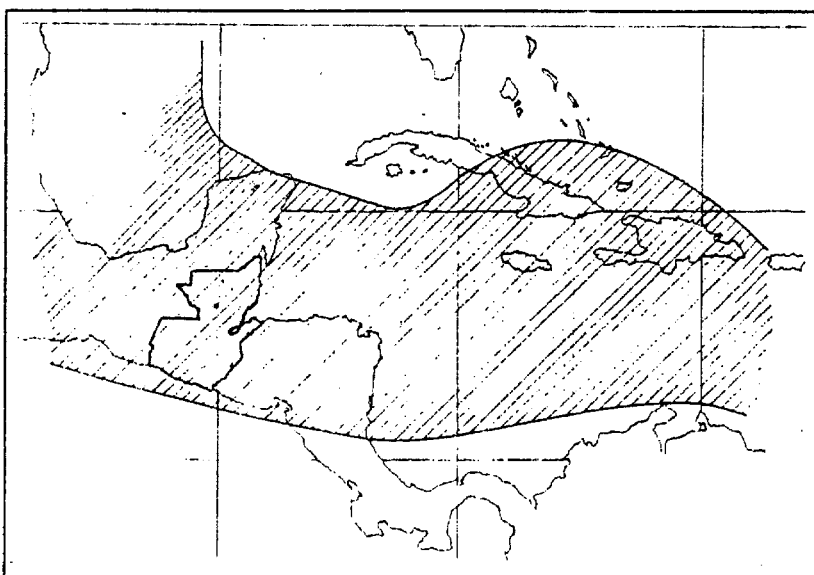


Figura 8.2. Área en la cual el paso de un huracán puede afectar a la República de Guatemala (Adaptado de INSIVUMEH-SECCION DE HIDROLOGIA APLICADA, 1977).

8.2. Escorrentía Superficial

Las corrientes superficiales han sido de mucha importancia para la generación de remociones, principalmente en zonas donde las corrientes cortan depósitos coluviales que están compuestos de materiales con una deficiente o nula

¹²⁰ INSIVUMEH-SECCION DE HIDROLOGIA APLICADA (1977).

compactación. La importancia de los ríos aumenta, si se toma en cuenta que sus caudales normales son aumentados grandemente con los aportes de los desagües que provienen de distintos puntos de la ciudad de Guatemala.

De los ríos locales, el más problemático ha sido el Río Chinautla, ya que existen varios factores que inciden en la intensidad de la corriente y que vuelve más compleja la actividad del río, así como sus efectos en el poblado de Santa Cruz: los altos caudales que transporta; el material que corta a su paso por el poblado (depósito de remociones antiguas); la extracción de arena hacia el norte del poblado que permite el aumento de velocidad y de la energía aguas arriba; finalmente, los desechos que arrastra la corriente, algunos de los cuales son depositados en los alrededores de Santa Cruz, mientras que otros actúan como abrasivos en el proceso erosivo de la corriente.

Los desagües que alimentan las corrientes locales, no sólo incluyen líquidos, sino que en el caso de los industriales, incluyen materiales abrasivos que ayudan en la erosión de las márgenes. Definitivamente, en la época de lluvias o durante las fuertes lluvias ocasionales que caen en el área, los caudales aumentan aún más, incrementando el poder erosivo del río.

A pesar de que no se ha cuantificado la influencia de la extracción de arena que se efectúa en el cauce del río Chinautla, si se sabe que contribuye con la erosión en los alrededores del pueblo. Estas actividades extractivas, han permitido la variación constante del nivel de base del río, motivando la erosión del terreno aguas arriba de las áreas de extracción.

En los alrededores de Santa Cruz, el Chinautla forma meandros, la mayoría de los cuales se forman cuando el cauce del río es azolvado u obstruido por la depositación de los desechos transportados. La formación de estos meandros, permite la erosión de áreas que anteriormente no eran afectadas por la erosión fluvial. Ocasionalmente, el río socava la base de algunos bloques de terreno, lo cual debilita el terreno y puede activar nuevas remociones, como en el caso del Cantón Amatitlancito, donde la base del bloque deslizante, es erosionada por la corriente fluvial.

En Santa Cruz, existen algunas viviendas que anteriormente se encontraban alejadas de los actuales cortes de terreno producto de la erosión hídrica, pero que debido al cambio del cauce del río, actualmente se encuentran cerca de las zonas de amenaza de remoción.

8.3. La Infiltración

La mayoría de los materiales recientes que cubren Chinautla (depósitos piroclásticos de flujo, coluviones y aluviones), presentan una permeabilidad primaria. Intercalados entre los depósitos de flujo, existen algunos depósitos impermeables o semipermeables (paleosuelos y depósitos de caída) que constituyen ocasionalmente acuífugos. Por el contrario, las rocas Precuatnarias, se caracterizan por poseer una permeabilidad secundaria, producto del fracturamiento.

La permeabilidad primaria de los depósitos Cuaternarios, facilita la infiltración de las aguas meteóricas en el terreno, aunque según el **INSIVUMEH *et al*** (1978), la infiltración en los depósitos cuaternarios en la parte norte del Valle de Guatemala, es mínima (aproximadamente del 8%), lo cual es debido a que grandes extensiones de terreno, está constituido por laderas abruptas, las cuales facilitan el escurrimiento superficial de las aguas.

Según **CRESPO (1994)**, las lluvias prolongadas que caen sobre el terreno, son las que más influyen en la inestabilidad de una ladera, ya que estas aguas pueden llegar a saturar el suelo, siendo, las aguas que penetran en la zona cercana a la cresta de los taludes, las que generan el mayor volumen de filtraciones en el terreno.

La filtración de las aguas en los materiales Cuaternarios, llega hasta el contacto con las rocas del basamento local, el cual constituye el acuífugo más importante del área. En algunos puntos donde está expuesto dicho contacto, es donde se observa algunos manantiales, los que seguramente escurren aprovechando dicho contacto. Este contacto constantemente humedecido, constituye una superficie sobre la cual se facilita la remoción de los materiales suprayacentes (generalmente depósitos volcánicos).

En el caso de los materiales que forman los depósitos de remociones antiguas, el aporte de las aguas meteóricas, permite que estos materiales poco coherentes y altamente permeables, se saturen rápidamente y que se generen, activen o reactiven fácilmente deslizamientos (como en el caso de la reactivación que sufre el deslizamiento del Cantón Amatitlancito en Santa Cruz, en la época de lluvias), o se produzca una licuefacción o hundimiento del terreno, como el sucedido en el caso de la Iglesia Católica de Santa Cruz y el edificio del Juzgado del mismo lugar (Fig. 6.10).

9. ACTIVIDAD SISMICA

Los deslizamientos disparados por la actividad sísmica no está lo suficientemente estudiada, a pesar que en zonas como Guatemala, los movimientos sísmicos son muy frecuentes. El único registro que se tiene acerca del movimiento sísmico como disparador de deslizamientos, es el caso del Terremoto de 1976, el cual fue estudiado por HARP, E.L. *et al* (1981). En su estudio, HARP estimó que en el Valle de Guatemala, los deslizamientos se concentraron en los cañones que bordean la capital, principalmente hacia el norte de la misma, en los alrededores de Chinautla (ver Figura 9.1). A pesar del detalle con que se trabajó en esta ocasión, hay que tomar en cuenta que los resultados obtenidos, no pueden tomarse como típicos, ya que el comportamiento de este evento fue muy complejo y poco común¹²¹.

Según MOLINA, E., VILLAGRAN, M. y LIGORRIA, J.P. (1996), para estimar el grado de amenaza sísmica al cual está expuesta Chinautla, sería necesario conocer al menos las fuentes sísmicas que puedan generar sismos destructores en el lugar, sus posibles magnitudes y frecuencia en el tiempo, la atenuación de la amplitud de las ondas con la distancia y calcular con que probabilidad en el tiempo se puedan dar aceleraciones horizontales importantes, además, se hace necesario tomar en cuenta algunos factores locales que influyen en la distribución de los deslizamientos durante un sismo, y que fueron contemplados por HARP: La topografía, litología, los fracturamientos tectónicos regionales y la intensidad sísmica.

9.1. Fuentes Sísmicas

Hasta el momento, se distinguen tres fuentes sísmicas principales en el país, que podrían generar sismos de grandes magnitudes en la Capital: La zona de subducción, los fallamientos secundarios localizados en el altiplano guatemalteco y los Grandes Fallamientos del Norte¹²². Para los sismos generados en la zona de subducción, en la Capital se podrían esperar intensidades de al menos grado VI (MMI), mientras que en los sismos originados en los Fallamientos del Norte, se podrían

¹²¹ Ing. Enrique Molina, jefe de la Sección de Sismología, INSIVUMEH. Com. Verbal, 1997.

¹²² Según MOLINA, E., VILLAGRAN, M. y LIGORRIA, J.P. (1996)

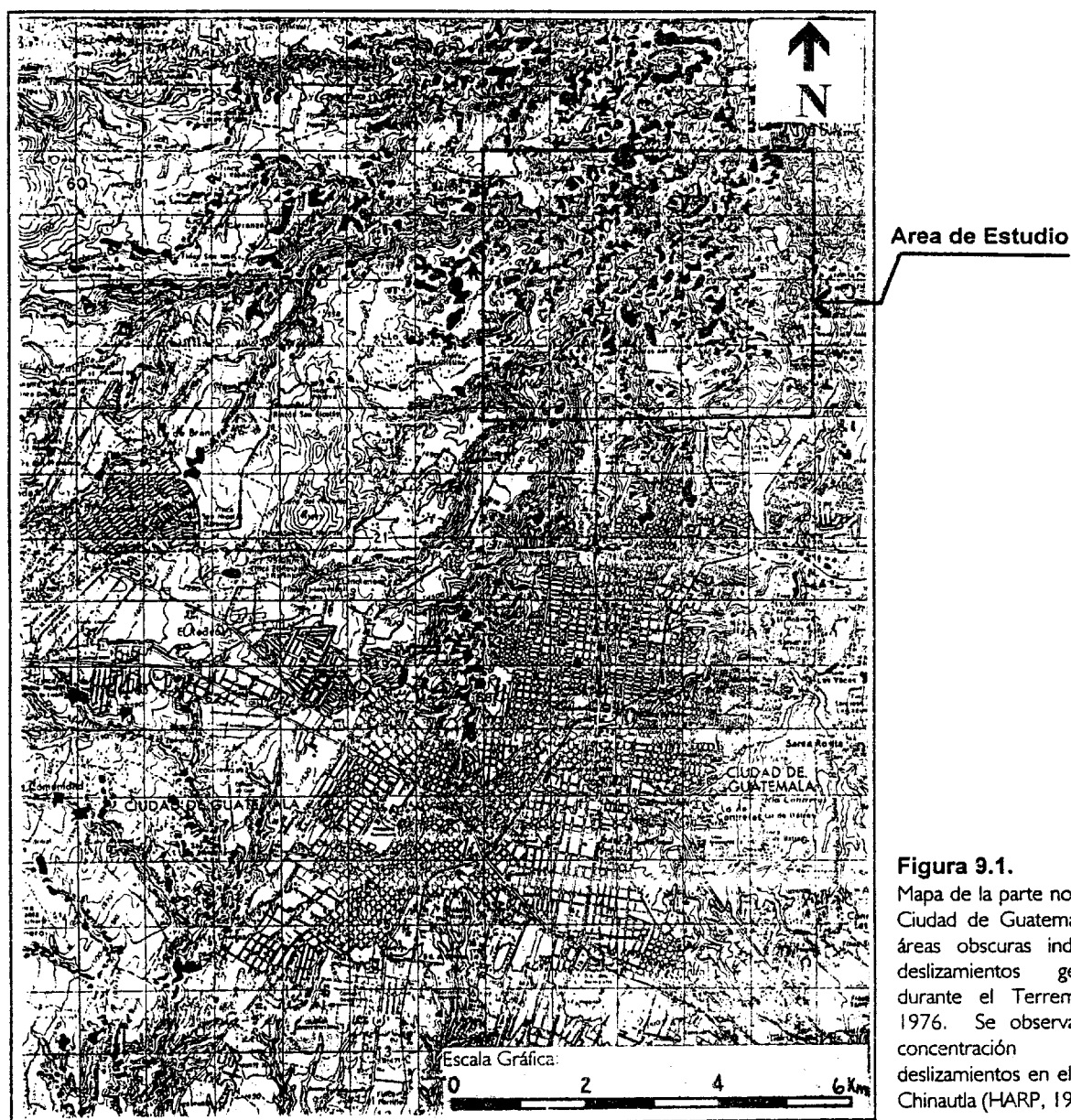


Figura 9.1. Mapa de la parte norte de la Ciudad de Guatemala. Las áreas oscuras indican los deslizamientos generados durante el Terremoto de 1976. Se observa la alta concentración de deslizamientos en el área de Chinautla (HARP, 1980)

esperar intensidades de al menos grado VII (MMI). Para el caso de los fallamientos secundarios, se puede esperar que se generen enjambres de sismos o un solo sismo de respetable magnitud (entre 4.0 y 6.5 grados en la escala de Richter) que pueden causar daños considerables seguido por réplicas¹²³

En el caso de los fallamientos secundarios, estos tienen una influencia muy localizada (casi 50 kilómetros del epicentro), y por lo tanto, Chinautla estaría afectada por las fallas que rodean el Valle de Guatemala (Zonas de Falla de Mixco y de Pinula y la Falla de Jaipatagua, al occidente, oriente y sur, respectivamente).

¹²³ ARCE VALENZUELA, A. (1996)

9.2. La Intensidad Sísmica

Las ondas sísmicas pueden mover el terreno a distintas velocidades y aceleraciones, dependiendo de las características del terreno y de la distancia y frecuencia con que las ondas pasen¹²⁴. Durante un sismo, estos movimientos pueden generar grandes consecuencias aún en lugares muy alejados del epicentro. Cuando las aceleraciones alcanzan valores iguales o mayores a 0.05 veces la aceleración de la gravedad ($\approx 0.5 \text{ m/seg}^2$) son considerados importantes.

Para el caso de la Ciudad de Guatemala, existen algunos valores de PGA¹²⁵ que pueden esperarse al menos una vez en cierto período de tiempo (probabilidad de excedencia) tanto para sitios cubiertos por suelos, como para sitios donde aflora el basamento rocoso. En la Tabla 9.1, se presentan estos valores, para los períodos de tiempo más frecuentemente utilizados¹²⁶. Como complemento de esta tabla, se presenta la Figura 9.2, en donde se muestran las curvas de relación entre la aceleración e intensidad sísmica MMI, las cuales son propuestas por varios autores.

| Probabilidad anual de excedencia | PGA (m/s ²) para suelo | PGA (m/s ²) para roca |
|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 0.5 ~ 2 años | 0.93 | 0.67 |
| 0.1 ~ 10 años | 1.83 | 1.32 |
| 0.02 ~ 50 años | 2.99 | 2.15 |
| 0.01 ~ 100 años | 3.64 | 2.62 |
| 0.004 ~ 250 años | 4.61 | 3.32 |
| 0.002 ~ 500 años | 5.46 | 3.93 |
| 0.001 ~ 1000 años | 6.46 | 4.65 |

Tabla 9.1. Valores de PGA (Peak Ground Acceleration) para suelos y roca para los períodos más frecuentemente utilizados para la Ciudad de Guatemala (VILLAGRAN, M., 1995).

A partir de la gráfica de la Figura 9.2, se obtienen los valores de intensidades para las aceleraciones propuestas en la Tabla 9.1, así, por ejemplo, se puede estimar que la probabilidad de que se genere un sismo con intensidad de grado VI (MMI), varía entre 2 y 10 años (10-50%)¹²⁷. A pesar de que en su estudio, HARP estimó que en 1976 los deslizamientos en la Capital, se concentraron en las áreas donde se alcanzaron intensidades VI o más (MMI), no existen datos específicos para Chinautla acerca de las intensidades sísmicas sentidas en el lugar, únicamente se sabe que al igual que en los sismos de 1917-18, las intensidades

¹²⁴ Molina, E. *et al.* IDEM.

¹²⁵ En ingeniería, los valores máximos de aceleración que pueden esperarse en un sitio cualquiera, recibe el nombre de PGA (Peak Ground Acceleration).

¹²⁶ Esta tabla fue hecha representando la Ciudad de Guatemala por las coordenadas del Palacio Nacional.

¹²⁷ Según HARP, en las áreas que en 1976 sufrieron intensidades de grado VI (MMI) o más, se concentraron los deslizamientos originados durante el terremoto.

sísmicas tuvieron que alcanzar al menos intensidades de grado VI (MMI), como lo evidencia la destrucción de la iglesia local en ambas ocasiones.

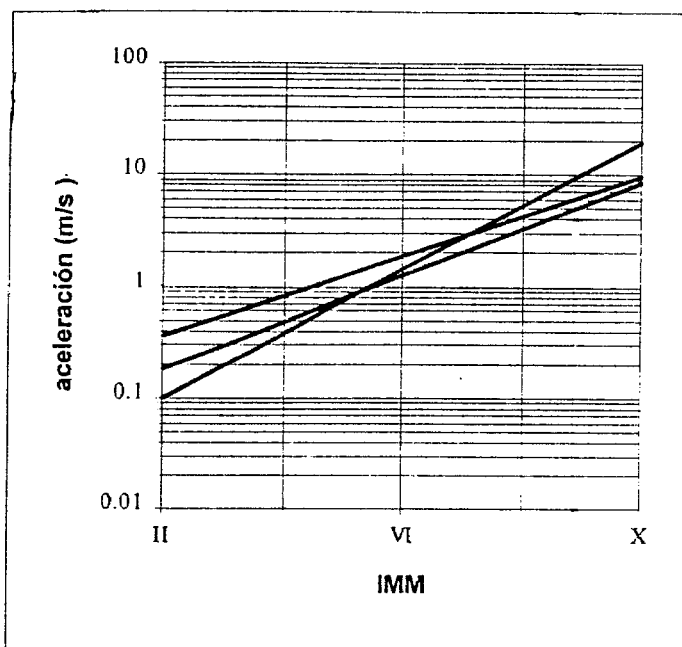


Figura 9.2. Gráfica de correspondencia entre la Intensidad (IMM) y la aceleración del terreno según varios autores (Adaptado de DEGENKOLB, H.J., WOSSER, T.D. y WYLLIES, L.A., 1978).

Otros factores que deben tomarse en cuenta al analizar la intensidad sísmica en Chinautla, son la **amplificación de las ondas por las características del terreno (topografía y litología)** y la **atenuación del movimiento del terreno como efecto de la distancia hasta el epicentro, la magnitud del sismo y las aceleraciones pico en el área**¹²⁸.

9.3. Topografía Local

En la **Figura 9.1**, se observa que en 1976, los deslizamientos se concentraron principalmente en los cañones de laderas abruptas, con una gran incidencia al norte del valle. Esto demuestra la importancia que tuvo la pendiente de las laderas para la generación de deslizamientos de diverso tipo: los deslizamientos superficiales fueron comunes en laderas de pendientes entre 25 y 30° y los derrumbes en laderas de pendientes > 50° (HARP, Idem).

¹²⁸ Según "Evaluación de la amenaza sísmica para la Ciudad de Guatemala". Universidad de San Carlos de Guatemala-CESEM. 1993.

En Chinautla la mayoría de los cañones presentan laderas muy abruptas, observándose con regularidad pendientes $> 50^\circ$ hasta cortes verticales, principalmente en las márgenes de los ríos y junto a las carreteras. En el caso de laderas de pendientes entre 25 y 30° , estas se observan principalmente en las partes topográficas bajas, aumentando en cantidad hacia la parte norcentral, en los valles de los ríos Tzajjá y Chinautla. En algunos casos, existen pendientes bajas en las secciones terminales de los cerros alargados y en algunos de los depósitos de remociones.

HARP sugiere que la topografía junto con la litología, fueron los factores de mayor influencia en la distribución de los deslizamientos en la Capital, ya que las características geométricas de los cañones (ancho de los cañones y la presencia de interfluvios angostos que generan convexidades topográficas), ayudaron en la amplificación de la intensidad sísmica.

En los casos donde los cañones son muy angostos y presentan interfluvios con pendientes muy abruptas (principalmente al sur del área) y dependiendo de las condiciones de las ondas sísmicas (longitud de onda y ángulo de incidencia), se pueden amplificar las intensidades sísmicas hasta en seis veces el valor original (WONG y JENNINGS en HARP *et al*, 1981).

9.4. La Litología

En la Figura 9.1, se observa que para 1976, al NE del área la concentración de deslizamientos se produjo en el intrusivo del Río Las Vacas, donde el terreno es muy abrupto y seguramente los deslizamientos que ocurrieron fueron superficiales, tal como se observa en la actualidad. Por el contrario, las remociones generadas en depósitos piroclásticos, seguramente fueron deslizamientos superficiales de poco espesor y posiblemente las remociones más grandes fueron deslizamientos rotacionales. Según HARP, la alta concentración de remociones en los depósitos volcánicos fue producto principal de la cementación deficiente o inexistente entre los fragmentos de las distintas unidades, lo que influye en que estos depósitos no puedan soportar esfuerzos tensionales $> 0.4 \text{ kg./cm}^2$ ¹²⁹.

Aparte de lo anterior, hay que considerar que los depósitos de caída presentan condiciones geomecánicas más críticas, ya que poseen una coherencia algo quebradiza a deleznable, lo que impide que puedan soportar esfuerzo alguno,

¹²⁹ Según CRESPO V. (1994), las rocas más suaves deben de tener una capacidad de carga mínima de 8 kg./cm^2 .

pudiendo constituir posibles superficies de deslizamiento en futuros sismos. Además de los depósitos de caída, los paleosuelos (principalmente donde forman paleosuperficies inclinadas), podrían comportarse como superficies de deslizamiento, aunque no existen evidencias de que se hubieran comportado como tales en anteriores ocasiones.

Además de las características propias hay que considerar que la mayoría de las rocas en el área están expuestas al intemperismo, lo cual crea zonas de debilidad a pesar de que logran mantener una relativa estabilidad en condiciones estáticas. En el momento en que se genera una aceleración significativa, las condiciones de estabilidad de los materiales podrían perderse, facilitando las remociones, principalmente en laderas de pendientes abruptas o verticales. En el caso de algunos cortes de los depósitos piroclásticos, se observan fracturas producto posiblemente de esfuerzos tensionales, la presencia de las cuales podría generar derrumbes durante o después de un sismo.

Otro aspecto que debe de considerarse en las rocas locales, es el incremento de la intensidad sísmica que pueden generar, para lo cual existen tablas empíricas elaboradas en base a observaciones durante terremotos en distintas regiones del mundo. Un ejemplo de ello, es la tabla obtenida de observaciones en Chile y que se presenta en la **Tabla 9.2**.

| Unidad Geológica | Incrementos en Intensidad (MMI) |
|------------------------------|---------------------------------|
| Rocas graníticas | 0.0 |
| Cenizas volcánicas pumíticas | 1.5 - 2.5 |
| Gravas | 0.5 - 1.0 |
| Coluvión | 1.0 - 2.0 |
| Depósitos lacustres | 2.5 |

Tabla 9.2. Incrementos en la intensidad sísmica (MMI) para distintas unidades de materiales litológicos según lo estimado por Astroza y Monje para terremotos en Chile (1991) (Tomado de JAPAN WORKING GROUP FOR TC-4 COMMITTEE, 1992)

Según esta tabla, las rocas que afloran al NE, este y al SE, no generan un incremento en las intensidades sísmicas, mientras que los depósitos piroclásticos Cuaternarios pueden generar un incremento que varía entre 1.5 y 2.5 en la escala de Intensidades de Mercalli Modificada (MMI). En el caso de los depósitos de remociones (coluviones), el incremento puede ser entre 1 y 2 grados, mientras que los aluviones, podrían llegar a generar incrementos entre 0.5 a 1 grado de intensidad.