



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO.

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“Microzonificación Sísmica de la Zona
Urbana de Motozintla de Mendoza,
Chiapas.”**

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A:

MORENO PERALES GLORIA AZUCENA.

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. David Alberto Novelo Casanova.

Ciudad Universitaria, México D.F., 2011





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.

A mi mami por todo el amor que me ha dado

U

Por la fortaleza que siempre has demostrado.

AGRACECIMIENTOS

Dr. David Alberto Novelo Casanova gracias por abrirme las puertas del Instituto de Geofísica, por la confianza que me tienes, por todas las oportunidades que me brindaste para que pudiese incrementar mis conocimientos, habilidades y por todos los consejos tan oportunos que me diste.

M.C. Javier Lermo Samaniego, me enseñaste lo poco que se sobre microzonificación y otros temas, gracias por compartir tus conocimientos, asesorarme, por hacer que este trabajo se enriqueciera con tus “tips” y comentarios, y por estar siempre dispuesto a ayudarme.

M.C. Juan Manuel Sánchez eres una pieza importante en este trabajo, sin la cual no hubiese sido posible su elaboración, gracias por haberme abierto un espacio en tu agenda, cuando necesite apoyo, por tus consejos, observaciones, y por dirigirte conmigo siempre con sinceridad. Has sido uno de mis maestros del cual quiero seguir aprendiendo.

Paty Medina siempre has mostrado una actitud amable, bondadosa y una gran disposición para ayudarme, te agradezco todas las veces que acudí a ti para molestarte, y por las facilidades que me otorgaste, las cuales hicieron más productiva mi estancia en el Instituto.

Mami eres la persona más importante en mi vida, te agradezco el que estés permanentemente conmigo de manera incondicional, el impulsar fuertemente cada paso que doy. Gracias por todas las veces que madrugaste y los desvelos que pasaste, mientras esperabas que llegase a casa. Lo que soy es por ti y aunque jamás reclames nada de lo que me das, eternamente estaré en deuda.

Papá has hecho un gran esfuerzo para que pudiese cumplir mis metas y se que a tu manera siempre seguiré contado contigo, por lo cual te expreso mi gratitud.

Queridos hermanos (Eduardo, Issela, Esperanza, Mariza, Alberto, Juana, Audelia y Eloy), ustedes me apoyaron de una forma sin precedente, en el camino que decidí emprender. Han confiado y creído en mi, uno de mis sueños es que la manera en que he conducido mi vida les haga sentirse orgullosos de mi.

Sobrinitos quiero ser una buena guía para ustedes, se que para lograrlo es necesario seguir el sendero de la rectitud, gracias por marcar su dirección correcta, por señalar cuando me desvió de el y por llenar mi vida de felicidad con su presencia.

Miky has estado conmigo en los buenos y malos momentos; persistentemente me alentaste y animaste a seguir adelante cuando he estado a punto de desfallecer, eres un gran compañero de trabajo pero sobre todo mi mejor amigo.

Alejandra, Kery, Azalia y Omar; son buenos compañeros de trabajo, en ustedes encontré no solo apoyo académico, sino una buena amistad. Gracias por la paciencia y el tiempo que me dedicaron para enseñarme nuevas cosas. Debo de darles el crédito que merecen, sin duda alguna ustedes son autores de este ejemplar.

ÍNDICE.

| | |
|---|-----------|
| DEDICATORIA..... | 2 |
| AGRADECIMIENTOS..... | 3 |
| RESUMEN..... | 8 |
| | |
| CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN..... | 9 |
| | |
| CAPITULO 2: ANTECEDENTES SÍSMICOS DEL MUNICIPIO DE MOTOZINTLA DE MENDOZA, CHIAPAS (AMENAZA SÍSMICA)... | 14 |
| 2.1 Sismicidad histórica en Chiapas. | 14 |
| 2.2 Sismicidad histórica de la República de Guatemala..... | 19 |
| 2.3 Principales eventos sísmicos ocurridos durante el siglo XX..... | 21 |
| | |
| CAPITULO 3: GEOLOGÍA REGIONAL DE LA CUENCA DE MOTOZINTLA, CHIAPAS..... | 23 |
| 3.1 Aspectos Generales..... | 23 |
| 3.1.1 Vías de comunicación..... | 24 |
| 3.2 Geología regional..... | 24 |
| 3.2.1 Macizo de Chiapas (Pérmico-Triásico)..... | 25 |
| 3.2.2 Formaciones sedimentarias..... | 27 |
| 3.2.2.1 Formación Todos Santos..... | 27 |
| 3.2.2.2 Formación Sierra Madre..... | 28 |
| 3.2.3 Rocas plutónicas..... | 29 |
| 3.2.3.1 Tronco de Buenos Aires..... | 29 |
| 3.2.3.2 Tronco de Amatenango de la Frontera..... | 29 |
| 3.2.3.3 Tronco de Toliman..... | 30 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2.3.4 Complejo granodiorítico..... | 30 |
| 3.2.4 Rocas volcánicas..... | 31 |
| 3.2.4.1 Toba andesítica-toba dacítica..... | 31 |
| 3.2.4.2 Toba riolítica..... | 31 |
| 3.2.4.3 Lahar-Brecha volcánica andesítica..... | 31 |
| 3.2.5 Aluvión..... | 32 |
| 3.3 Tectónica..... | 32 |

CAPITULO 4: GEOLOGÍA LOCAL DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE MOTOZINTLA DE MENDOZA, CHIAPAS.....35

| | |
|--|-----------|
| 4.1 Terminología..... | 35 |
| 4.2 Flujo de escombros (FE)..... | 37 |
| 4.3 Flujos Hiperconcentrados..... | 39 |
| 4.4 Metodología del Trabajo de Campo..... | 41 |
| 4.5 Caracterización de las unidades litoestratigráficas..... | 42 |
| 4.6 Interpretación geológica local..... | 44 |
| 4.6.1 Descripción de los depósitos aluviales (registro geológico reciente).... | 45 |
| 4.6.1.1 Abanicos fluviales..... | 46 |
| 4.6.1.2 Terrazas fluviales..... | 55 |
| 4.6.1.3 Rampas fluviales..... | 60 |
| 4.6.1.4 Eventos recientes..... | 64 |
| 4.7 Basamento..... | 68 |

CAPITULO 5: RESULTADOS DEL MÉTODO GEOFÍSICO SÍSMICA DE REFRACCIÓN.....71

| | |
|---|-----------|
| 5.1 Introducción..... | 71 |
| 5.2 Prospección sísmica por refracción en Motozintla, Chiapas..... | 78 |

| | |
|---|----|
| 5.2.1 Etapa 1: Recopilación de información..... | 79 |
| 5.2.2 Etapa 2: Adquisición de datos..... | 80 |
| 5.2.3 Etapa 3: Procesamiento..... | 84 |
| 5.2.4 Creación y análisis de gráficos tiempo-distancia (Domocrónicas)..... | 86 |
| 5.2.5 Determinación de las velocidades de propagación de las ondas sísmicas, cálculo del periodo del suelo..... | 88 |

CAPITULO 6: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DEL SUELO.....91

| | |
|---|-----|
| 6.1 Introducción..... | 91 |
| 6.2 Cálculo del periodo dominante de vibración del suelo con microtremores..... | 91 |
| 6.2.1 Técnica de Nakamura..... | 92 |
| 6.2.2 Registro de vibración ambiental: equipo de medición..... | 93 |
| 6.2.3 Trabajo de campo..... | 93 |
| 6.2.4 Procesamiento de las señales..... | 94 |
| 6.3 Cálculo de amplificación y periodo dominante del suelo con sismos..... | 98 |
| 6.4 Determinación de familias (función de transferencia empírica promedio) de acuerdo a la forma espectral..... | 99 |
| 6.5 Determinación del periodo dominante del suelo..... | 101 |

CAPITULO 7: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....103

CONCLUSIONES.....114

BIBLIOGRAFIA.....116

RESUMEN

La ciudad de Motozintla, Chiapas, la cual esta expuesta a diversos fenómenos naturales, tales como: inundaciones, procesos de remoción de masa y sismos, presenta también problemas de desarrollo social, que la hace vulnerable ante la ocurrencia de cualquiera de este tipo de fenómenos. En este trabajo se realizó la microzonificación sísmica de esta ciudad, utilizando las técnicas de Nakamura para obtener la función de transferencia empírica promedio y refracción sísmica para procesar e interpretar los registros de las ondas longitudinales así como para calcular la velocidad de las ondas de corte y el periodo teórico del suelo.

Esta investigación se justifica considerando que Motozintla se encuentra expuesta a sismos generados en dos fuentes sísmicas (Fosa Mesoamericana y Sistema de Fallas Polochic-Motagua), y al amplio registro de sismos ocurridos cerca del área de estudio. Los resultados de la microzonificación y de refracción sísmica fueron relacionados con la geología local (compuesta por el batolito de Chiapas, los cuerpos intrusivos tronco de Toliman, de Buenos Aires y Amatenango de la Frontera; las formaciones sedimentarias; Todos Santos, la Formación Sierra Madre; rocas volcánicas y por diversas formas acumulativas del relieve). Los resultados obtenidos permitieron zonificar la ciudad de Motozintla en: Zona Firme (mínima amplificación de las ondas sísmicas; macizo rocoso), Zona Moderada (moderada amplificación de las ondas sísmicas; abanicos y terrazas fluviales antiguas) y Zona Blanda (máxima amplificación de las ondas sísmicas; antiguo y actual cauce del Río Xelajú). De acuerdo a las características del suelo aquí obtenidas, se puede evaluar el nivel de exposición sísmica a las que se encuentran expuestas las viviendas considerando su ubicación y a la forma en que están construidas. Otra de las secuelas de este trabajo es que permitirá apoyar los planes de respuesta o mitigación de las autoridades de Protección Civil.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.

Evaluar las implicaciones que tiene la amenaza sísmica sobre las construcciones que existe en la cabecera municipal de Motozintla de Mendoza, Chiapas, a través de estudios de microzonificación sísmica permitirá determinar el efecto de sitio (ES) existente en la zona de interés.

El conocer el ES o los periodos dominantes del suelo brindará la base para la elaboración de manuales que permitirán la implementación de acciones preventivas relacionadas con la edificación de viviendas y construcciones con mayor resistencia al impacto de sismos. Los resultados obtenidos podrán ser extrapolados a otras ciudades que presenten condiciones semejantes a las del área de estudio y mejorará la capacidad de respuesta de instituciones de protección civil ante la ocurrencia de un evento sísmico con el potencial de producir daños considerables a diversos sectores.

En este estudio se establece la relación existente entre las características geológicas y las propiedades geofísicas del área de estudio mediante el procesamiento, análisis e interpretación de datos obtenidos a través de los métodos de geofísica sísmica de refracción y vibración ambiental (microtremores) y la determinación de la geología a detalle.

Chiapas es una de los estados del país que presenta mayor susceptibilidad a sufrir los efectos de un desastre provocados por una combinación de fenómenos naturales (sismicidad, vulcanismo, inundaciones y procesos de remoción en masa) y las condiciones socio-económicas prevalecientes. Para evidenciar esta aseveración basta hacer un breve análisis de las características geográficas, climáticas, geológicas de este estado y recordar los desastres históricos, actuales provocados por distintos fenómenos naturales.

Los sismos provocan pérdidas humanas, severos daños estructurales, y un empobrecimiento en el nivel socio-económico de la población. El estado de Chiapas a lo largo de su existencia ha acumulado un amplio acervo de eventos sísmicos, esto se debe a la cercanía que guarda con dos rasgos tectónicos, originadas por la interacción entre las

placas de Cocos, Norteamérica y del Caribe (Figura 1). La historia de la actividad sísmica de este estado se ha documentada en crónicas, diarios y escritos, los cuales han sido recabados por García y Suárez (1996), quienes demuestran que se han suscitado más de 91 sismos durante el periodo pre-instrumental (antes de 1912).

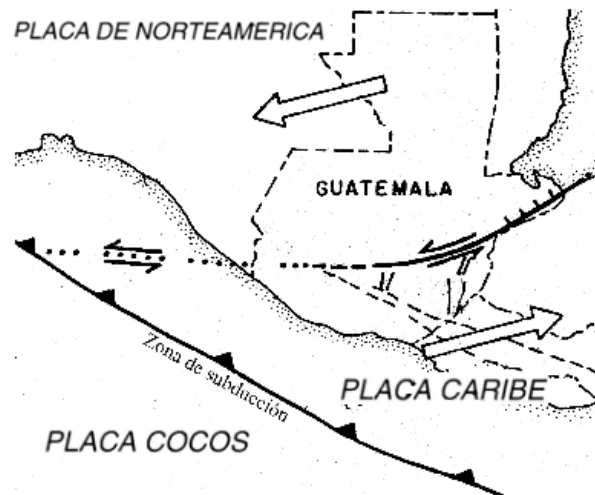


Figura 1. Rasgos tectónicos del estado de Chiapas (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, 2011)

Esta entidad pertenece a la 30 región hidrológica (Grijalva- Usumacinta) que a su vez forma parte de la XI hidrológico-administrativo (Frontera sur) (CNA, 2010). En ella, durante el periodo 1971- 2000 se registro la mayor cantidad de precipitación pluvial normal (1846.5 milímetros). Además, presenta el mayor escurrimiento natural medio superficial total (139,739 hm³/año). Basados en la clasificación regional hidrológico- administrativo ocupa el segundo lugar en recarga media total de acuíferos en el país (18 015 hm³/año) y en precipitación pluvial normal por entidad federativa, durante el periodo 1971-2000 con 1768 milímetros (CNA, 2010). Las características anteriores aunadas a que el estado de Chiapas hacia el oeste se encuentra enmarcado por el Océano Pacífico y su cercanía al Océano Atlántico promueven la presencia de importantes fenómenos hidrometeorológicos (depresiones y tormentas tropicales, huracanes) quienes son capaces de provocar severas inundaciones que se traducen en graves daños en diversos sectores. Los principales fenómenos naturales de este tipo que han afectado a este estado y que permanece en la memoria reciente de los chiapanecos son los huracanes, Mitch (1998) y Stan (2005).

Las condiciones hidrológicas, morfológicas y geológicas también hacen susceptible a esta región a los procesos de remoción de masa (PRM) que se agudizan por las actividades antrópicas. Un ejemplo de los PRM son los que han ocurrido a lo largo de la carretera Huixtla – Motozintla (Suárez, 2006).

En Chiapas la presencia de los edificios volcánicos Chichonal y Tacana son muestra eminente de actividad volcánica de esta región. Sin embargo la única amenaza de origen volcánico que podría ocurrir en Motozintla es la generada por la caída de ceniza (J.L. Macías, comunicación personal, 2011).

El deterioro ambiental multiplicado por los aspectos económico–sociales y el sistema multi-amenaza que se presentan en la región propician distintos tipos de riesgo, que debido a la gran vulnerabilidad que presenta este estado ante la ocurrencia de diversas amenazas, desde el año 2008 se ha puesto en marcha el proyecto **“Construcción de Escenarios de riesgo para la reducción de desastres: Proyecto piloto en la Sierra Madre y Planicie Costera del Estado de Chiapas”**, bajo la responsabilidad del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Este proyecto tiene por objetivo diseñar metodologías para la construcción de escenarios de riesgo y su reducción, mediante la caracterización de las amenazas existentes y la determinación de los indicadores socio-económico y ambientales, que constituyen diferentes escenarios de riesgo; así como desarrollar herramientas, programas y materiales educativos, con la finalidad de difundirlos a toda la población e instituciones involucradas en la toma de decisiones, para diseñar acciones enfocadas a reducir el riesgo ante distintas amenazas.

En el proyecto participan responsables de diferentes instituciones y disciplinas, con el objeto de desarrollar instrumentos metodológicos de análisis para la reducción del riesgo provocado por amenazas naturales de origen sísmico, volcánico, procesos de remoción de masas e inundaciones, las cuales se asocian a la fragilidad ambiental, estructural y socio económica en la Sierra Madre y Planicie Costera de Chiapas (SMPCC) (D.A. Novelo, comunicación personal, 2011).

La región SMPCC fue seleccionada en este estudio, ya que reúne condiciones de multi-amenaza de origen natural, y antrópico, que la predispone a que acontezcan desastres provocados por distintas amenazas de diferentes niveles. Administrativamente, el área de estudio se localiza dentro de la VII región económica de Chiapas (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Chiapas, 2005), integrada por ocho municipios (Amatenango de la Frontera, Bejucal de Ocampo, Bellavista, La Grandeza, Mazapa de Madero, Motozintla, El Porvenir y Siltepec); los cuales y de acuerdo a los criterios del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) presentan un rezago social y un índice de marginación entre alto y muy alto (Angulo, 2010). Estos datos asociados a la existencia de dificultades para la producción agrícola, escasez de recursos productivos, dependencia al café, a las remesas que recibe la población de sus familiares desde los Estados Unidos, un alto deterioro ambiental y una pobre infraestructura; hacen a esta región altamente vulnerable (Villafuerte, 2010).

En la cabecera municipal de Motozintla se concentran servicios de salud, educativos, administrativos y financieros, además cuenta con algunas representaciones del gobierno a nivel federal y estatal (Villafuerte, 2010). Su condición de eje central a nivel regional aunado a que presenta el mayor índice de población (23,755 habitantes) (INEGI, 2010) hacen que esta ciudad refleje los problemas ambientales sociales, económicos de la región Sierra. Por estas razones, se eligió a la zona urbana de Motozintla de Mendoza Chiapas como centro de investigación del proyecto piloto, objetivo de este trabajo.

El presente estudio está enfocado al análisis e interpretación de la componente del efecto de sitio por amenaza sísmica, definida como la posible manifestación de este fenómeno físico con cierta intensidad, en un lugar en específico y dentro de un periodo de tiempo definido, y con el potencial de producir daños a personas, bienes y servicios (Lavell, 2005).

Para la caracterización de la amenaza sísmica se consideró:

- a) Caracterización de las fuentes sísmicas: magnitud y localización epicentral así como su probabilidad de ocurrencia.

- b) Caracterización del efecto de sitio producido por fuentes sísmicas, basado en la respuesta del terreno de la zona urbana en estudio.

En México, la evaluación del efecto de sitio se ha desarrollado en varias ciudades (Lermo et al., 1993; 1994a; 1994b; 1999; Hernández et al., 2011; Alonso, 1997; Cruz, 1997; Ramírez, 1993; Ramírez-Centeno, 1997b; 1999; Limaymanta, 2009; Ruiz, 1993; entre otros.)

Para la caracterización del efecto de sitio se requiere, elaborar estudios de microzonificación sísmica como los que se realizaron en este trabajo; los cuales consisten en dividir la región estudiada en pequeñas áreas con el mismo nivel de amenaza sísmica. Estudios de este tipo exigen la interacción de distintas disciplinas, tales como, geología, geofísica, geotecnia, sismología, y la sismicidad histórica de la región.

CAPITULO 2: ANTECEDENTES SÍSMICOS DEL MUNICIPIO DE MOTOZINTLA DE MENDOZA, CHIAPAS (AMENAZA SÍMICA).

El estrecho camino que nos muestra la breve historia sísmica instrumentada y la corta memoria del hombre, se expande sin igual, al ser completada con datos cualitativos, basados en escritos que nuestros antepasados han decidido heredarnos (García y Suárez, 1996).

Para evaluar el nivel de amenaza sísmica que presenta el municipio de Motozintla Chiapas, es necesario la recopilación de efemérides sísmicas (históricas y actuales) de sismos que han ocurrido a su alrededor. El estado de Chiapas y de la República de Guatemala, son las localidades elegidas en este estudio para poder alcanzar este objetivo.

2.1 Sismicidad histórica en Chiapas.

La historia sísmica de Chiapas es muy basta, por ello a continuación se presentan los sismos que han sido descritos con mayor detalle (Tabla 1). Sin embargo, diferentes documentos que se han recopilado en el libro “Los sismos en la historia de México” mencionan la existencia de por lo menos 91 sismos ocurridos desde la época colonial hasta el año 1912.

Tabla 1. Sismicidad Histórica de Chiapas (García y Suárez, 1996).

| Fecha. | Lugar. | Características. |
|----------------------|--|---|
| 25 de diciembre 1545 | Chiapas. | Es el primer terremoto registrado por los españoles. El terremoto que duro 6 minutos causó gran alarma en los habitantes de Chiapas. Los frailes abandonaron sus primeros rezos e hincados observaban el vaivén de las casas. |
| Agosto 1565 | San Cristóbal de las Casas, Chiapas de | Pasados 20 años se repite el fenómeno. La tierra que tiembla más es la de Chiapas de Corzo. El sacudimiento fue terrible, el saldo de muertos fue |

| | | |
|-----------------------------|--|---|
| | Corzo, Zinacantán, Chiapas. | considerable, como resultado de esto, estalló una peste que solo en el pueblo de Zinacantán se llevó a la mitad de sus habitantes. |
| <i>14 de marzo 1591</i> | Comenzó el movimiento en la ciudad de Chiapas y se extendió hasta la ciudad de San Miguel (El Salvador), en Chiapas. | A las 12:30 del día inició un temblor tan grande, que destruyó y arruinó los edificios principales, derribó la torre de la iglesia la cual quedó a tormenta y abierta de tal forma que no se puede enderezar, así mismo derribó las casas reales y de particulares las cuales quedaron con los arcos en el suelo, las paredes abiertas, quebradizas y destrozadas por todas partes, toda la teja echa pedazos; todas las casas tienen mucha necesidad de reparar. Se vino abajo un corredor el cual estaba a la puesta de la sacristía del monasterio debido a que se quebraron todas las vigas sobre el cual se erigía, todas las celdas y servicios del monasterio estaban destrozados. Las casas reales tenían los arcos caídos, las paredes abiertas y quebradizas y toda la teja echa pedazos. |
| 1607 | Chiapas | Durante el siglo XVII ocurrieron grandes temblores los cuales causaron fuertes desastres, sintiéndose especialmente en 1607. |
| <i>1652</i> | Ciudad Real, Chiapas San Cristóbal de las Casas, Chiapas | El campanario de la catedral queda arruinado. Reventazón del Huitepec e inundación generalizada que se extiende desde Tabasco hasta Guatemala, causaron graves daños. De la torre de las campanas nada podemos decir, ignoramos como era, fue destruida por el terremoto de 1652 el cual coincidió con la más grande inundación, no se ha podido reconstruir solo quedó la base donde malamente se alojan las campanas. |
| <i>1653</i> | Chiapas | El movimiento se extendió desde la costa de |

| | | |
|--------------------------|---|--|
| | | Guatemala hasta nueva Orleans, el movimiento fue de sur a norte. |
| <i>1677</i> | San Cristóbal de las Casas, Chiapas | Aquí hubo una terrible inundación producida por el taponamiento de los sumideros, el agua llegó hasta la Merced por el poniente y cerca de la iglesia de El Carmen. |
| <i>1729</i> | Chiapas | El sismo fue de intensidad VIII, abarcó Chiapas y Guatemala. |
| <i>1744</i> | Ciudad Real, Chiapas | Con el terremoto se arruinaron los templos y edificios de esta ciudad, al Convento de las Religiosas de Nuestra Señora de la Encarnación y a la alcaldía mayor de Chiapas no les quedó ni una habitación. |
| <i>1804</i> | San Cristóbal de las Casas, Chiapas | El sismo obligó como siempre a reconstruir y a reformar la averiada catedral. |
| <i>2 de mayo 1858</i> | Sismo percibido en Chiapas, Puebla, Veracruz y Guerrero | En Chiapas la intensidad fue de V. |
| <i>12 de enero 1855</i> | Chiapas | Después del fuerte temblor se formaron fisuras en el volcán Tacaná. |
| <i>Agosto 1869</i> | Chiapa de Corzo, Chiapas | El temblor dilató algunos minutos, por fortuna no causó desgracia ni daño alguno. |
| <i>6 de febrero 1871</i> | Chiapa de Corzo, San Cristóbal de las Casas, | A las siete de noche ocurrió un fuerte temblor, del cual se resintieron algunos edificios, su duración fue de más de un minuto. A las 6:55 pm se suscitó en esta ciudad un movimiento sísmico, fue demasiado fuerte sin |

| | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|--|
| | Chiapas | embargo no causo daño alguno, su duración fue de 5 minutos. |
| <i>30 de agosto 1872</i> | San Cristóbal de las Casas, Chiapas | En los últimos días de agosto se percibieron dos sismos en esta localidad. |
| <i>5 de septiembre 1872</i> | Chiapas | Al medio día tiembla en Chiapas, siendo un movimiento de corta duración. |
| <i>23 de enero 1880</i> | San Cristóbal de las Casas, Chiapas | A las cuatro de la mañana se sintió un sismo el cual no causo ninguna desgracia. |
| <i>9 de mayo 1880</i> | San Cristóbal de las Casas, Chiapas | El sismo tuvo lugar a las 6:30 de la mañana, duró 3 minutos, no causó estrago alguno. |
| <i>31 de mayo 1881</i> | San Cristóbal de las Casas, Chiapas. | En esta ciudad y en otras localidades de Chiapas se percibió un sismo. |
| <i>1 de junio 1881</i> | San Cristóbal de las Casas, Chiapas | Un sismo de oscilación este-oeste se sintió a las 12:30 de la tarde, tuvo una duración de 10 seg. |
| <i>17 de agosto 1881</i> | San Cristóbal de las Casas, Chiapas | A las doce horas con veintiún minutos tuvo lugar un sismo, el cual duro 4 min. Su oscilación fue de sur a norte, no causó daño alguno. |
| <i>1882</i> | Chiapas | Las condiciones sanitarias y la escases de vías de comunicación eran deplorables. Los daños materiales eran evidentes, como recuerdo de este movimiento que cambio la morfología chiapaneca. |
| <i>1887 30 de julio.</i> | San Cristóbal de las Casas | Movimiento oscilatorio de 10 seg. de duración. |
| <i>12 de julio 1892</i> | Tapachula, Chiapas | A las 6:30 a.m. se sintió un fuerte temblor que duró alrededor de 5 seg. El movimiento fue anunciado por |

| | | |
|-----------------------------|--|--|
| | | un trueno parecido al de un rayo. |
| 5 de febrero 1892 | Chiapas | A las 8:30 a.m. se sintió un sismo que duro entre 8 y 10 seg. La cúpula del templo de Santa Lucia sufrió una larga cuarteadura. |
| 23 de septiembre 1902 | Chiapas | El terremoto fue ocasionado por la erupción del volcán Santa María cercana a Quetzaltenango en Guatemala, destruyó varios edificios públicos y particulares en parte del estado, principalmente en los municipios cercanos a la frontera guatemalteca. Desapareció casi totalmente la parte superior del rio Motozintla. Basados en el mapa elaborado por Carlos Sapper la ciudad de Motozintla se encuentra dentro de la zona de mayor destrucción. |
| 9 de junio 1904 | Motozintla, Tapachula, Comitán, Chiapas | A las 4:00 a.m. se sintió en Motozintla un temblor de 12 seg de duración acompañados de ruidos subterráneos. El movimiento también se percibió en la ciudad de Tapachula, Comitán y San Cristóbal de las Casas Chiapas. |
| 19 de julio 1908 | Motozintla, Chiapas | Intensidad: VI. Ocurrieron tres sismos. El primero a las 7:20 a.m. el segundo a las 10:30 a.m. y el tercero a las 5:00 de la tarde los cuales sacudieron las regiones pobladas. |
| 2 de septiembre 1909 | Chiapas | Intensidad: V en poblaciones de Chiapas, al sur del Istmo. |
| 22 de septiembre 1909 | Pijjiapan, Tapachula, Chiapas | Intensidad: V. |
| 25 de septiembre | Tapachula, Chiapas | Intensidad: III- V. |

| | | |
|--------------------|---------------------|------------------------------|
| 1909 | | |
| 11 de octubre 1909 | Tapachula, Chiapas | Intensidad de II- V. |
| 16 de octubre 1907 | Chicharras, Chiapas | Intensidad: V. |
| 27 de agosto 1911 | Chiapas | Magnitud 6.7 Intensidad: IV. |

2.2 Sismicidad histórica de la República de Guatemala.

En la Tabla 2 se muestra el registro de la sismicidad histórica de Guatemala.

Tabla 2. Sismicidad histórica de Guatemala (INSIVUMEH y SNET de El Salvador, 1990).

| Fecha. | Lugar. | Características. |
|------------------------------|--|---|
| <i>30 de noviembre 1577</i> | El sismo percibido en Zacatepeque de San Marcos, La Antigua y Sololá | En Zacatepeque derribó algunas casas. La magnitud en la escala de Richter se estima de 6.8 a 7.3 y la intensidad del sismo en la escala Mercalli se estima de VIII. |
| <i>29 de septiembre 1717</i> | <i>Sismo de la costa Pacífico Central de Guatemala (Terremoto del día de San Miqueliben)</i> | <i>Ocurre en la costa Pacífica Central de Guatemala, causando daños importantes en los poblados de Escuintla, Alotenango, La Antigua, Iztapa, Palín, Tecpan y Chimaltenango. Se estima que la magnitud en la escala de Richter y la intensidad del sismo en la escala Mercalli fueron de 7.8 y VIII, respectivamente.</i> |

| | | |
|-----------------------------|-------------------------|---|
| | | |
| <i>29 de Julio 1773</i> | Sismo de Santa Marta | <p>El evento sísmico se sintió en la población de La Antigua, se asocia con la subducción en la parte central de Guatemala. El saldo de este siniestro se calcula en 4,010 personas fallecidas en la población de Ostuncalco, severos daños en el valle de Guatemala y una cantidad considerable de personas heridas en las poblaciones aledañas al Valle de Guatemala.</p> <p>Se estima que la magnitud en la escala de Richter y la intensidad del sismo en la escala Mercalli fueron de 7.5 y IX, respectivamente.</p> |
| <i>Julio 1816</i> | Sismo de Verapaz | <p>El evento sísmico se sintió en las poblaciones de Salama de Verapaz, Alta y Baja Verapaz, San Cristóbal y La Antigua. Este sismo se asocia a la falla Chixoy-Polochic. El saldo de afectación se estima en 23 personas fallecidas y 57 personas heridas, así como la destrucción de iglesias en todo Verapaz, deslizamientos y hundimiento de terrazas.</p> <p>Se estima que la magnitud en la escala de Richter y la intensidad del sismo en la escala Mercalli fueron de 7.0 a 7.5 y IX, respectivamente.</p> |

2.3 Principales eventos sísmos ocurridos durante el siglo XX.

En la Tabla 3 se muestran los sísmos de mayor relevancia respecto a los daños causados, que tuvieron su origen en los rasgos tectónicos (Fosa Mesoamericana, Falla Polochic-Motagua y fallamientos del norte) cercanos a la ciudad de Motozintla, y que acontecieron en siglo pasado, lo que se muestran a continuación:

Tabla 3. Sísmos ocurridos durante el siglo XX en las cercanías de la ciudad de Motozintla, Chiapas (INSIVUMEH y SNET de El Salvador, 1990).

| Fecha. | Fuente. | Características. |
|-----------------------------|--------------------|---|
| <i>18 de abril 1902</i> | Zona de subducción | El epicentro del evento sísmico se encuentra en las coordenadas 14.9° Norte y 91.5° O, con una profundidad de 60 km. El saldo del sismo se estima en 200 personas fallecidas. La magnitud en la escala de Richter fue 8.2. La fuente se originó en la zona de subducción. |
| 6 de agosto 1942 | Zona de subducción | Los principales daños ocurrieron en Amatitlán y Acatenango, tuvo repercusiones Guatemala, Sacatepéquez, Chimaltenango, San Marcos, Totonicapán, El Quiché, Sololá, Escuintla y Huehuetenango. Los mayores daños se registraron en Guatemala, con un total de 253 casas con daños leves, 99 destruidas y 196 con daños de consideración. El epicentro del sismo se registró en las coordenadas 13.9° N y 90.8°O, con una profundidad de 60 km. La magnitud del sismo en la escala de Richter fue de 8.3, siendo la mayor registrada en la historia de Guatemala. |

| | | |
|----------------------|--|---|
| 20 de febrero 1959 | Fallamientos del norte | Daños principales en la población de Ixcán, departamento del Quiché, magnitud 6.5. |
| 10 de diciembre 1971 | Fallamientos del norte | Magnitud: 6.0. |
| 4 de Febrero 1976 | Falla Motagua. (SISMO DE GUATEMALA) | Es el evento sísmico más destructor del siglo XX en Guatemala. Se registraron 23000 personas fallecidas y 76000 personas heridas, aproximadamente. La magnitud del sismo en la escala de Richter fue de 7.5. |

CAPITULO 3: GEOLOGÍA REGIONAL DE LA CUENCA DE MOTOZINTLA, CHIAPAS.

3.1 Aspectos Generales.

El municipio de Motozintla se ubica en la VII región económica del estado de Chiapas, denominada Región Sierra; limita al norte con Siltepec, el Porvenir, al este con Mazapa de Madero y la República de Guatemala; al sur con Tapachula, Tuzantán; al oeste con Huixtla y Escuintla (Figura 2). Sus coordenadas geográficas son 15° 09' y 15°27' de latitud norte, y 92°11' y 92°30' de longitud oeste, su altitud es de 1,260 msnm (INEGI, 2010).

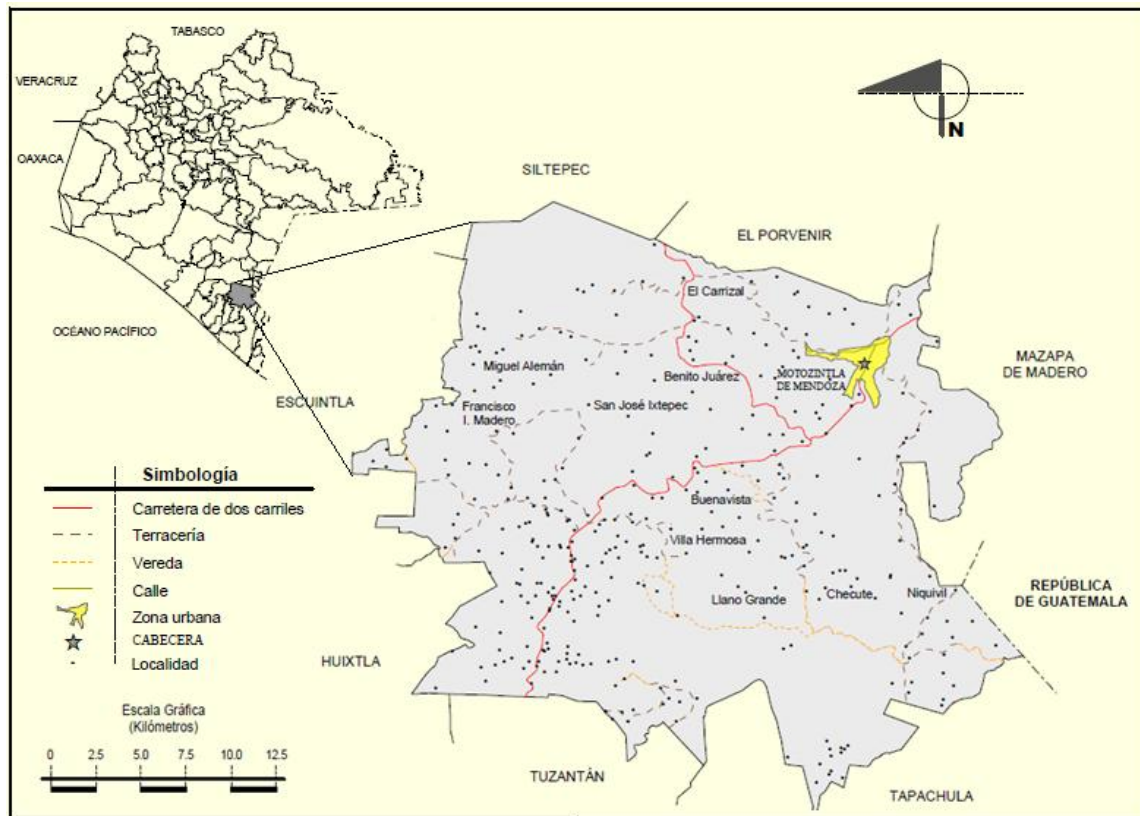


Figura 2. Mapa de localización de Motozintla, Chiapas. (INEGI, 2010)

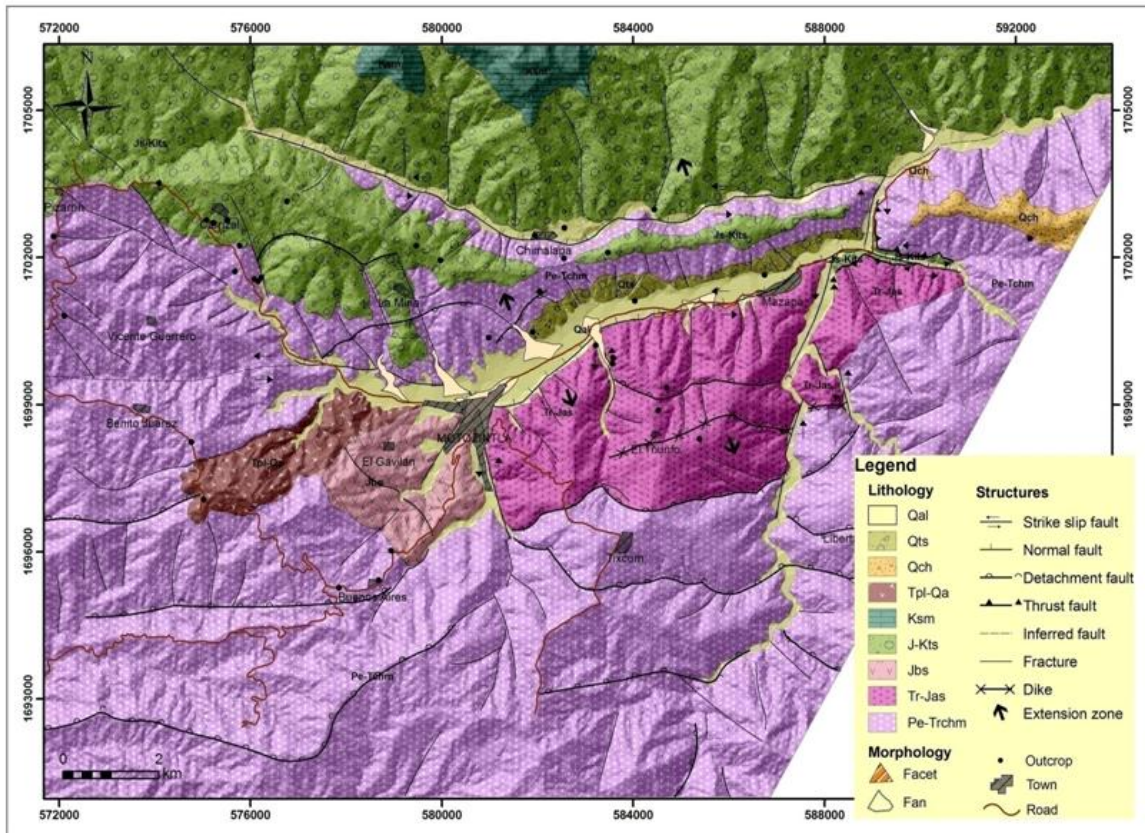
3.1.1 Vías de comunicación.

Existen dos rutas de acceso al municipio de Motozintla de Mendoza Chiapas, las cuales son:

- a) La carretera federal No. 200, que parte del poblado de Tapanatepec Oaxaca, a la ciudad de Arriaga Chiapas. La autopista Arriaga-Tapachula, (comunica a los poblados de Pijijiapan, Mapastepec, Escuintla) y la carretera federal No. 211 (entronca en el municipio de Huixtla con la autopista Arriaga-Tapachula).
- b) La carretera federal No. 190 (Panamericana) que pasa por Tuxtla Gutiérrez, San Cristóbal de las Casas hasta Ciudad Cuauhtémoc, deriva la carretera federal No. 211 que inicia en el poblado Paso Hondo, cruza Frontera Comalapa y Motozintla.

3.2 Geología regional.

La cuenca de Motozintla Chiapas sigue siendo un área geológica de interés. Actualmente por medio de investigaciones realizadas por J. M. Sánchez Núñez (comunicación personal, 2011) en el contexto del proyecto ESRED; se ha determinado con mayor claridad los límites de las formaciones sedimentarias, los cuerpos intrusivos y las rocas volcánicas, que conforman esta cuenca. Dicho investigador ha precisado los rasgos tectónicos que influyen en la configuración de la cuenca; ha obtenido la morfología de la planicie aluvial de Motozintla, así como las edades de algunos depósitos aluviales. El trabajo realizado se ha plasmado en un mapa de escala 1:30,000 (Figura 3). Con ello, la geología que fue establecida en la década de los 70's por Carfantan (1977) ha sido afinada, lo que conlleva a una mejor interpretación y análisis del área de interés.



Fi

gura3. Mapa geológico de la cuenca de Motozintla Chis. (Proporcionado por Juan Manuel Sánchez Núñez, 2011).

3.2.1 Macizo de Chiapas (Pérmico-Triásico).

El basamento metamórfico es intrusionado por un batolito alargado en dirección NW-SE, formado por dos tipos de rocas de la misma edad, que presentan una relación transicional, según Múgica (1987); las dos variedades de rocas graníticas son:

- a) Leucogranitos: Rocas de color rosa claro, de grano grueso y con un ligero lineamiento mineralógico, al intemperizar presentan una coloración crema con tonos amarillos. Se disgregan fácilmente dando como resultado arenas ricas en cuarzo y feldespatos.
- b) Tonalitas: Rocas de color gris claro con abundancia de ferromagnesianos, color negro, textura fanerítica, equigranular de grano grueso. Los minerales presentan alineación. Al alterar esta roca, sus componentes se separan fácilmente, dando lugar a arenas con abundancia de cuarzo, feldespatos y micas.

Damon et al. (1981) analizaron 14 muestras de este cuerpo ígneo, utilizando el método radiométrico K–Ar, y 11 muestras por medio del método Rb–Sr; concluyeron que el emplazamiento y enfriamiento del batolito ocurrió a lo largo del periodo Permo-Triásico (256 ± 10 Ma.), y fue uno de los primeros eventos magmáticos asociados al cierre del Proto-atlántico y a la unión de Sudamérica y África con Norteamérica durante el Paleozoico Tardío (Apalachiano).

El batolito de Chiapas al norte, se encuentra parcialmente cubierto por una discordancia erosiva conocida como Formación Todo Santos; al sur tiene un contacto por intrusión con el batolito de la costa chiapaneca (Múgica, 1987).

En la región de Motozintla, estas rocas presentan un color rosado o crema, de grano medio a grueso, formado por ortoclasa, biotita y oligoclasa. El granito está a menudo cortado por diques de composición andesítica o latítica (Carfantan, 1977).

En la carretera Motozintla–Frontera Comalapa (Figura 4), se han descrito granitos milonitizados de color verde oscuro a claro, intemperiza a una coloración amarillenta, presenta una estructura masiva, textura fanerítica bandeada, constituida por cuarzo criptocristalino de tamaños menores a 1 cm; feldespato y ferromagnesianos alterados a clorita. Internamente presenta un aspecto foliado con fracturas rellenas de cuarzo (García et al., 2004).



Figura 4. Granito Permo - Triásico intrusionado por diques de composición andesítica. Carretera Motozintla Frontera Comalapa (García et al., 2004).

3.2.2 Formaciones sedimentarias.

Las formaciones sedimentarias que se localizan en la cuenca de Motozintla son:

3.2.2.1 Formación Todos Santos (Jurásico-Cretácico).

La Formación Todos Santos o Lechos Rojos, fueron descritos primeramente por Sapper en 1884, en la Sierra de los Cuchumatanes, región indígena de Todos Santos, en la República de Guatemala.

Las facies que la integran a esta formación son:

- Depósitos fluviales de alto gradiente.
- Depósitos lacustres.
- Depósitos fluviales de bajo gradiente.
- Depósitos de abanico aluvial.

Las facies anteriores presentan diversas características litológicas; sin embargo, se ha considerado en forma general que la Formación Todos Santos esta compuesta por conglomerados del tamaño de gravas de origen ígneo intrusivo y extrusivo; presentan alternancia de lutita y limolita de coloración gris verdoso y rojiza de grano medio a grueso. Las capas de arenisca presentan diferentes espesores que varían desde láminas hasta capas de 10 y 20 cm, llegando a medir hasta un metro de espesor. Es común la presencia de estratificación y laminación cruzada, canales de corte y relleno, y estructuras de carga (Léxico Estratigráfico, 2006).

3.2.2.2 Formación Sierra Madre.

Se definió con el nombre de Caliza Sierra Madre (Figura 5) a una serie de carbonatos de plataforma expuestos en la Sierra de Chiapas (García et al., 2004). Sobreyace discordantemente a la secuencia terrígena de la Formación Todos Santos. Es cubierta de manera concordante por la Formación Angostura, presenta un contacto parcial y discordante con tobas riolíticas y dacíticas del Mioceno (López- Ramos, 1983).



Figura 5. Caliza perteneciente a la Formación Sierra Madre (García et al., 2004).

Dentro de la cuenca de Motozintla existen una serie de rocas volcánicas y plutónicas que ha sufrido un metamorfismo correspondiente a la facies esquisto verde (Carfantan, 1977). La génesis de los cuerpos intrusivos se debe al establecimiento de un arco volcánico durante el Jurásico Temprano, a lo largo de la cordillera sur, desde Nevada hasta Chiapas. En el Jurásico Medio, este arco magmático se extendió a lo largo de la cordillera sur, lo que provocó que el macizo chiapaneco fuese emplazado por rocas plutónicas (granodiorita-granito, pórfido andesítico) y cubierto por rocas volcánicas. El emplazamiento del arco jurásico es contemporáneo al depósito de la Formación Todos Santos (Damon, 1981).

Las roca más importantes en volumen son: metandesitas, metatobas y en menor cantidad metarriolitas. Estas rocas se asocian a granitoides y diques anortosíticos, así como a lentes de calizas cristalinas, gabros y rocas ultrabásicas (formadas por escamas de 3 m de espesor de peridotitas y piroxenitas) (Ortiz et al., 2006).

3.2.3 Rocas plutónicas.

De acuerdo a Mugica (1987) las características de las rocas que integran el arco magmático presentes en la cuenca de Motozintla son:

3.2.3.1 Tronco de Buenos Aires.

Corresponde a un leucogranito de moscovita tectonizado, de coloración blanca, compuesto por feldespatos, cristales de cuarzo translúcido y moscovita diseminada; presenta un tamaño de grano grueso en las partes menos afectadas por la actividad tectónica y en las áreas milonitizadas. Es quebradizo, con una textura aporcelanada. Su edad corresponde al Jurásico Tardío que fue determinada al analizar una muestra de moscovita por el método K-Ar.

Este cuerpo plutónico se relaciona al norte con el tronco de Amatenango de la Frontera, mediante un contacto tectónico; al sur y sureste es intrusionado por el tronco de Toliman.

3.2.3.2 Tronco de Amatenango de la Frontera.

Granito de color rosa claro, textura porfídica, de grano grueso, presenta feldespatos de gran tamaño (1-2 cm) y cristales de ferromagnesianos alterados a clorita. En las áreas de mayor deformación se observan augen-esquistos, los cuales presentan una coloración verdosa y fenocristales de feldespatos inmersos en una matriz milonítica.

A través del análisis de una muestra de microclina, con el método radiométrico K-Ar se determinó que se originó durante el Triásico Tardío-Jurásico Temprano.

Este plutón se localiza hacia el sur del poblado Amatenango de la Frontera; los principales afloramientos se encuentran sobre la carretera Motozintla – Amatenango.

3.2.3.3 Tronco de Toliman.

Es un pórfido diorítico de hornblenda (Figura 6); en una muestra sin alterar se observa una textura porfídica en una matriz de grano fino; presenta inclusiones de fenocristales de feldspatos y ferromagnesianos diseminados, que al alterarse, adquiere una coloración gris verdosa; al intemperizar la roca su coloración cambia a un café amarillento.

El pórfido intrusiona al tronco de Buenos Aires y al batolito de la costa chiapaneca y está cubierto por tobas del Pleistoceno; se le adjudica una edad miocénica tardía. Los límites noreste y sureste de este cuerpo se distinguen por cambios en su textura y mineralogía, ya que pasa de un pórfido diorítico de hornblenda de grano fino a una granodiorita equigranular de grano grueso con abundante biotita y anfíbol.



Figura 6. Pórfido diorítico localizado en las cercanías del poblado de Toliman (García et al., 2004).

3.2.3.4 Complejo granodiorítico.

El establecimiento del arco magmático originó un complejo granodiorítico, el cual está constituido principalmente por granodiorita. Sin embargo, en algunos afloramientos se observan variaciones a granito, diorita y cuarzomonzonita. Ocasionalmente dentro de este complejo se aprecian xenolitos que corresponden a gneises del Complejo Metamórfico prebatolítico. En las inmediaciones de Belisario Domínguez y el Triunfo, existen zonas con metamorfismo cataclástico (milonitas y protomilonitas), propiciado por el sistema de fallas de Polochic (García et al., 2004).

3.2.4 Rocas volcánicas

Las rocas de origen volcánico que se manifiestan dentro de la cuenca de Motozintla (García et al., 2004) son:

3.2.4.1 Toba andesítica-toba dacítica.

Se encuentran constituidas por andesitas, depósitos piroclásticos, derrames dacíticos que corresponden a diferentes fuentes de emisión; el espesor máximo estimado para esta unidad es de 400 m. y cubre parcialmente al metagranito permo-triásico el cual, a su vez, está cubierto parcialmente por lahares y andesitas del Neógeno. A esta litología se le asignó una edad neógena, por su posición infrayacente con las rocas volcánicas cuaternarias (García et al., 2004).

3.2.4.2 Toba riolítica.

Constituida por una toba lítica de composición riolítica con variación a dacita. A 1 km al SW de Motozintla afloran riolitas de color rosado, con textura fanerítica, de estructura compacta y masiva; sus constituyentes minerales son feldespatos potásico, plagioclasa, moscovita y cuarzo, en algunas partes contiene líticos de toba con formas angulosas menores a 5 cm. Esta roca al intemperizarse presenta un color crema; su espesor máximo reconocido es de 100 m y sobreyace discordantemente a la Formación Todos Santos y al batolito de Chiapas. Su edad corresponde al Pleistoceno (García et al., 2004).

3.2.4.3 Lahar-Brecha volcánica andesítica.

Esta unidad están formada por toba de caída libre, tefra, toba de lapilli y brecha volcánica, las cuales se formaron por una alternancia de un evento piroclástico y uno lávico.

3.2.5 Aluvión.

Constituido por sedimentos fluviales transportados y depositados en el valle de la ciudad de Motozintla; son producto de la desintegración de las rocas sedimentarias, plutónicas, volcánicas y metamórficas que constituyen las partes alta de la cuenca (García et al., 2004).

3.3 Tectónica.

Los rasgos tectónicos que presentan mayor relevancia con la actividad sísmica de esta región se debe a la interacción de tres placas tectónicas: Norte América, Caribe y Cocos (Figura 8), lo cual da lugar a los siguientes limites tectónicos:

- a) Límite de subducción: Placa de Cocos y del Caribe.

Este se ubica a lo largo de la costa centro-americana del Océano Pacífico (Fosa Mesoamericana). A ella se asocia la cadena volcánica de Centro América que se extiende desde el volcán Tacaná hasta el complejo Irazú-Turrialba en Costa Rica y los fallamientos transversales con direcciones noreste (Molina, 1990).

La mayor actividad sísmica se concentra a lo largo de la Fosa Mesoamericana. Históricamente se han registrado sismos superficiales (0-50 km) intraplaca del Caribe, los cuales han causado los más terribles daños en esta región (Figura 7) (Güendel et al., 1998).

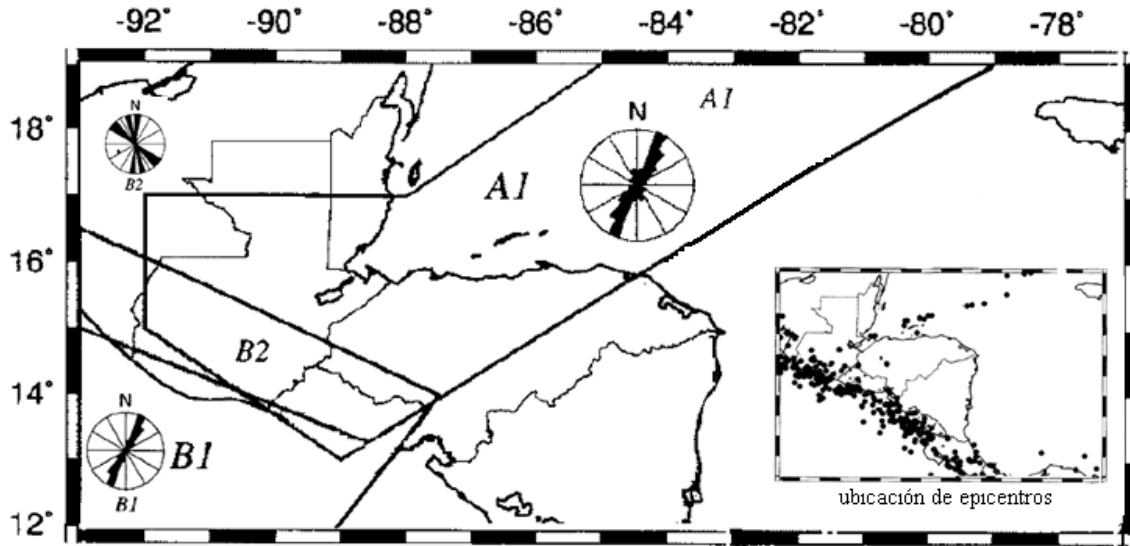


Figura 7. La zona A1 representa la actividad sísmica superficial registrada a lo largo del límite entre la placa del Caribe y Norteamérica. La zona B1 representa la sismicidad ocurrida entre la fosa Mesoamericana y la línea de costa, la cual presenta en su mayoría mecanismos inversos (zona de subducción) y una dirección preferencial de los esfuerzos al N30°E. En la zona B2 se concentra la sismicidad superficial registrada a lo largo de la cadena volcánica. (Modificada para este trabajo, de Güendel et al., 1998. Límite transcurrente: Placa de Norte América y del Caribe).

b) Límite transcurrente: Placa del Caribe y Norteamericana.

El sistema de fallas Chixoy-Polochic, Motagua, Jocotán-Chamalecón al noreste se prolonga a lo largo de la zona de fractura de Swan (Figura 8), e integran el límite entre las placas del Caribe y la Norteamericana. La orientación preferencial de los esfuerzos compresivos ocurre en dirección N30°E. Su mecanismo focal indica un movimiento transcurrente de componente lateral izquierdo (Güendel et al., 1998).

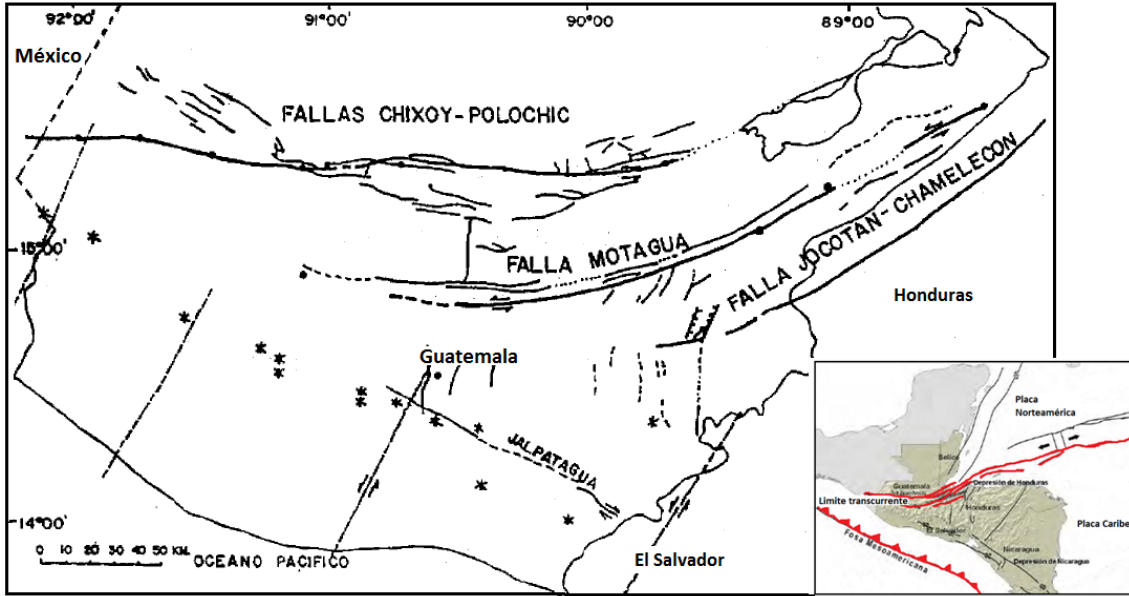


Figura 8. Sistema de fallas del norte de Guatemala (Molina et al., 1990).

CAPITULO 4: GEOLOGÍA LOCAL DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE MOTOZINTLA DE MENDOZA, CHIAPAS.

El panorama geológico que se observa en la cuenca de Motozintla es el resultado de los procesos geodinámicos compuestos. En ella se aprecian excelentes ejemplos de depósitos fluviales, sobre los cuales se localiza la zona urbana de Motozintla. Para cumplir con las metas de este trabajo se realizó un análisis de la geología a nivel local del 28 de marzo al 1 de abril, 2011. El objetivo fue caracterizar las formas acumulativas del relieve y de las facies que la constituyen.

4.1 Terminología.

Facies descriptivas: Se refieren al aspecto o atributos externos cualitativos del estrato. La determinación de las facies descriptivas debe realizarse a partir de los rasgos observables en la roca (composición litológica, textura, color, estructura, geometría y fósiles), destacando aquellos que puedan ser útiles para su interpretación genética (Vera, 1994).

Litofacies: Comprenden exclusivamente las características litológicas de un conjunto de estratos (Vera, 1994).

Unidad litoestratigráfica: Es un cuerpo definido de estratos sedimentarios, ígneos metasedimentarios o metavolcánicos. Se distinguen y delimitan por sus características líticas y su posición estratigráfica (Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica, 1983).

La unidad litoestratigráfica se caracteriza por estar compuesta predominantemente por un determinado tipo litológico, por una combinación de ellos, o por poseer características importantes en común que sirven para agruparlos en estratos. Una unidad litoestratigráfica puede estar formada por rocas sedimentarias, ígneas, metamórficas, asociaciones de ellas, o por sus sedimentos (Hedberg, 1980).

Abanico aluvial: Forma acumulativa con aspecto de medio cono recostado, con el ápice hacia arriba. Se origina en la desembocadura de una corriente montañosa en una superficie plana o de poca inclinación. Está compuesto por material detrítico mal clasificado, el tipo de sedimento varía, de esta forma los materiales gruesos se acumulan en la parte superior y los finos predominan hacia el exterior del abanico (Lugo, 1989).

Terraza: Superficie plana o poco inclinada delimitada por cambios bruscos de pendiente. Se origina por la acumulación y erosión de sedimentos, es producto del régimen hidrológico, o por movimientos tectónicos. Las terrazas fluviales sobresalen respecto al cauce de un río por movimientos tectónicos o durante el descenso del nivel base provocado por la erosión (Lugo, 1989).

Rampa: Coalescencia de abanicos.

La clasificación sedimentológica (Tabla 4) está basada en la escala granulométrica de Wentworth (1922).

Tabla 4. Escala granulométrica de Wentworth (1922).

| Límite de la partícula (mm) | Clase de Partícula. | Límite de la partícula (mm) | Clase de Partícula. | Límite de la partícula (mm.) | Clase de Partícula. |
|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|------------------------------|---------------------|
| 4095 | Bloques | 16 | Cantos rodados | 1/16 | Arena muy fina |
| 2048 | | 8 | Guijarros | 1/32 | Limo grueso |
| 1024 | | 4 | Guijas | 1/64 | Limo medio |
| 512 | | 2 | Gránulos. | 1/128 | Limo fino |
| 256 | Guijas | 1 | Arena Muy Gruesa | 1/256 | Limo muy fino |
| 123 | | 1/2 | Arena Gruesa | 1/512 | Arcilla gruesa |
| 64 | | 1/4 | Arena Media | 1/1024 | Arcilla media |
| 32 | Cantos rodados | 1/8 | Arena fina | 1/2040 | Arcilla fina |

Se denomina flujos gravitacionales a una mezcla de agua y detritos, que fluyen pendiente abajo, por efecto de la gravedad (Sarocchi, 2007), se clasifican de acuerdo a la relación existente entre; agua- sedimento y su comportamiento reológico en: flujos de agua, hiperconcentrados, escombros y avalanchas de escombros (Pierson y Costa, 1987).

4.2 Flujo de escombros (FE).

Los flujos de escombros contienen aproximadamente un volumen de sedimentos entre 50-80%. En relación a la masa, presentan un gran cantidad de detritos mal clasificados y saturados de agua (Costa, 1988).

Pierson y Scott (1985) dividieron a los flujos de escombros en cohesivos no cohesivos, la diferencia entre esta clasificación es la cantidad de arcilla presente en la matriz, característica que influyen en sus propiedades físicas (viscosidad, esfuerzo de cizalla, densidad, entre otros).

Las características y resultados más importantes de los dos variantes de los flujos de escombros son: (Tabla 5) (Sarocchi, 2007).

Tabla 5. Características de los flujos de escombros cohesivos y no cohesivos (Modificada de Sarocchi, 2007).

| | Flujos de Escombros No cohesivos (El contenido de arcilla es < 5 %) | Flujos de Escombros Cohesivos (El contenido de arcilla es >5 %) |
|-----------------|---|--|
| Material solido | Representa entre el 70- 90 % en peso de la masa total (50-80 % en volumen). | |
| Origen | Incorporación progresiva de materiales acumulados en las laderas por flujos de agua intensos. | Por el derrumbe de un sector de una montaña en presencia de una gran cantidad de agua. |
| Erosión | Los flujos de escombros erosionan e incorporan gran cantidad de | |

| | | |
|------------|---|---|
| | materiales a lo largo de su trayecto. | |
| Transporte | Choque constante de clastos. | El choque de clastos es reducido. |
| | Son más lentos que los flujos cohesivos. | Son más rápidos que los flujos no cohesivos. |
| | Viajan grandes distancias (decenas de km). | Viajan grandes distancias (hasta cientos de km). |
| | Debido al incremento o disminución del material transportado respecto al agua pueden pasar gradualmente a flujos hiperconcentrados o viceversa. | La relación agua-sedimentos se mantiene por largos trayectos, no se transforma en flujos hiperconcentrados. |
| Velocidad | Varia de un mínimo de 5-10 m/s hasta 25 m/s. | |
| Depósito | Gradación inversa en la base. | |
| | Distribución de los clastos de acuerdo a su densidad o tamaño, formación de lentes y alineación de clastos gruesos. | |
| | Presentan diques y frentes lobulados ricos en clastos grueso grano-sostenido. | Los diques están menos desarrollados, son generalmente anchos, bajos y con la superficie superior plana. |
| | Presencia de canales en el depósito que varían de trapezoidal a forma de U. | |
| | Espesores parcialmente uniformes. | |
| | La superficie es suave con presencia de grandes bloques que sobresalen. | |
| | Puede mostrar una gradación inversa, normal o tal vez simétrica (inverso en la base y normal en la parte superior). | Puede mostrar una gradación normal. |
| | La parte superior por lo general esta enriquecida con materiales | |

| | | |
|-------------|--|---|
| | finos, debido a la expulsión del agua al momento de la compactación. | |
| | Generalmente es granosoportada. | Puede ser granosoportada. |
| | Los clastos pueden mostrar una orientación preferencial según la dirección del flujo. | Los clastos están orientados al azar. |
| | Los clastos presentan una forma angulosa. | Los clastos presentan una forma sub angulosa. |
| | Los depósitos son bastante compactos. | Los depósitos son muy compactos. |
| Estructura | Masiva con una pobre estratificación. | Masivo, generalmente sin estructuras. |
| | Por lo general se distinguen los contactos entre diferentes unidades. | |
| Dimensiones | Las áreas cubiertas pueden ser muy grandes, un ejemplo son los flujos del volcán de Colima que han ocupado áreas de 10 m ² a 17 km ² . | Las áreas cubiertas pueden ser muy grandes, un ejemplo son los flujos de Osceola Mudflow que cubrió 550 km ² . |
| | Su espesor raramente es mayor de 1 a 2 metros | |

4.3 Flujos Hiperconcentrados.

El aumento o decremento de los sedimentos transportado con relación al agua conduce a la transformación de los FE no cohesivos a flujos hiperconcentrados. El material sólido que constituye a este flujo gravitacional es de 55 -80 % (35- 60 % en volumen) con respecto al peso total de la masa (Costa, 1988). La Tabla 6 presenta las características más importantes de flujos hiperconcentrados (Sarocchi, 2007).

Tabla 6. Características principales de los flujos hiperconcentrados.

| Flujos Hiperconcentrados. | |
|----------------------------------|--|
| Origen | Dilución de flujos de escombros no cohesivos o por el incremento de sedimentos en las corrientes fluviales. |
| Erosión | Su capacidad erosiva es muy alta, sobre todo cuando se encuentra encausado y en grandes pendientes. |
| | Tiene mayor capacidad de erosión que los FE. |
| | Originan canales en forma trapezoidal o de U. |
| | La erosión ocurre en la base y lateralmente. |
| Transporte | Su velocidad es 2.75 – 2.49 m/s. |
| | Al disminuir su velocidad los clastos gruesos se depositan. |
| | En la parte baja puede arrastrar guijarros y cantos. |
| | En concentraciones bajas de sedimento, este se mantiene en suspensión debido a la turbulencia. Para concentraciones altas de arena, limo y arcilla la turbulencia disminuye, ocurre la suspensión de sedimentos (choque y flotación de clastos). |
| Sedimentación | Principalmente presenta gradación inversa en la base. |
| | Están empobrecidos de partículas finas (arcillas y limos), debido a que tienden a quedarse en suspensión y no se depositan con la componente más gruesa. |
| | Los clastos están granosportados. |
| | Los intersticios no presentan partículas finas. |
| | El espesor de una unidad puede variar de decenas de centímetros a algunos metros. Los espesores de cada nivel que forman a la unidad pueden ir desde pocos milímetros hasta decenas de centímetros. |
| | La superficie esta enriquecida de granos finos. |
| | El diámetro promedio del sedimento varía de arena mediana gruesa a grava fina. |

| | |
|------------|--|
| | La distribución granulométrica es unimodal. |
| | Son depósitos pobremente clasificados. |
| | Los sedimentos por lo común son menos compactos que los FE. |
| | Los clastos gruesos pueden presentar imbricación. |
| Estructura | Generalmente masiva o burdamente estratificados. |
| | No presenta estratificación cruzada ni superficie erosiva. |
| | Puede tener gradación inversa o normal dependiendo de la concentración de sedimento. |

4.4 Metodología del Trabajo de Campo.

Las etapas utilizadas para el establecimiento de la geología local de la zona urbana de Motozintla, Chiapas, fueron las siguientes:

- a) Delimitación de unidades morfológicas: Consistió en establecer los límites de los diversos abanicos, terrazas y rampas sobre los cuales se han edificado las viviendas de esta localidad, mediante el análisis de las curvas topográficas establecidas en la carta D15B33-Motozintla, esc1:50 000, y de las fotografías aéreas escala 1:37 500 y 1:8 000 de INEGI.
- b) Salidas a campo: Su finalidad fue establecer los principales atributos de los afloramientos (depósitos) distribuidos a lo largo de la zona urbana de Motozintla. Los trabajos de campo se realizaron del 24 al 30 de enero, 2010; del 28 de marzo al 3 de abril, 2010; y del 28 de marzo al 1 de abril, 2011.
- c) Caracterización de la geología local: Es el objetivo más importante del estudio estratigráfico. Se logra mediante la interpretación, construcción de las columnas sedimentológicas y correlación de las unidades morfológicas (establecidas en la etapa 1) y las unidades litoestratigráficas.

4.5 Caracterización de las unidades litoestratigráficas.

- a) Delineación de los depósitos (delimitación de facies): Basado en el análisis de campo se establecen los principales atributos o características líticas (composición, textura, arreglo espacial, orientación de los componentes, estructura y color) de los depósitos (Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica, 1983).

Clasificación de facies e interpretación genética: Miall (1996) propuso una clasificación e interpretación sobre el origen de facies detríticas de medios fluviales (Tabla 7), en la cual, la letra en mayúscula del código de facies corresponde al tamaño de grano dominante.

G: Gravas.

S: Arenas.

F: Corresponde a la parte fina (incluye arena muy fina, limo y arcilla).

La letra minúscula, indica las características texturales y estructuras sedimentarias que presentan las litofacies (p: estratificación cruzada planar; ms: matriz soportada).

Tabla 7. Clasificación de facies (Miall, 1996)

| Código | Facies | Estructuras sedimentarias | Interpretación |
|--------|---|--|--|
| Gmm | Grava masiva, soportada por matriz | Gradación pobre | Flujo plástico de detritos (viscoso, alta densidad) |
| Gmg | Grava soportada por matriz | Gradación normal a inversa | Flujo de detritos seudoplástico (viscoso, baja densidad) |
| Gci | Grava soportada por clastos | Gradación inversa | Flujo de detritos rico en clastos (alta densidad) o flujo de detritos seudoplástico (viscoso, baja densidad) |
| Gcm | Grava masiva soportada por clastos | ----- | Flujo de detritos seudoplástico (carga de fondo inerte, flujo turbulento) |
| Gh | Grava estratificada burdamente, soportada por clastos | Estratificación horizontal, imbricación | Barras longitudinales, depósitos por rezago, depósitos clasificados |
| Gt | Grava estratificada | Estratificación cruzada curvada | Rellenos de canales menores |
| Gp | Grava estratificada | Estratificación cruzada planar | Barras transversales, crecimientos deltaicos, de antiguas barras remanentes |
| St | Arenas finas muy gruesas, pueden ser guijarros | Estratificación cruzada curvada solitaria o en grupo | Dunas linguoidales (3-D) y crestas sinuosas |
| Sp | Arena fina muy gruesa, pueden ser guijarros | Estratificación cruzada planar solitaria o en grupo | Lechos en forma linguoidal (dunas 2-D) y transversa |
| Sr | Arena muy fina a gruesa | Rizaduras, laminación cruzada | Rizaduras (régimen de flujo menor) |
| Sh | Arena muy fina a gruesa, pueden ser guijarros | Laminación horizontal, lineación por corrientes | Flujo de placas planas (flujo crítico) |
| Sl | Arena muy fina a gruesa, pueden ser guijarros | Estratificación cruzada de bajo ángulo (< 15°) | Rellenos de cavidades erosivas, montecillos, dunas agotadas, antidunas |
| Ss | Arena muy fina a gruesa, pueden ser guijarros | Cavidades erosivas someras y amplias | Rellenos de cavidades erosivas |
| Sm | Arena, fina a gruesa | Masiva o laminaciones débiles | Depósito de flujo gravitatorio |
| Fl | Arena, limo, arcilla | Laminación fina, rizaduras muy pequeñas | Planicie de inundación, canales abandonados, o depósitos de inundación menguantes |
| Fsm | Limo, arcilla | Masiva | Depósitos de marismas o canales abandonados |
| Fm | Arcilla, limo | Masiva, grietas de desecación | Planicie de inundación, canales abandonados, o depósitos de desborde |
| Fr | Arcilla, limo | Masiva, raíces, bioturbación | Suelo insipiente |
| C | Carbón. Arcilla carbonosa | Plantas, lodo carbonosa | Depósitos pantanosos con vegetación |
| P | Paleosuelos carbonatados | Rasgos pedogénicos | Suelo con precipitación química |

- b) Elaboración de la columna sedimentológica. La secuencia y las características líticas (composición, coloración, textura, arreglo espacial, orientación, estructura) observadas los de los depósitos sedimentarios, se representación a escala de forma gráfica en una columna, basada en el principio de superposición, indicando la clasificación genética (Miall, 1996) y el tipo de contacto entre los depósitos fluviales.

4.6 Interpretación geológica local.

El estudio de la carta topográfica D15B33-Motozintla, escala 1:50 000, y de las fotografías aéreas escala 1:37 500 y 1:8 000 de INEGI, permitió determinar que la zona urbana de Motozintla se localiza sobre abanicos, rampas y terrazas (Figura 8), conformadas por detritos que provienen de las rocas (granitos, areniscas, conglomerados, rocas metamórficas) ubicadas en las partes altas de la cuenca.

Bajo las viviendas de la ciudad de Motozintla se identificaron 21 abanicos 15 terrazas y 6 rampas. Sin embargo, a lo largo de la cuenca existe un mayor número de estos depósitos fluviales, algunos de ellos presentan paleosuelos, que contienen materia orgánica, los cuales han sido muestreados y fechados por medio del método ^{14}C , que arrojó distintas edades de formación de suelos (para cada depósito aluvial), siendo la más antigua de 1840 ± 65 años y el más reciente de 165 ± 60 años (J.M. Sánchez, comunicación personal, 2011).

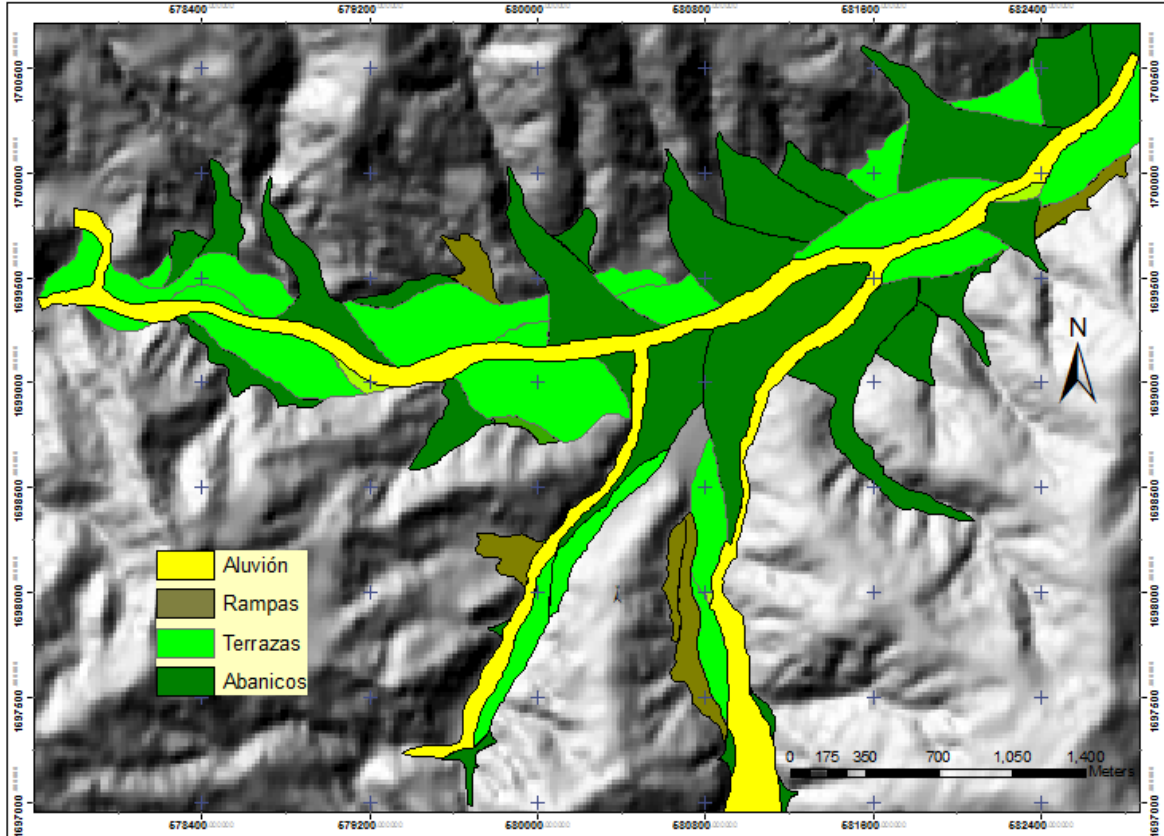


Figura 8. Morfología de la zona urbana de Motozintla, Chiapas.

4.6.1 Descripción de los depósitos aluviales (registro geológico reciente).

Para determinar las características de los depósitos ubicados en el área de estudio, cada unidad morfológica ha sido estudiada bajo el contexto litológico. Con este objeto se analizaron y describieron 19 cortes geológicos distribuidos a lo largo de la zona urbana de Motozintla. Del total de afloramientos descritos se eligieron 14 depósitos considerados los más representativos de las unidades geomorfológicas existentes en el área.

Las Tablas 8 a la 23 muestran los atributos (clasificación genética, columna sedimentológica, descripción de facies) de los abanicos, terrazas y rampas fluviales sobre los cuales se ha edificado la ciudad de Motozintla.

4.6.1.1 Abanicos fluviales.

Tabla 8. Descripción del abanico ubicado en el Barrio Milenio I.



| Características. | Columna sedimentológica, clasificación e interpretación de facies Miall (1996). |
|--|--|
| <p>Depósito masivo, compacto, de composición polimicticos (granito rosa, blanco y andesitas), mal seleccionado, clastos subangulares, soportado por una matriz de arena media que representa el 25% del volumen total, el límite inferior no se observa, el límite superior es de carácter erosivo. Espesor máximo observado 3 m (Imagen 1).</p> | <p>esc.1: 33.3</p> <div data-bbox="630 724 834 1052" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>Gmm (Grava masiva, soportada por matriz)</p> <p>Interpretación: Flujo plástico de detritos (Viscoso, alta densidad)</p> </div>  |
|  <p>Imagen 1: Deposito masivo (grava masiva, soportada por matriz).</p> | |

Tabla 9. Descripción del abanico ubicado en el Barrio Milenio I.

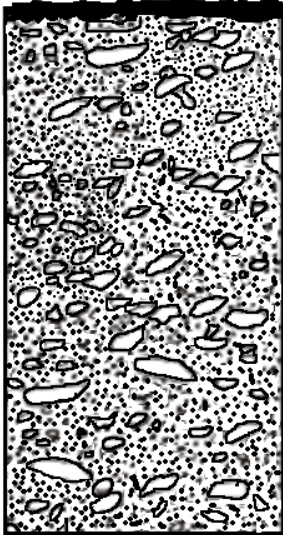

| Características. | Columna sedimentológica, clasificación e interpretación de facies Miall (1996). |
|--|--|
| <p>Depósito masivo, compacto, composición oligomictica (granito), polimétrico, de coloración rosa, clastos subangulares, soportado por una matriz de arena media a fina que representa un 40-45% del volumen total. El límite inferior no se observa y el límite superior muestra un suelo pobremente desarrollado. Espesor máximo observado 5 m (Imagen 2).</p> | <p>esc1:50</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;"> <p>Fr (Arcilla, limo) Interpretación: Suelo incipiente</p> </div> <div style="margin-right: 10px;">→</div>  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>Gmm (Grava masiva, soportada por matriz) Interpretación: Flujo plástico de detritos (Viscoso, alta densidad)</p> </div> |
| |  <p>Imagen 2: Deposito masivo (grava masiva, soportada por matriz). La línea amarilla marca el límite entre el depósito sedimentario y un suelo pobremente desarrollado.</p> |

Tabla 10. Descripción del abanico ubicado en el Barrio Milenio II.

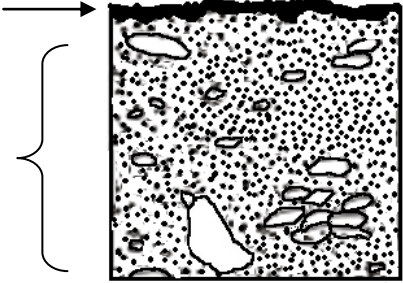
| Características. | Columna sedimentológica, clasificación e interpretación de facies Miall (1996). |
|--|---|
| <p>Depósito masivo, poco compacto, oligomictico (granito), de coloración rosa, polimétrico, clastos subangulosos, soportado por una matriz de arena media que constituye el 40-45% del volumen total (Imagen 3). El límite inferior no se observa. En el límite superior se aprecia un suelo incipiente. El máximo espesor observado es de 1.60 m.</p> | <p>esc. 1: 33.3</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 20px;"> <p style="text-align: center;">Fr (Arcilla, limo) Interpretación: Suelo incipiente</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 20px;"> <p style="text-align: center;">Gmm (Grava masiva, soportada por matriz) Interpretación: Flujo plástico de detritos (Viscoso, alta densidad)</p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> |



Imagen 3: Deposito masivo (Grava masiva, soportada por matriz). La línea amarilla representa el límite entre el depósito sedimentario y un suelo insipiente.

Tabla 11. Descripción del abanico ubicado en el Barrio Milenio III.

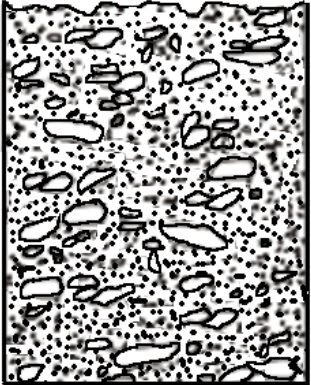
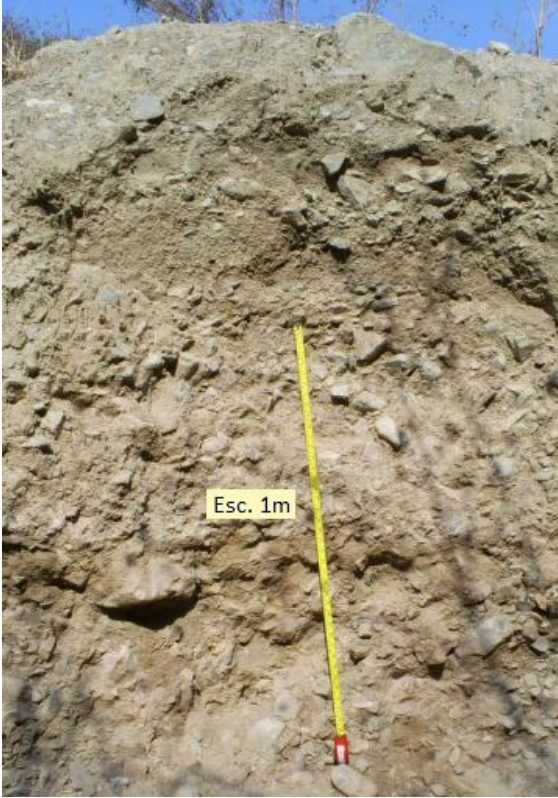
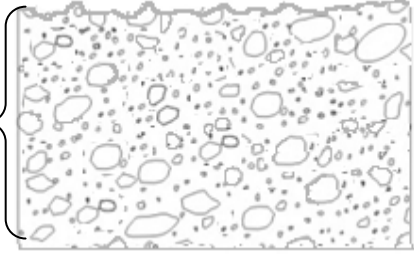
| Características. | Columna sedimentológica, clasificación e interpretación de facies Miall (1996). |
|--|---|
| <p>Depósito masivo, compacto, polimictico (granito rosa, arenisca, conglomerado y fragmentos de rocas metamórficas), coloración café y rosa claro, mal seleccionado, clastos subangulares, soportado por una matriz de arena media que representa 20-25% del volumen total. El límite inferior no se observa y el límite superior es erosivo. Máximo espesor observado es 2.20 m (Imagen 4).</p> | <p>esc. 1:33.3</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 20px;"> <p style="text-align: center;">Gmm (Grava masiva, soportada por matriz)</p> <p>Interpretación: Flujo plástico de detritos (Viscoso, alta densidad)</p> </div> <div style="font-size: 4em; margin-right: 10px;">}</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">  </div> </div> |
|  <p>Esc. 1m</p> <p>Imagen 4: Deposito masivo (Grava masiva, soportada por matriz).</p> | |

Tabla 12. Descripción del abanico ubicado en el Centro de la ciudad.

| Características. | Columna sedimentológica, clasificación e interpretación de facies Miall (1996). |
|--|---|
| <p>Depósito masivo, poco compacto, polimictico (andesita, granito, rocas metamorficas, arenisca), coloración café clara a oscura con tonalidades gris claro, polimétrico, fragmentos subredondeados, soportado por una matriz de arena media a gruesa que representa 45% del volumen total. El contacto inferior no se observa, el contacto superior presenta depósitos de origen antrópico (escombros). Presenta gradación normal, clastos flotantes, lentes de guijas y clastos rodados, algunos clastos muestran una orientación preferencial. Espesor observado 90 cm, espesor calculado 8 m (Imagen 5).</p> | <p>esc.1: 33.3</p> <div data-bbox="797 474 1003 762" style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <p>Gmg (Grava soportada por matriz.)</p> <p>Interpretación: Flujo plástico (viscoso, baja densidad)</p> </div>  |

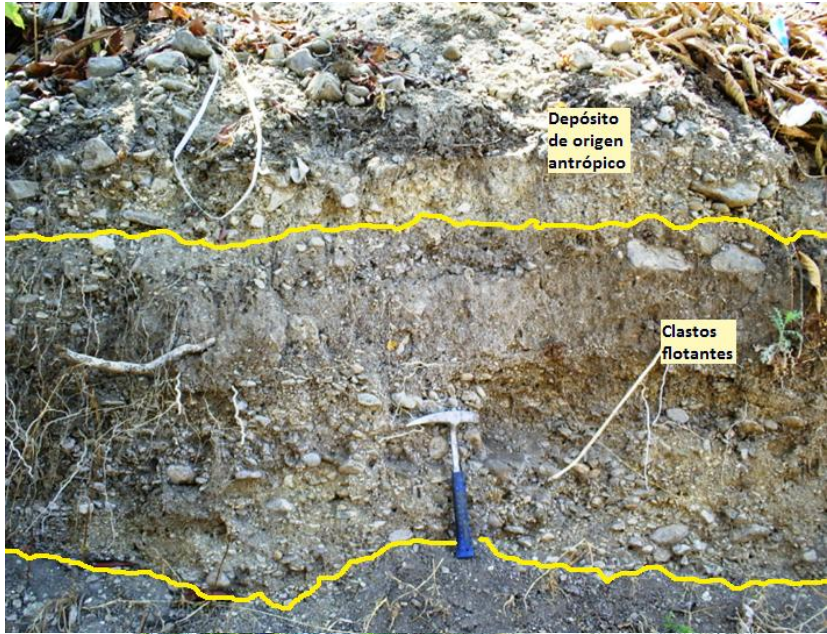


Imagen 5: Depósito masivo. Las línea amarilla inferior indica el material que se ha desprendido del depósito, la línea superior marca el límite entre el depósito masivo y otro, de origen antrópico.

Tabla 13. Descripción del abanico ubicado en el Barrio San Antonio.

| |
|-------------------------|
| Características. |
|-------------------------|

Facies A: Estructura masiva, deleznable, de composición polimictico (rocas metamórficas con distinto grado de alteración, rocas graníticas, fragmentos de cuarzo), coloración crema con tonalidad café, mal seleccionado, gradación normal, clastos subangulosos, soportado por arena media a gruesa que representa un 35% del volumen total. Se observan varias pulsaciones con gradación normal. El contacto inferior no se observa y el superior es de carácter erosivo. Espesor máximo observado 4 m (Imagen 6a).

Facies B: Estructura masiva, deleznable, su composición es homogénea, bien seleccionado, de coloración café clara, constituido en su mayoría de material fino. Presenta clastos esporádico de pómez, granito y cuarzo, subredondeados que van desde 3.5 cm hasta 6.5 cm. Su contacto inferior es de carácter erosivo y el superior es gradual. El maximo espesor observado es de 65 cm (Imagen 6b).

Facies C: Depósito de ceniza, compacto, de coloracion blanca, con gradacion normal, con forma de cuña. Su posicion actual se debe a que son flujos piroclasticos retrabajados (J.M.Sánchez,comunicacion personal, 2011). Posiblemente esta capa es producto de un retabajo. El maximo espesor observado es de 1.30 m (Imagen 6c).

Facies D: Estructura masiva, muy compacta, heterolitológica, coloración café claro, mal seleccionado, forma de los clastos subangulosa y subredondeada, soportado por una matriz de arena media que representa un 60-65% del volumen. Ambos contactos son erosivos. Espesor máximo observado de 7 m (Imagen 6d).

Columna sedimentológica, clasificación e interpretación de facies Miall (1996).

esc1:100

Gmm
(Grava masiva,
soportada por
matriz)

Interpretación:
Flujo plástico
de detritos
(Viscoso, alta
densidad)

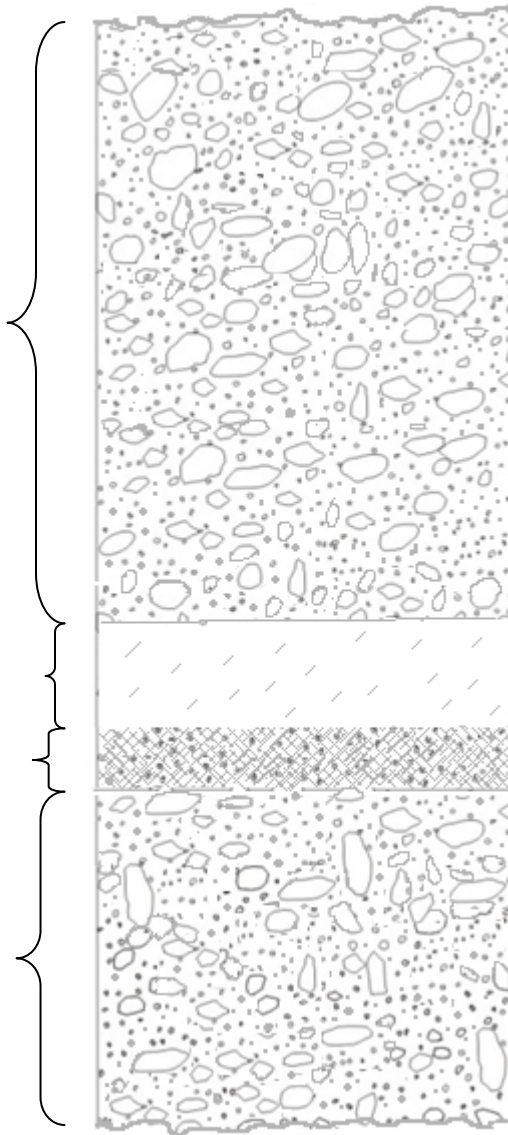
Depósito de
ceniza.

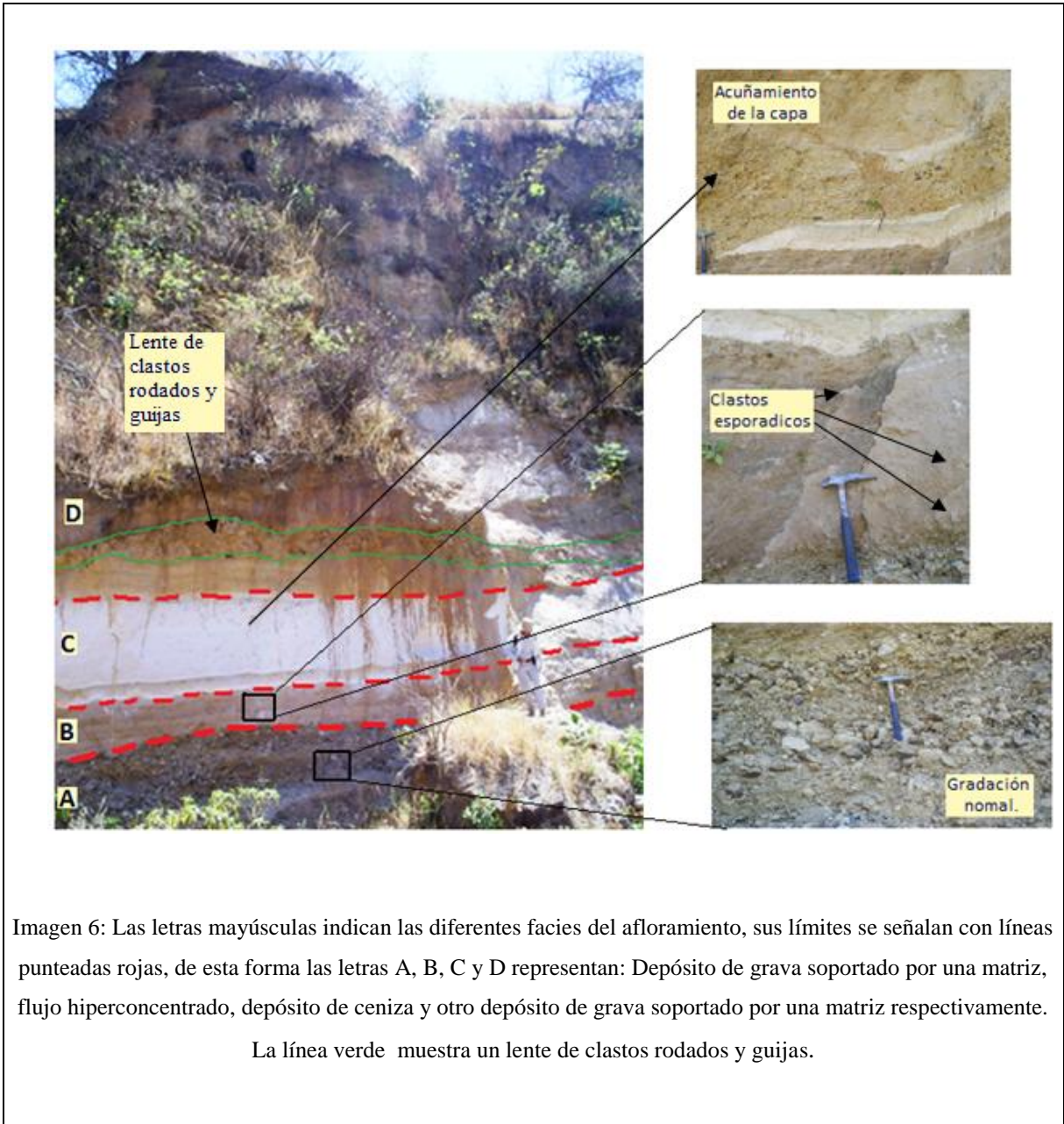
Sm
(Arena, fina a
gruesa)

Interpretación:
Depósito de flujo

Gmg
Grava soportada
por matriz.

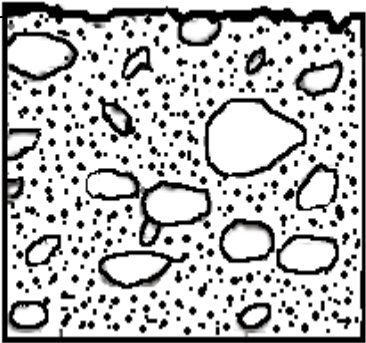
Interpretación:
Flujo plástico
(viscoso, baja
densidad)





4.6.1.2 Tarrazas fluviales.

Tabla 14. Descripción de la terraza ubicada en el Barrio El Cerezo.

| Características. | Columna sedimentológica, clasificación e interpretación de facies Miall (1996). |
|--|---|
| <p>Depósito masivo, poco compacto, composición heterolitológica (arenisca, granito con diversos grados de alteración, rocas metamórficas, fragmentos de cuarzo) coloración café claro, polimétrico, clastos subredondeados, soportado por una matriz de arena media – fina, que representa el 20% del volumen total. El límite inferior no se observa, el límite superior muestra un suelo incipiente. Los clastos de mayor tamaño se encuentran en la base. Espesor máximo observado 1.20 m (Imagen 7).</p> | <p>esc.1: 33.3</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;"> <p>Gmm (Grava masiva, soportada por matriz)</p> <p>Interpretación: Flujo plástico de detritos (Viscoso, alta densidad)</p> </div>  </div> |

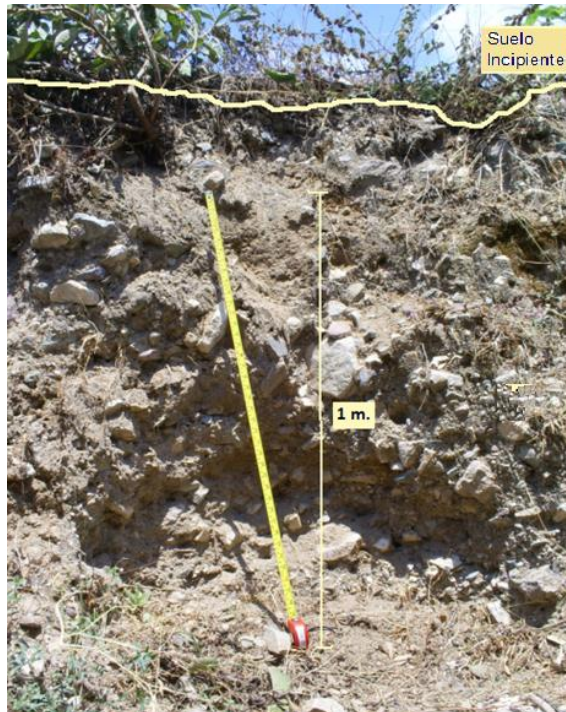
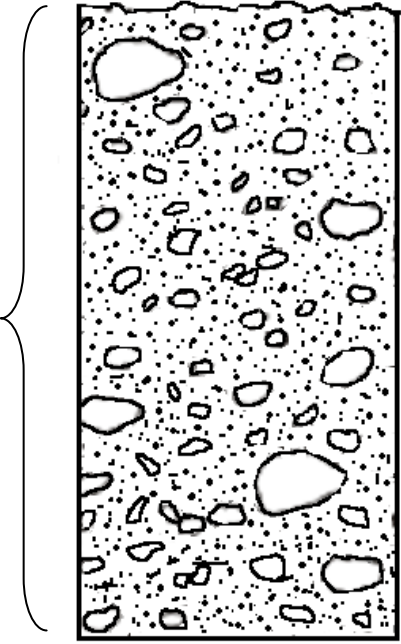


Imagen 7: Depósito masivo (Grava masiva, soportada por matriz). La línea amarilla marca el límite entre el depósito sedimentario y un suelo incipiente.

Tabla 15. Descripción de la terraza ubicada en el Barrio Emiliano Zapata.

| Características. | Columna sedimentológica, clasificación e interpretación de facies Miall (1996). |
|---|---|
| <p>Depósito masivo, poco compacto, polimictico (arenisca, conglomerado, rocas metamórficas, granito con distintas grados de alteración y tonalidades), de coloracion café claro, heterometrico, clastos sub angulosos, subredondeados a redondeados (su presencia indica una menor y mayor distancia de transporte, respectivamente) soportado por una matriz de arena media, que equivale al 30% del volumen total. El límite inferior no se observa y el límite superior es de carácter erosivo. Espesor máximo observado 2.80 m. (Imagen 8).</p> | <p>esc 1: 33.3</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 20px;"> <p>Gmm (Grava masiva, soportada por matriz)</p> <p>Interpretación: Flujo plástico de detritos (Viscoso, alta densidad)</p> </div>  </div> |

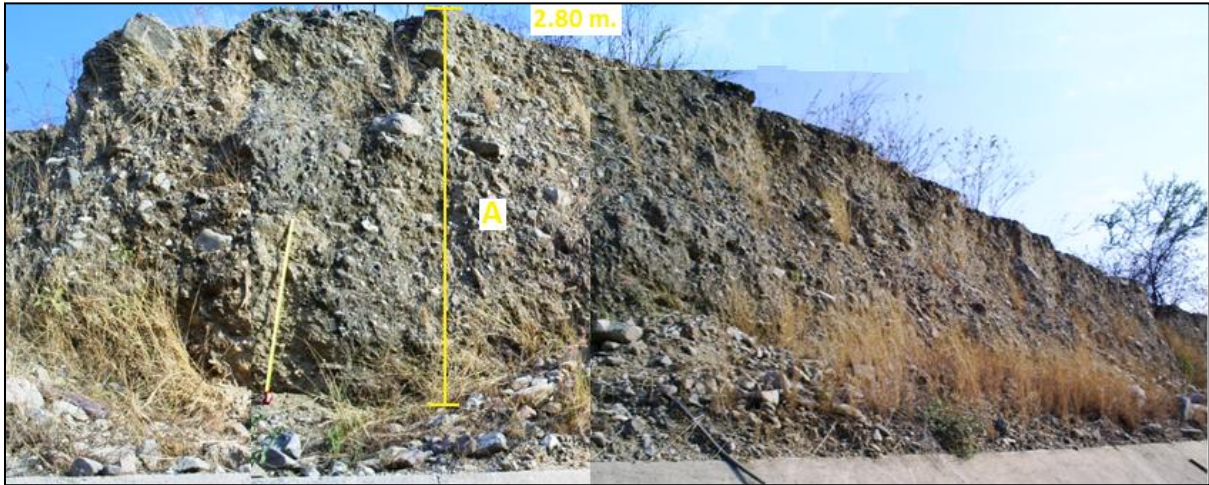


Imagen 8: Deposito masivo (Grava masiva, soportada por matriz).

Tabla 16. Descripción de la terraza ubicada en el Barrio San Miguel.

Clasificación.

Facies A: Estructura masiva, el material del que esta constituido es del tamaño de limo, muestra una coloración café oscuro, una buena seleccion, el límite inferior no se observa y el superior es de carácter erosivo. Presenta asimilacion de clastos que van de 4.5 a 10 cm. El espesor máximo observado es de 25 cm (Imagen 9a).

Facies B: Depósito masivo, polimictico (andesita, granito con diferentes grados de alteración, rocas metamórficas, esporádicamente se presentan clastos de arenisca y de piroclastos), coloración gris claro, mal seleccionado, fragmentos subredondeados, soportado por una matriz de arena media a fina, que representa un 40% del volumen total, ambos límites son de carácter erosivo. Presenta clastos flotantes, lentes con tamaño de arena gruesa y de guijas. Espesor maximo observado 57 cm (Imagen 9b).

Facies C: Depósito masivo, deleznable, polimictico (arenisca, rocas metamórficas, granito), de coloración café claro, heterométrico, clastos subredondeados, soportado por una matriz de arena media, que representa un 50 % del volumen total, el límite inferior es erosivo y el superior muestra un suelo incipiente. Espesor máximo observado 6 m (Imagen 9c).

Columna sedimentológica, clasificación e interpretación de facies Miall (1996).

esc.1: 100

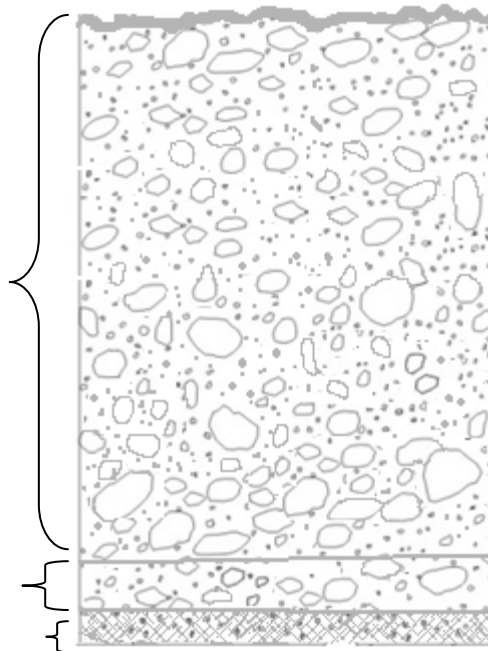
Gmm
(Grava masiva,
soportada por
matriz)

Interpretación:
Flujo plástico
de detritos
(Viscoso, alta
densidad)

Gmm

Sm
(Arena, fina a
gruesa)

Interpretación:
Depósito de flujo



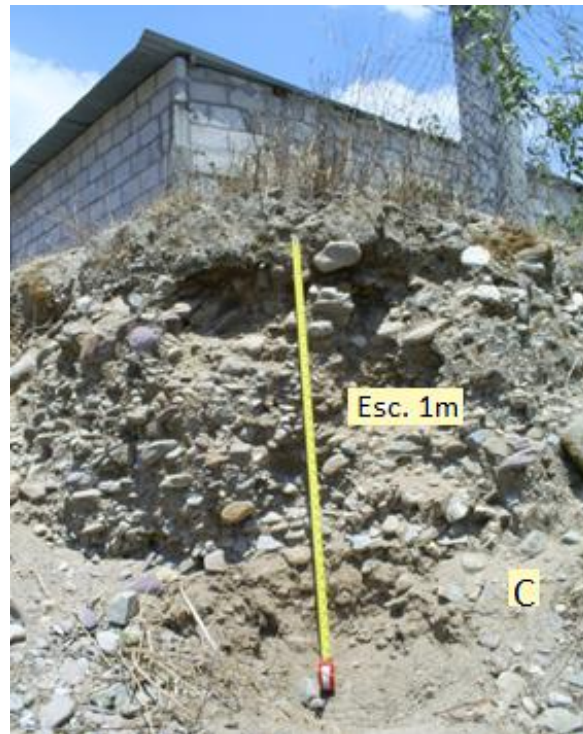


Imagen 9: Las letras mayúsculas indican las diferentes facies del afloramiento, la línea amarilla indica el límite entre ellas. Las letras A, B y C representan: flujo hiperconcentrado, depósito de grava soportado por una matriz y otro depósito de grava soportado por una matriz respectivamente. La línea verde muestra un lente del tamaño de guijas.

Tabla 17. Descripción de la terraza ubicada en el Barrio San Lucas.

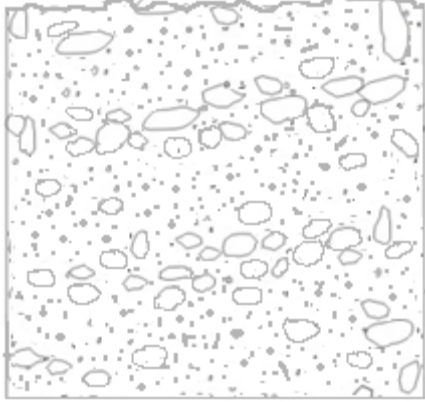
| Características. | Columna sedimentológica, clasificación e interpretación de facies Miall (1996). |
|--|---|
| <p>Facies A: Depósito masivo, de compactación media, heterolitológico, (granito con diferentes grados de alteración, fragmentos de cuarzo), coloración café clara, heterométrico, clastos subangulares y subredondeados, soportado por arena media que representa un 40% del volumen total, ambos contactos no se observan. Presenta gradación normal, lentes de cantos rodados y arena muy gruesa, clastos flotantes. En la base existe acumulación de clastos con tamaño de guijas (6-25 cm). Espesor máximo observado 1.50 m (Imagen 10).</p> | <p>esc.1: 33.3</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;"> <p>Gmg Grava soportada por matriz.</p> <p>Interpretación: Flujo plástico (viscoso, baja densidad)</p> </div>  </div> |



Imagen 10: Depósito masivo (Grava soportada por matriz). Las líneas verdes señalan un lente de clastos rodados, las líneas azules indican un lente de arenas gruesas.

4.6.1.3 Rampas fluviales.

Tabla 18. Descripción de la rampa ubicada en el Barrio Luis Donaldo Colosio (bodega Aurrera).

| Características. |
|---|
| <p>Facies A: Depósito de estructura masiva, compacta, de composición oligomictica, de coloración crema, mal seleccionado. La forma de los clastos es subangulosa a redondeada, es soportado por una matriz de arena media que representa 70% del volumen total. El contacto inferior no se observa y el superior es gradual, debido a que le subyace un paleosuelo de 20 a 30 cm de espesor. Espesor máximo observado es de 3 m (Imagen 11a).</p> |
| <p>Facies B: Estructura masiva, de composición oligomictica (granito), coloración gris oscuro, mal seleccionado, la forma de los clastos es subangulosa y subredondeada, soportado por una matriz de arena media a fina que representa un 35-40% del volumen total. El contacto inferior no se aprecia y el contacto superior es de carácter erosivo. El máximo espesor observado es de 35 cm (Imagen 11b).</p> |
| <p>Facies C: Estructura masiva, de composición oligomictica (granito) con mala selección, clastos subangulosos a subredondeados, la matriz corresponde a un 35% de arena media. Presenta un lente de 70 cm compuesto por cantos rodados, con una incipiente compactación. En su base se encuentran fragmentos de residuos sólidos urbanos, también se observan diferentes pulsaciones, las cuales se manifiestan con intercalación de material grueso y fino cuyo espesor varía de los 3 a los 12 cm. Ambos contactos son erosivos. El máximo espesor observado es de 4 m (Imagen 11c).</p> |
| Columna sedimentológica, clasificación e interpretación de facies Miall (1996). |

esc.1: 100

Gmg
Grava
soportada por
matriz.

Interpretación:
Flujo plástico
(viscoso, baja
densidad)

Gmm
(Grava masiva,
soportada por
matriz)

Interpretación:
Flujo plástico
de detritos
(Viscoso, alta
densidad)

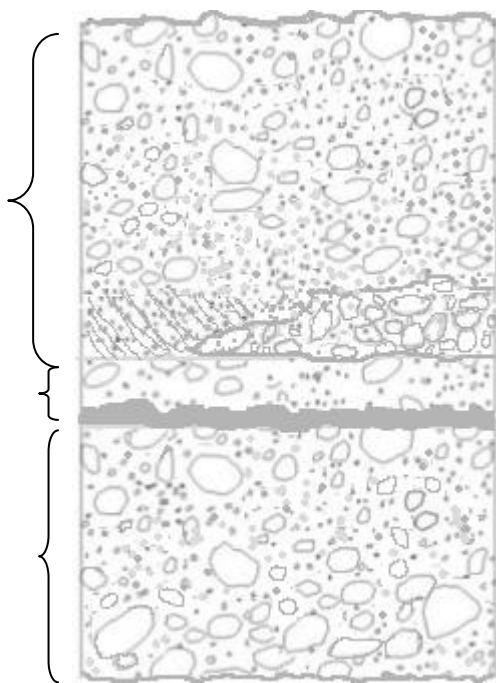
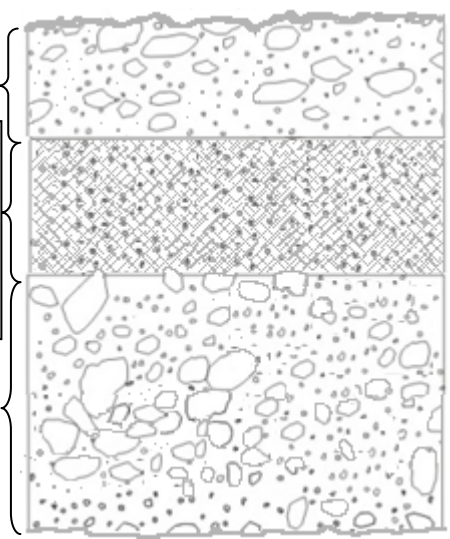
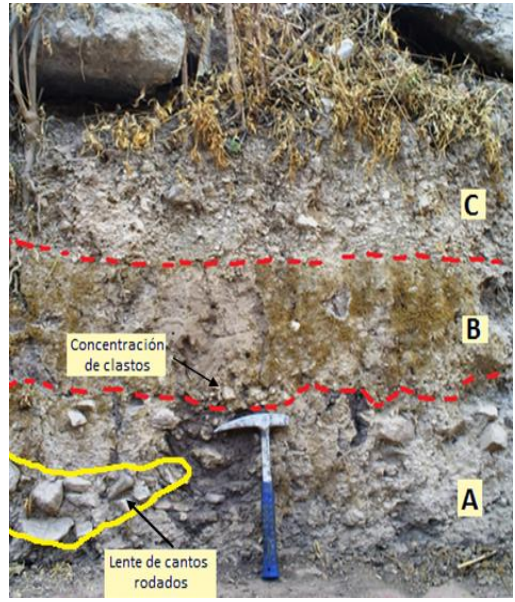




Imagen 11: Las letras A, B y C indican las diferentes facies del afloramiento, que corresponde a los tres depósitos de grava masiva soportada por matriz. La línea verde muestra un lente de clastos rodados que contiene residuos sólidos urbanos. Las líneas azules señalan un paleosuelo.

Tabla 19. Descripción de la rampa ubicada en el Barrio Luis Donaldo Colosio.

| Características. | |
|---|--|
| <p>Facies A: Estructura masiva, de composición oligomictica (granito), coloración gris oscuro, mal seleccionado, con gradación normal. La forma de los clastos es subangulosa y subredondeada, soportado por una matriz de arena media que representa un 80% del volumen total. Presenta lentes de fragmentos con un tamaño de cantos rodados y guijas. El contacto inferior no se aprecia y el contacto superior es de carácter erosivo. El máximo espesor observado es de 38 cm (Imagen 12a).</p> <p>Facies B: Estructura masiva, bien seleccionado, de coloración café clara, formado por un 95% de arena fina. En la base se concentran los clastos de mayores dimensiones. En la parte superior esporadicamente se presentan clastos de cuarzo y granito de forma subredondeada. Sus dimensiones oscilan entre los 1.8 cm y 4.5 cm. Sus contactos son erosivos. El máximo espesor observado es de 47 cm (Imagen 12b).</p> <p>Facies C: Estructura masiva, compacta, de composición oligomictica, de coloración crema, mal seleccionado, con gradación normal. La forma de los clastos es subangulosa, soportado por una matriz de arena fina que representa un 20-25% del volumen total. El contacto inferior es erosivo y en el contacto superior se esta desarrollando un suelo. El espesor máximo observado es de 1 m (Imagen 12c).</p> | |
| Columna sedimentológica, clasificación e interpretación de facies Miall (1996). | |
| <p>esc.1: 33.3</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 60px; text-align: center;">Gmg</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100px; margin-top: 5px;"> <p style="text-align: center;">Sm (Arena, fina a gruesa)</p> <p style="text-align: center;">Interpretación: Depósito de flujo gravitatorio.</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100px; margin-top: 5px;"> <p style="text-align: center;">Gmg Grava soportada por matriz.</p> <p style="text-align: center;">Interpretación: Flujo plástico (viscoso, baja densidad)</p> </div> </div>  </div> |  <p>Imagen 12: Las letras A, B y C indican: Flujo hiperconcentrado, y dos facies de grava soportada por matriz respectivamente, limitados por líneas punteadas rojas. La línea amarilla muestra un lente de clastos rodados.</p> |

4.6.1.4 Eventos recientes.

Algunas formas del relieve han sido cubiertas a causa de la expansión de la mancha urbana. Sin embargo, en las ultimas decadas se ha acumulado nuevo material, lo que permiten conocer la litologia e inferir algunas características de las geoformas ocultas bajo el asfalto. En las Tablas 17-20 se presenta la descripción de los depósitos más recientes; esto permite caracterizar hasta cierto punto los abanicos aluviales A1, A7 y A8.

Tabla 20. Ubicado en el Barrio San Antonio.

| Características. |
|--|
| <p>En el barrio San Antonio avenida 10 sur número 235, en el patio trasero de una vivienda se encuentra un deposito de más de 2 m. de espesor, originado por el huracán Stan en el año 2005. Las facies que presenta este deposito son:</p> <p>Facies A: Estructura masiva, semi-compacta, de composición polimictica (andesita, granito, rocas metamórficas), coloración crema y café claro, mal seleccionado, fragmentos sub redondeados, soportado por una matriz de arena media a gruesa que representa 25- 30% del volumen total. El contacto inferior no se observa y el superior es de carácter erosivo. Espesor máximo observado 50 cm (Imagen 13a).</p> <p>Facies B: Estructura masiva, deleznable, de composición heterolitológica con (granito con diferentes grados de alteración y rocas metamórficas), mal seleccionado, con gradación normal, fragmentos subangulosos y subredondeados, soportado por una matriz de arena fina a media que representa un 40% del volumen total. Se identificaron ocho pulsaciones de intercalación de clastos gruesos y finos, en la parte superior se observan flotación de clastos de composición granítica con tamaño de guijas. Espesor máximo observado 2.60 m (Imagen 13b).</p> |



Imagen 13: Las letras A y B indican dos facies de grava masiva soportada por matriz, la línea amarilla indica el límite entre ellas.

Tabla 21. Ubicado en el Barrio Emiliano Zapata (antigua gasolinera y el DIF)

Características.

En el año 2010 ocurrió un importante proceso de remoción en masa (PRM) el cual cubrió la antigua gasolinera, y las instalaciones de las oficinas del DIF de esta ciudad. El depósito originado por un PRM, tiene una estructura masiva, deleznable, de composición heterolitológica (granito, andesita, augengneis), de coloración café claro, mal seleccionado, fragmentos angulares, soportado por una matriz de arena gruesa que representa entre un 40-45 % del volumen total. Espesor máximo observado 2.70 m (Imagen 14).

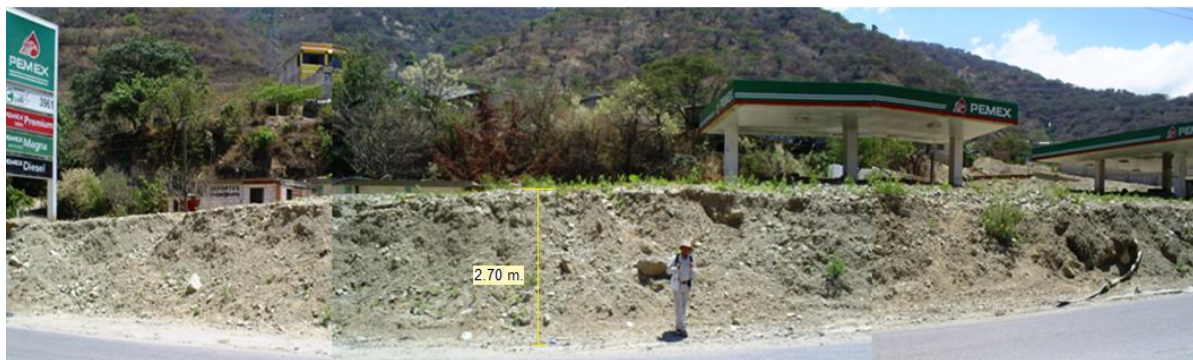


Imagen 14: Deposito reciente, originado por un proceso de remoción en masa.

Tabla 22. Ubicado en el Barrio Fransisco Sarabia 1.

| |
|--|
| Características. |
| <p>El huracán Stan fue el agente que originó la acumulación de estos sedimentos en el año 2005 (comunicación personal con los habitantes de la ciudad). Corresponde a un depósito masivo, de compactación media, polimictico (arenisca, granito de coloración rosa, blanca y fragmentos de rocas metamórficas), de coloración café claro, polimetrico, clastos subredondeados, soportados por una matriz de arena media que equivale a un 35-40% del volumen total. El límite inferior no se observa y el límite superior presenta un suelo incipiente. Espesor máximo observado 1.67 m.</p> |

Tabla 23. Ubicado sobre el cauce del rio Mina (Barrio Tejería).

| |
|--|
| Características. |
| <p>Facies A: Estructura masiva, poco compacta de composición polimictica (granito rosa, blanco, rocas metamórficas, conglomerado, arenisca), coloración café claro a oscuro, polimétrico, forma subangulosa y subredondeado de los clastos, soportado por arena fina que representa 45% de volumen total. Presenta estructuras de carga, lentes de grava y arena gruesa, clastos flotantes de tamaño de guijas. El límite inferior no se aprecia, el superior es de carácter erosivo. El máximo espesor observado es de 55 cm (Imagen 20a).</p> <p>Facies B: Estructura masiva, deleznable, composición polimictico (granito de coloración rosa, blanco, arenisca, conglomerado, fragmentos de rocas metamórficas), coloración café claro, polimétrico, fragmentos subangulares y subredondeados, soportado por arena media que representa 40-45% del volumen total. Ambos contactos son erosivos. Presenta clastos flotantes con tamaño de bloques (55-80 cm), lentes de clastos con tamaño de cantos rodados. El depósito contiene materiales urbanos sólidos inmerso en él. Máximo espesor observado 2.80 m (Imagen 20b).</p> |
| Columna sedimentológica, clasificación e interpretación de facies Miall (1996). |

Esc.1: 33.3

Gmm
(Grava masiva,
soportada por
matriz)

Interpretación:
Flujo plástico
de detritos
(Viscoso, alta
densidad)

Gmm

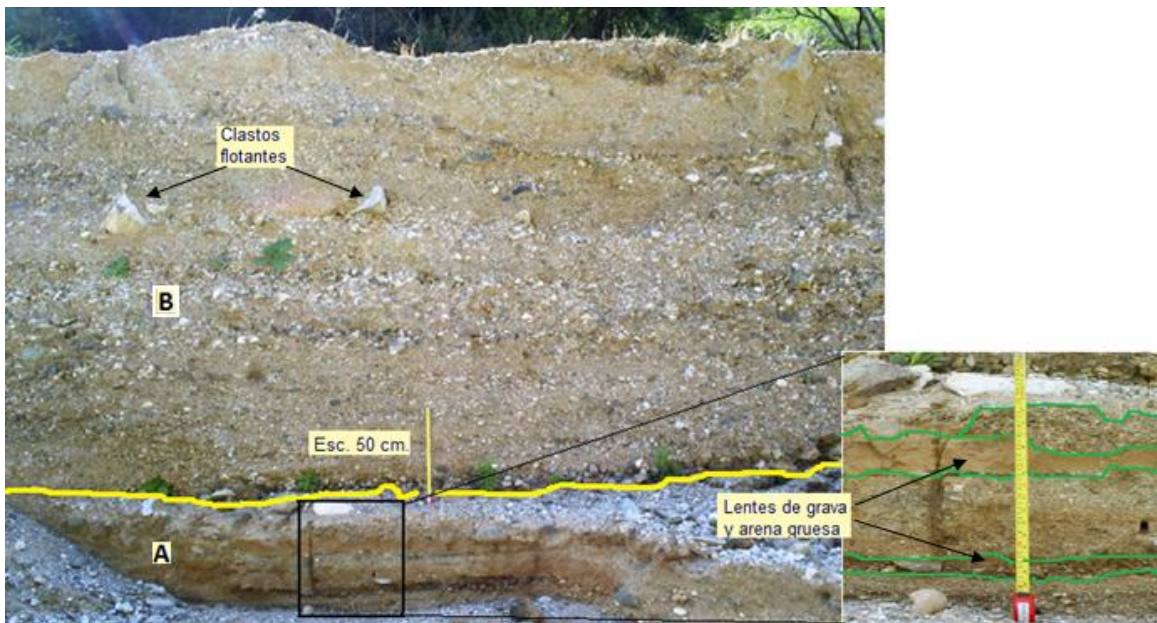
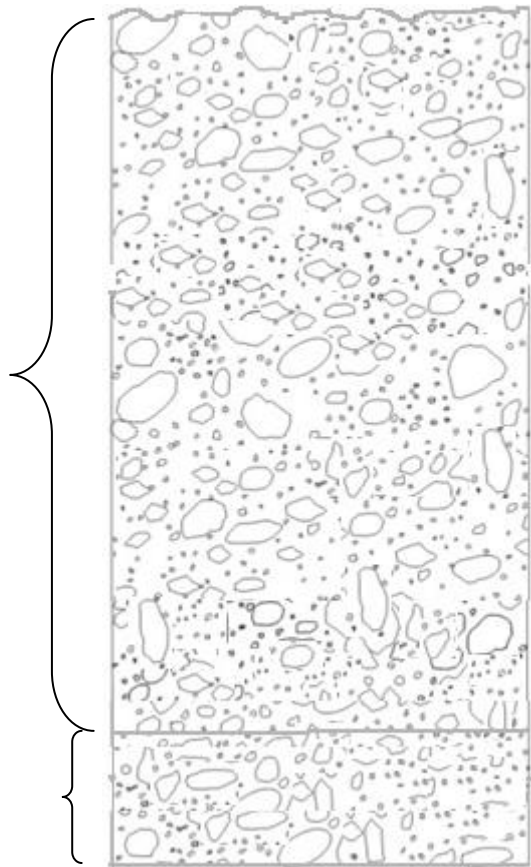
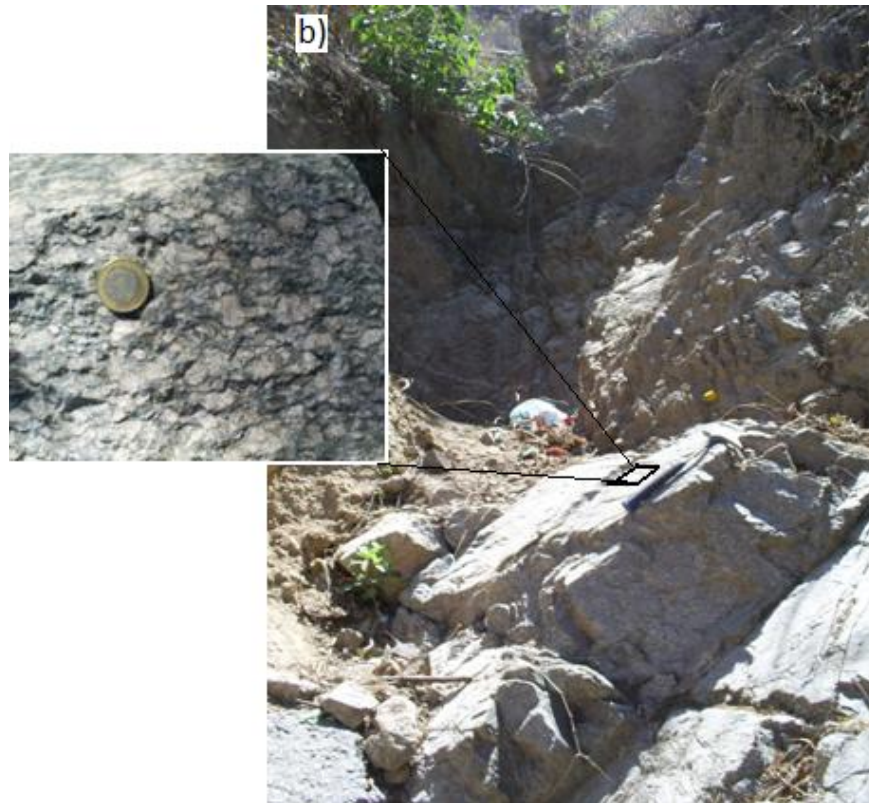




Imagen 20: Las letras A y B indican dos facies de grava masiva, soportada por matriz. La línea amarilla señala el límite entre las dos facies, la línea de color verde claro muestra una estructura de carga y las líneas verdes señalan lentes de grava y arena gruesa.

4.7 Basamento.

De acuerdo al mapa geológico de la cuenca de Motozintla (presentado en el capítulo anterior) la roca que subyace a todo el cúmulo de material sedimentario en el lado sureste de esta ciudad es el Tronco de Amatenango (Figura 9a). La existencia de este cuerpo intrusivo fue corroborada en el flanco derecho (dirección sur-norte) del río Allende en las coordenadas 15P0580943, 1697611 a una altitud de 1361 msnm, al observar a un granitoide coloración verdosa producto de cloritización, con textura fanerítica que presenta alineación de los feldspatos, segregaciones de cuarzo, diferentes grados de alteración y múltiple fracturamiento. Sobre el mismo flanco del río se ubica un afloramiento de augen-gneis (Figura 9b) que presentan una coloración verdosa, fenocristales de feldspatos, cuarzo diseminado y múltiple fracturamiento; su presencia corrobora la existencia del Tronco de Amatenango.



Fotografía 9. a) Granito perteneciente al Troco de Amatenango, b) afloramiento de augen-gneis.

En el lado opuesto de este río (lado suroeste de la ciudad) en las coordenadas 15P0580661, 1697715, Barrio 12 de Octubre, se aprecia un granito de color rosado de grano grueso fuertemente alterado, presenta alto intemperismo mecánico, sus componentes se disgregando como resultado arenas gruesa ricas en cuarzo y feldespatos. Su coloración en las áreas alteradas se torna parda con tonalidades rojizas y motes verdes producto de la cloritización. Esta roca corresponde al tronco de Buenos Aires (Figura 10) y forma el basamento del flanco izquierdo del río Allende.

Los cuerpo ígneos descritos anteriormente se encuentran divididos por una falla que rige la trayectoria del río Allende y que esta asociada a la falla Polochic.



Fotografía 10. Granito rosado con fuerte grado de intemperismo mecánico ubicado en la calle San Fernando, Barrio 12 de octubre (corte inducido por la construcción de una vivienda).

CAPITULO 5: RESULTADOS DEL MÉTODO GEOFÍSICO SÍSMICA DE REFRACCIÓN.

5.1 Introducción.

El método geofísico sísmica de refracción se utiliza principalmente en la exploración de capas someras. Esta técnica, a través de la elaboración y análisis de un gráfico tiempo-distancia determina la velocidad de propagación de las ondas sísmicas (función de los módulos elásticos del medio de propagación) en un medio determinado, con lo cual, se establece el espesor, profundidad y litología de los estratos que constituyen el subsuelo de alguna región geológica (Dobrin, 1975).

La exploración del subsuelo por medio de este método sísmico se realiza mediante el estudio de ondas sísmicas compresionales que sufren refracción total, (ondas refractadas u ondas cónicas con un ángulo crítico); estas ondas son las primeras en ser percibidas por los sismodetectores (las ondas directas hasta una cierta distancia “llamada distancia crítica”, constituyen la excepción debido a que su arribo es primero), por lo que, es simple su identificación en los registros sísmicos.

De acuerdo a Dobrin (1975) y Cantos (1974) esta técnica sísmica es considerada como uno, de los principales métodos geofísicos para la obtención de datos en el área geotécnica.

En el área petrolera se utiliza para determinar estructuras geológicas como: anticlinales, fallas tectónicas. En el contexto geotécnico se utiliza cuando se requiere desplegar una obra civil; tal es el caso de edificios, presas, carreteras, puentes, aeropuertos, en donde es importante conocer la profundidad de la roca sana, el grado de alteración de los sedimentos, nivel de fracturamiento de las rocas, el volumen de material explotable que podría ser usado en la industria de la construcción y para establecer la continuidad y extensión de los estratos.

La información obtenida a través de este método (Guía de Prospección Sísmica por Refracción, 2000), permite determinar propiedades físicas y mecánicas del subsuelo tales como:

- a) Determinar la interface entre medios elásticos con un fuerte contraste de velocidad.
- b) Obtener perfiles y espesores de los sedimentos, hasta el basamento en una cuenca sedimentaria.
- c) Localizar fallas, paleocauces, zonas de fracturas en el basamento rocoso somero.
- d) Obtener un perfil de espesores y velocidades del sedimento hasta la roca sana, diferenciando suelo, roca meteorizada, roca submeteorizada y roca inalterada.
- e) Calcular volumen de material que pueda ser extraído.
- f) Calcular los tiempos de tránsito de las ondas a través de las capas de baja velocidad cercanas a la superficie, para corrección estática de campo en prospección por reflexión.

Los conceptos básicos sobre la propagación del movimiento ondulatorio fundamentales para poder comprender el método geofísico sísmica de refracción son:

1. Definición de onda: Las ondas elásticas son las perturbaciones que viajan a través de un medio elástico (Sheriff, 1991).
2. Conceptos esenciales de la onda.

Las siguientes definiciones caracterizan el movimiento ondulatorio, cuya naturaleza es la repetición de una onda senoidal (Hecht, 1997).

- Ondas armónicas: es la forma más sencilla en que se puede expresar una onda, el perfil corresponde a una función seno o coseno.

$$A \sin k(X - Vt)$$

Ecuación de una onda progresiva que viaja a una velocidad V en dirección de X

Donde:

K es conocida como número de propagación y es una constante positiva.

A es la amplitud de onda y corresponde al máximo valor de la perturbación (su rango va de 1 a -1).

X es la distancia.

t es el tiempo.

V corresponde a la velocidad.

Si se mantiene fija X o bien t el resultado será una onda senoidal, la cual es periódica tanto en el espacio como en el tiempo.

- El periodo espacial (λ) se conoce como longitud de onda.
- El periodo temporal (τ) es la cantidad de tiempo que le toma a una onda completar un ciclo (número de unidades de tiempo por onda).

$$\tau = \lambda/V$$

- Frecuencia (f): corresponde al inverso del periodo y representa el número de onda por unidad de tiempo.

$$f = 1/\tau$$

3. Teoría de la elasticidad.

El tamaño y la forma de un cuerpo rígido puede ser modificado al aplicar sobre el una fuerza externa, sin embargo a estas fuerzas externas se resisten otras fuerzas internas, las cuales ofrecen resistencia al cambio de forma y tamaño de un cuerpo (Sheriff, 1991).

Elasticidad es la propiedad que poseen algunos materiales que son sometidos a esfuerzos de regresar a su estado original al desaparecer dichos esfuerzos (Del Valle, 1986).

La teoría de la elasticidad relaciona los esfuerzos aplicados a un cuerpo con las deformaciones (cambio del tamaño y la forma) que este sufre, ésta es conocida como modulo elástico o constante de proporcionalidad (Sheriff, 1991).

$$\text{Modulo elástico} = \frac{\text{Esfuerzo}}{\text{deformacion unitaria}}$$

Este comportamiento se ejemplifica con la ley de Hooke, que establece:

El alargamiento unitario que sufre un material elástico es proporcional la fuerza F aplicada sobre el (Stein, 2003).

4. Constantes elásticas.

Se pueden distinguir dos tipos de deformaciones (Del Valle, 1986) de las cuales se derivan los módulos elásticos que, de acuerdo a Dobrin, 1975 se definen a continuación:

- Cuerpos que conservan su volumen: Son originados por esfuerzos tensionales y compresivos, originan deformaciones transversales las cuales compensan la deformación producida en sentido longitudinal.
- Modulo de Young (E): es la constante de proporcionalidad.

Cuando mayor sea el valor de E para un cuerpo solido menor será la deformación causada por algún esfuerzo.

$$E = \frac{\text{Esfuerzo}}{\text{deformación}}$$

- Coeficiente de Poisson (γ): es la relación existente entre la deformación perpendicular a la fuerza deformante y la dirección de tensión.

$$\gamma = \frac{\textit{deformación transversal}}{\textit{deformación longitudinal}}$$

- Modulo de rigidez o de cizallamiento (n): Considerando un esfuerzo cortante la tensión es proporcional al esfuerzo si la magnitud es mínima.

$$n = \frac{\textit{esfuerzo cortante}}{\textit{deformación angular}}$$

- Deformaciones con variaciones de volumen de los cuerpos sólidos: Este tipo de deformaciones se obtienen cuando los cuerpos están distribuidos uniformemente alrededor de un cuerpo.
- Modulo volumétrico o compresibilidad (k): Se define como la presión dividida entre el cambio de volumen que sufre un cuerpo.

$$k = \frac{\textit{presión}}{\Delta v}$$

- Las constantes elásticas anteriores están íntimamente relacionadas, y de ellas se derivan las constantes elásticas de Lammell.

$$\mu = \frac{E}{2(1 + \gamma)} = n$$

$$\lambda = \frac{\gamma E}{(1 + \gamma)(1 - 2\gamma)} = k - \frac{2}{3}\mu$$

5. Leyes que rigen la propagación de ondas sísmicas.

Las leyes que rigen la propagación del movimiento ondulatorio son las siguientes (Stein, 2003):

- Principio de Huyghens: Establece que cada punto de un frente de ondas actúa como una nueva fuente de ondas que se propaga en todas direcciones.
- Principio de Fermat: Establece que un rayo sísmico que va de un punto a otro sigue la trayectoria que produce el tiempo mínimo.
- Leyes de la refracción y reflexión:

Primera ley de Snell: el seno del ángulo incidente es igual al seno del ángulo reflejado.

$$\text{Sen } i = \text{Sen } R$$

Segunda ley de Snell: Establece la siguiente expresión matemática entre el rayo incidente y el rayo refractado:

$$\frac{\text{Sen } i}{\text{Sen } R} = \frac{V1}{V2}$$

Los principios antes mencionados guardan una estrecha relación con los siguientes conceptos (Del Valle, 1986):

- Frente de onda: es el lugar geométrico de todos los puntos que tienen el mismo estado de vibración.

- Trayectoria: es perpendicular al frente de onda e indica la dirección y sentido de propagación del movimiento ondulatorio.

6. Transmisión de ondas sísmicas.

Cuando un medio elástico es sometido a un esfuerzo, y posteriormente este desaparece se origina un movimiento ondulatorio, el cual se desplazará en todas direcciones a una velocidad V , la cual está definida por los módulos elásticos del medio de propagación. (Del Valle, 1986).

Al ocurrir este acontecimiento se generan distintos tipos de onda los cuales son (Udias, 1999):

- Ondas longitudinales: Son aquellas en las que el movimiento de la partícula se produce en la misma dirección de propagación, son las primeras en llegar en los terremotos y son las ondas que se utilizan en la prospección sísmica de refracción y reflexión.
- Ondas transversales: son aquellas en el que el movimiento de vibración de la partícula se produce en dirección perpendicular a la dirección de propagación, en este caso, si las partículas viajan de arriba a abajo se la onda se llama SV y si lo hacen en un plano horizontal se llaman SH.

Las velocidades de propagación de ambas ondas están relacionadas con las constantes elásticas de los medios de propagación, como a continuación se muestra:

$$V_L = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma)(1-2\sigma)}}$$

$$V_T = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\sigma)}}$$

- Ondas Raleigh: el movimiento de vibración se efectúa en un plano perpendicular a la dirección de propagación, su movimiento es elíptico y retrogrado.
- Ondas love: el desplazamiento de la partícula es solo horizontal y perpendicular a la dirección de propagación.

5.2 Prospección sísmica por refracción en Motozintla, Chiapas.

El estudio geofísico de refracción se realizó durante el mes de enero, 2010, durante el cual se obtuvieron siete perfiles sísmicos distribuidos sobre la cabecera municipal de Motozintla de Mendoza, Chiapas (Figura 11), con la finalidad de determinar las propiedades sísmicas del subsuelo. La metodología utilizada para realizar dicha prospección consta de las siguientes etapas (Guía de prospección sísmica por refracción, 2000):

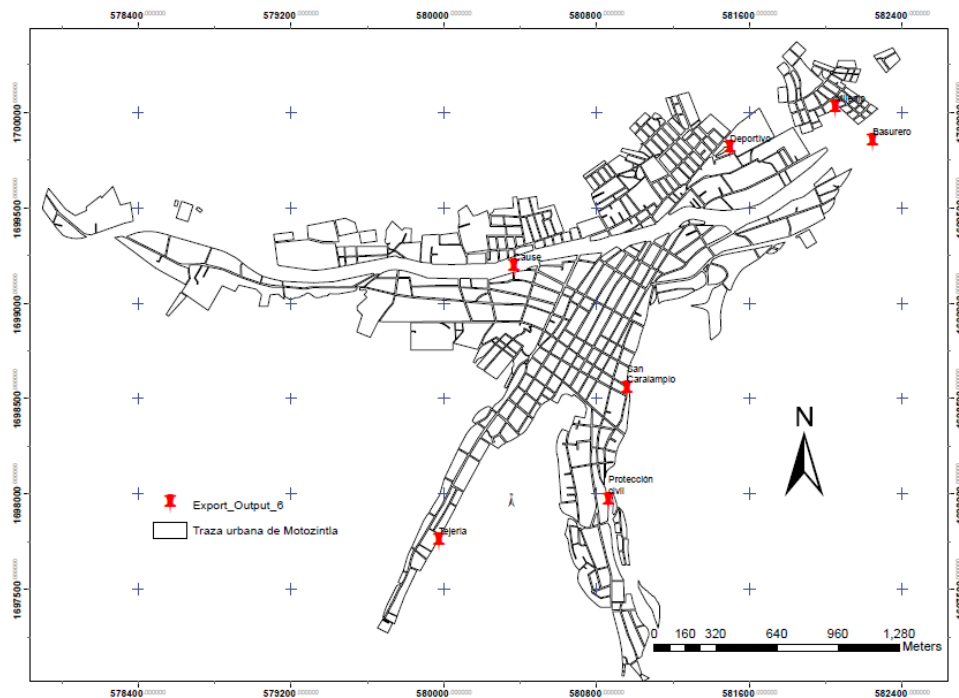


Figura 11. Ubicación de los 7 perfiles sísmicos realizados en el área de estudio.

5.2.1 Etapa 1: Recopilación de información.

Se utilizaron las siguientes fuentes de información:

a) Imágenes satelitales (Figura 12): Permitieron planear la posible ubicación geográfica de los perfiles sísmicos¹; conocer las condiciones del terreno tales como: vegetación, zona urbana, área de cultivo, taludes y la ubicación de las vías de acceso al lugar. Las características que debe reunir un terreno para realizar perfiles sísmicos son: longitud mayor a 40 metros, no debe estar pavimentado, debe ser un área plana, el tránsito de personas y automóviles debe ser mínimo.

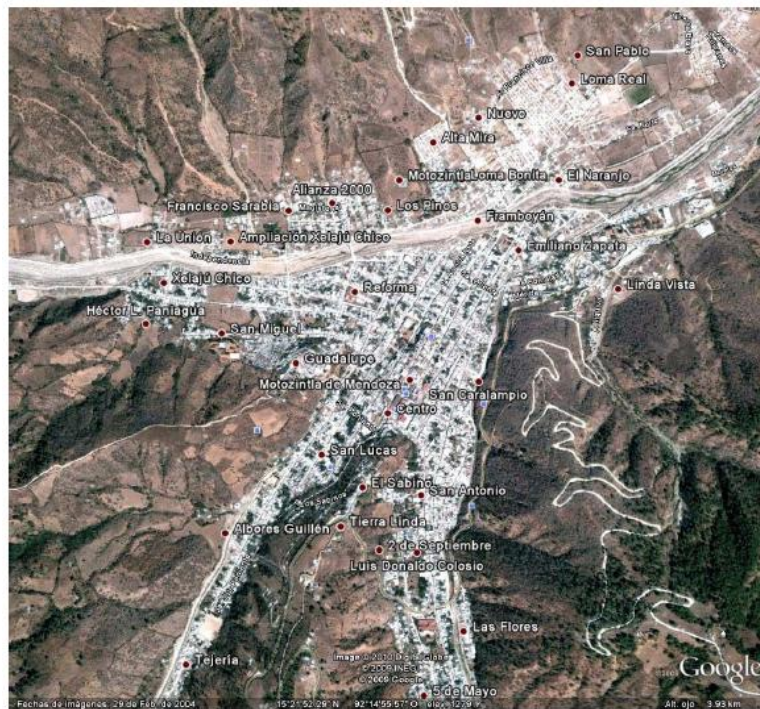


Figura 12: Imagen satelital del municipio de Motozintla de Mendoza, Chiapas.

c) Mapas topográficos: Permiten conocer las irregularidades del terreno.

¹ La planificación de los perfiles sísmicos fue realizado por la matemática Kerigma Larrazábal Garaviz, quien es parte del equipo de trabajo del departamento de sismología del Instituto de Geofísica de la UNAM, quienes son parte del proyecto de investigación multidisciplinario denominado “Construcción de escenarios de riesgo para la reducción de desastres: Proyecto piloto Sierra Madre y Planicie costera del estado de Chiapas”.

5.2.2 Etapa 2: Adquisición de datos.

Los elementos indispensables para realizar una prospección sísmica de refracción son:

- a) Fuente sísmica: Es el elemento generador de ondas sísmicas, por medio de él se genera la energía en el interior del subsuelo mediante explosiones, vibraciones, o percusiones. Esta energía produce ondas elásticas.
- b) Medio de propagación (rocas, aire, agua): elemento que se encarga de dispersar las ondas mecánicas en todas direcciones.
- c) Receptor: Registra los primeros arribos de las ondas sísmicas que siguen la trayectoria de tiempo mínimo.

Equipo necesario para generar, detectar y almacenar las ondas cónicas:

- a) Fuente sísmica: Fuente de impacto, consiste en un mazo de 8 kg.
- b) Placa de acero.
- c) Detectores: 24 geófonos verticales fabricados por la compañía Texas instruments.
- d) Cables de transmisión con una longitud de 120 m.
- e) Sismógrafo digital ES-3000 de 24 canales, marca Geometrics.

Procedimiento de adquisición de datos.

- a) Instalación de los equipos de los perfiles sísmicos: Los lugares designados para la instalación de los perfiles sísmicos se establecieron de acuerdo a la información recabada de las imágenes satelitales. La longitud de los perfiles está condicionada por las dimensiones del terreno, el acceso, y la disposición de la población para permitir dicha prospección sísmica.
- b) Medición de la longitud del terreno y señalización de los sitios donde se instalará los detectores y las fuentes.
- c) Obtención del rumbo y ubicación geográfica de los sitios donde se instalará el tendido sísmico.

- d) Colocación de los geófonos en la superficie del terreno lo más vertical posible, con el fin de no perder sensibilidad y para que su movimiento sea uniforme con el medio elástico.
- e) Conexión de los sensores al cable transmisor (la conexión entre los detectores y el cable de transmisión es mediante enchufes tipo caimán).
- f) Conexión del cable al sismógrafo y este a la computadora.
- g) Verificación desde la computadora que no existiesen circuitos abiertos originados por geófonos no conectados. Análisis del nivel de ruido ambiental.
- h) Realización de un ensayo para establecer el tiempo de registro. (Para poder definirlo se hace una prueba, que consiste en asignar un intervalo de registro lo suficientemente grande para que la señal sea detectada por todos los geófonos, se procede a golpear la placa metálica y se observa el tiempo que tarda en arribar la señal al último detector, posteriormente se ajusta el tiempo de registro).
- i) Obtención del registro: Se golpea con fuerza la placa de acero con el mazo (la placa que apenas se deforma reparte toda la fuerza del golpe a lo largo de la superficie por lo que la presión es pequeña y la deformación del suelo se mantiene dentro del límite elástico) en ambos extremos y en el centro del perfil sísmico, enseguida las señales sísmicas son registradas en un dispositivo de almacenamiento permanente.

Parámetros utilizados para la adquisición de los siete perfiles (Figura 13).

| | |
|--|---|
| <p><i>Perfil 1 (Cancha de futbol, ubicada sobre el cauce del rio Xelajú, entre los puentes Las Brisas e Insurgentes).</i></p> <p>Fecha de realización: 26-01-10 Ubicación geográfica: P 0580367 1699184 Altura: 1271</p> <p>Rumbo del perfil sísmico: N64E^º Distancia fuente primer receptor: 2.5 [m]. Distancia fuente 2: 31.25 [m]. Distancia entre receptores: 2.5 [m]. Longitud del perfil sísmico: 60 [m]. Duración del registro: 130 [mseg]</p> | <p><i>Perfil 2 (Deportivo Av. Morelos)</i></p> <p>Fecha de realización: 26-01-10 Ubicación geográfica: P0581496 1699804 Altura: 1237</p> <p>Rumbo del perfil sísmico: S61^ºE, 02^º Distancia fuente primer receptor: 2.5 [m]. Distancia fuente 2: 31.25 [m]. Distancia entre receptores 2.5 [m]. Longitud del perfil sísmico: 60 [m]. Duración del registro: 130 [mseg]</p> |
| <p><i>Perfil 3 (Tejería sobre la calle 5^a Sur)</i></p> <p>Fecha de realización: 27-01-10 Ubicación geográfica: P0579973 1697748 Altura: 1334</p> <p>Rumbo del perfil sísmico: S54^ºW, 03^º Distancia fuente primer receptor: 2 [m]. Distancia fuente: 2.23[m]. Distancia entre receptores: 2 [m]. Longitud del perfil sísmico: 48 [m]. Duración del registro: 130 [mseg]</p> | <p><i>Perfil 4 (San Caralampio, entre las calles 10^a sur – central oriente)</i></p> <p>Fecha de realización: 27-01-10 Ubicación geográfica: P0580958 1698544 Altura: 1274</p> <p>Distancia fuente primer receptor: 2 [m]. Distancia fuente: 2.23 [m]. Distancia entre receptores: 2 [m]. Longitud del perfil sísmico: 48 [m]. Duración del registro: 130 [mseg]</p> |
| <p><i>Perfil 5 (Frente a Protección Civil.)</i></p> <p>Fecha de realización: 28-01-10 Ubicación geográfica: P0580861 1697959 Altura: 1322</p> <p>Rumbo del perfil sísmico: S 75^ºE, 5^º Distancia fuente primer receptor: 2.5 [m]. Distancia fuente 2: 31.25 [m]. Distancia entre receptores: 2.5 [m]. Longitud del perfil sísmico: 60 [m]. Duración del registro: 130 [mseg]</p> | <p><i>Perfil 6 (Basurero)</i></p> <p>Fecha de realización: 28-01-10 Ubicación geográfica: P0582245 1699842 Altura: 1217</p> <p>Rumbo del perfil sísmico: S 45^ºW, 0^º Distancia fuente primer receptor: 2.5 [m]. Distancia fuente 2: 31.25 [m]. Distancia entre receptores: 2.5 [m]. Longitud del perfil sísmico: 60 [m]. Duración del registro: 130 [mseg]</p> |

Perfil 7 (Milenio)

Fecha de realización: 29-01-10
 Ubicación geográfica: P0582049
 1700018
 Altura: 1234
 Distancia fuente primer receptor: 3 [m].
 Distancia fuente2: 34.5 [m].
 Distancia entre receptores: 3 [m].
 Longitud del perfil sísmico: 72 [m].
 Duración del registro: 130 [mseg]

Figura 13. Parámetros de los siete perfiles sísmicos.

En la Figura 14 se aprecia la distancia, distribución de los 24 geófonos, y las distintas posiciones de la fuente sísmica.

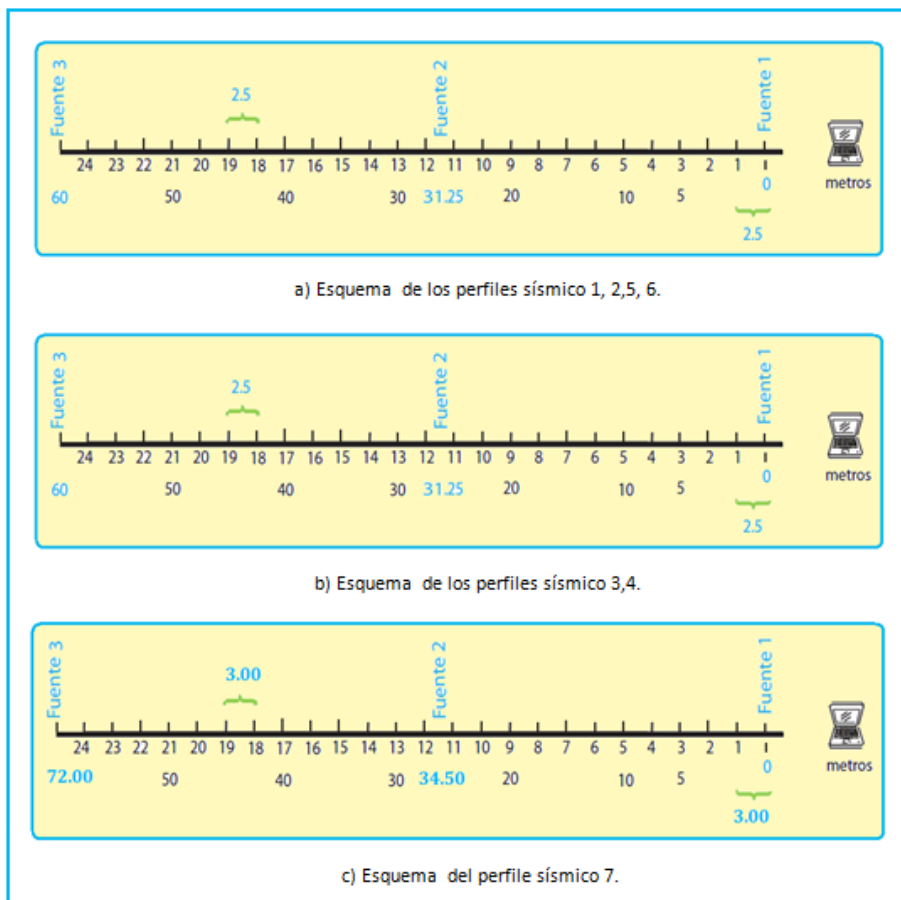


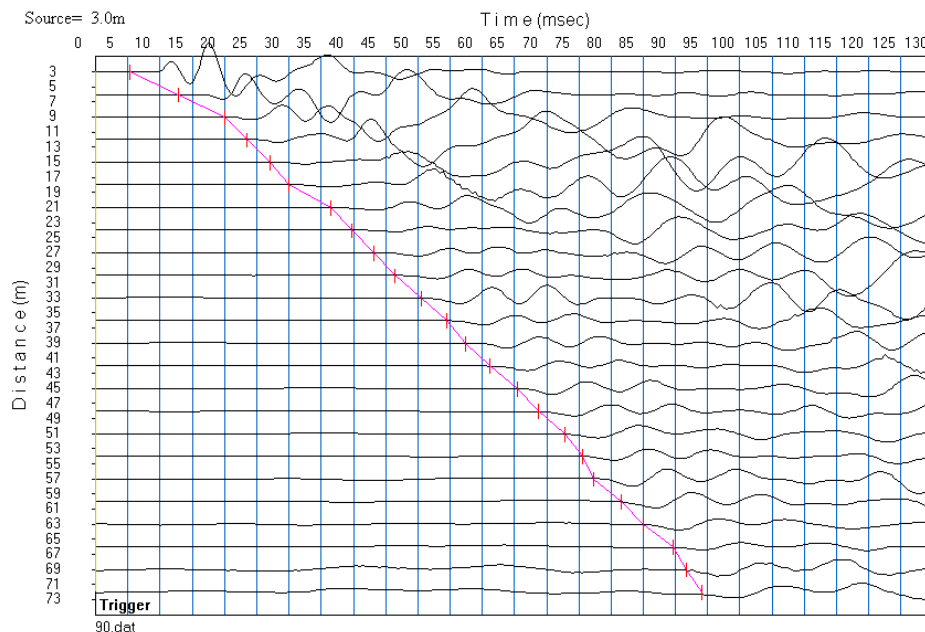
Figura 14. Distribución de los 24 detectores, y las posiciones de la fuente sísmica de los siete perfiles sísmicos.

5.2.3 Etapa 3: Procesamiento.

El procesamiento de los registros de ondas refractadas involucra:

- a) Lectura de los tiempos de los primeros arribos de las trazas sísmicas: Para cada perfil sísmico se obtiene en campo varios registros de las distintas posiciones en que fue colocada la fuente (en los extremos y en el centro del perfil). Para marcar la llegada de la onda sísmica se utilizó el programa SeisImager_e (REFRACCION Pickwin95) el cual permite, entre otras cosas, analizar los tiros de ida, de vuelta y del centro, modificar la amplitud, cambiar los parámetros de tiempo, distancia, sus unidades, distancia de la fuente, distancia de la fuente al primer detector, distancia entre detectores y sobre todo identificar el instante en que la perturbación se presenta.

En la Figura 15 se presentan los registros de refracción sísmica de los primeros arribos de la onda P correspondientes al tiro de ida, vuelta y central del séptimo perfil sísmico.



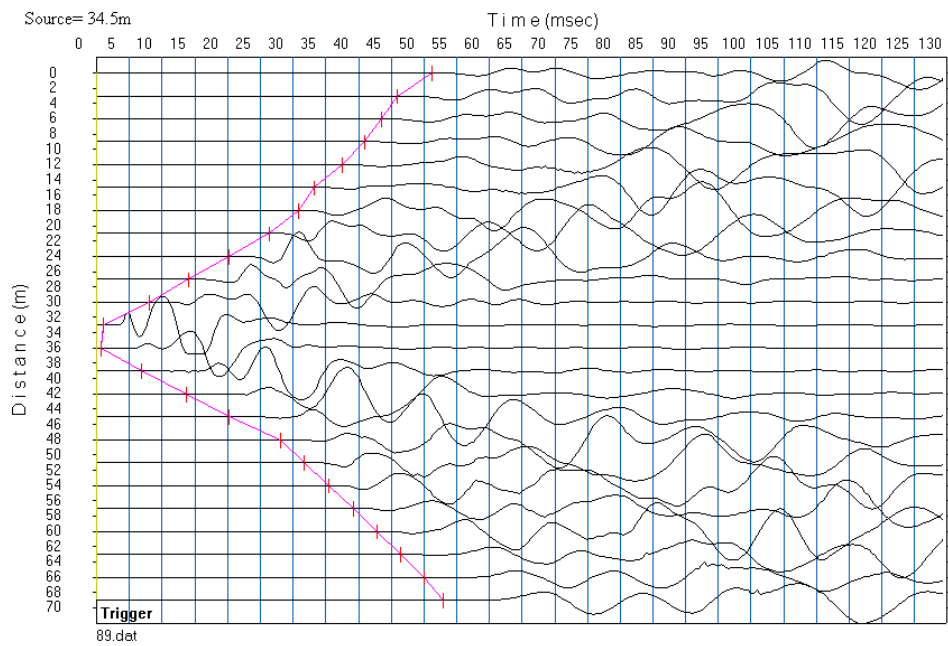
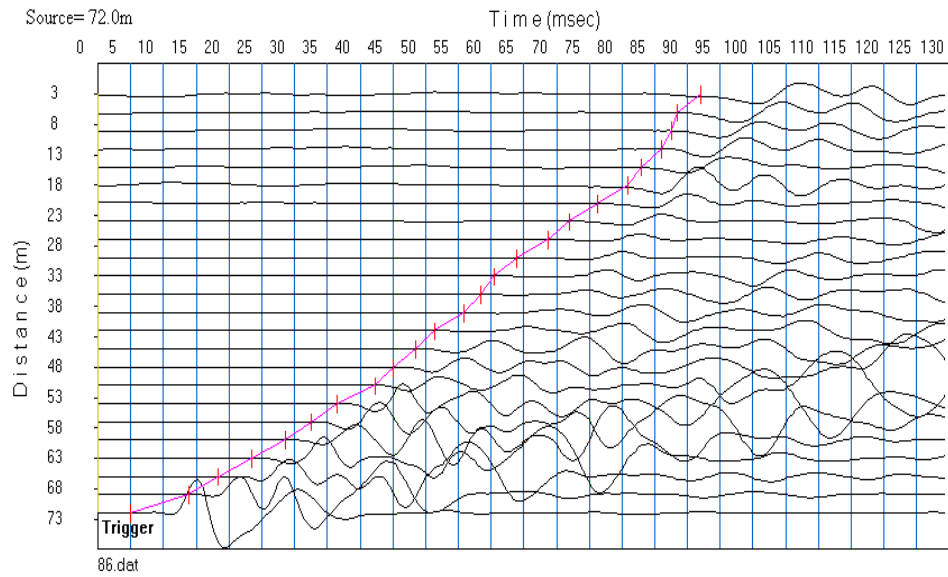


Figura 15. Registros de refracción sísmica que muestran los primeros arribos de la onda P correspondientes al tiro de ida, vuelta y central del séptimo perfil sísmico.

Considerando los siete perfiles sísmicos de refracción realizados en Motozintla, Chiapas, se obtuvo un total de 72 registros los cuales se analizaron con el software REFRACCION Pickwin95. Este programa proporciona el tiempo que tarda la onda

P en ser detectada por cada sensor, muestra los resultados a través de la creación de un archivo txt, el cual indica el número de geófono, la distancia y el tiempo en que se detecta la onda P (Figura 16).

```

1996 0 3.000000
0 1 2.500000
60.000000 24 0.000000
0.000000 92.005386 1
2.500000 89.898392 1
5.000000 88.786369 1
7.500000 84.806488 1
10.000000 80.182808 1
12.500000 79.051277 1
15.000000 77.395164 1
17.500000 71.750008 1
20.000000 67.250008 1
22.500000 64.380356 1
25.000000 62.156311 1
27.500000 61.336922 1
30.000000 57.250008 1
32.500000 53.000008 1
35.000000 51.250008 1
37.500000 47.750004 1
40.000000 44.500004 1
42.500000 38.750004 1
45.000000 33.741131 1
47.500000 28.500004 1
50.000000 23.723186 1
52.500000 18.572758 1
55.000000 10.808097 1
57.500000 5.735704 1
0 0
0
0 0

```

Figura 16. Archivo txt generado por el programa REFRACCION Pickwin95 que muestra el número de geófono, la distancia y el tiempo de arribo de la onda P.

La información almacenada en todos los archivos txt se almacenan en formato xlt. El programa también conjunta todos los registros de cada perfil sísmico de acuerdo a la posición de la fuente lo que permite obtener el promedio de cada uno de ellos.

5.2.4 Creación y análisis de gráficos tiempo-distancia (Domocrónicas).

Para obtener las domocrónicas, los tiempos de trayectoria de la onda P y el promedio de todos los registros adquiridos al colocar la fuente en los extremos y al centro del perfil sísmico se concentran en una misma grafica, en la cual el eje de las abscisas corresponde a la posición (distancia) de cada detector y el eje de las ordenadas al tiempo de arribo de las ondas sísmicas. Posteriormente se trazan rectas que mejor se ajusten a las funciones generadas en la grafica tiempo-distancia (las rectas representan las capas del subsuelo, la pendiente corresponde al inverso de la velocidad).

En la Figura 17 se presentan las domocrónicas correspondientes a los siete tendidos sísmicos realizados en el área de estudio.

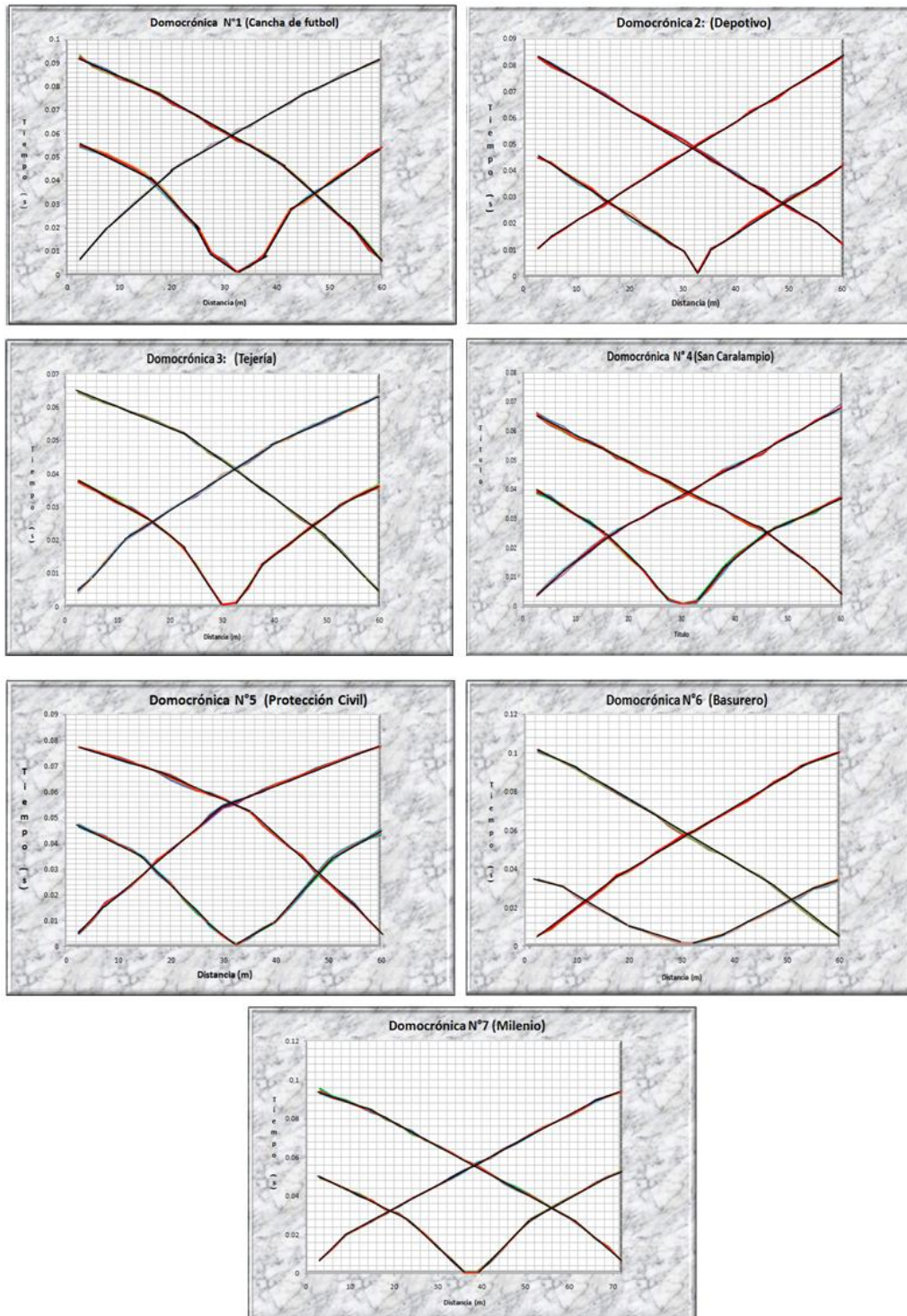


Figura 17. Domocrónicas correspondientes a los siete registros sísmicos de refracción

5.2.5 Determinación de las velocidades de propagación de las ondas sísmicas, cálculo del periodo del suelo.

Para obtener las velocidades de propagación de las ondas sísmicas y el espesor de capas múltiples conformadas por materiales de velocidades contrastantes se emplea la ecuación del tiempo total que relaciona los ángulos de incidencia y la velocidad de cada capa (Del Valle, 1986). La ecuación (en todos los casos representa una línea recta) para cualquier número de contactos es:

$$T_0 = \frac{X}{V_0}$$

$$T_1 = \frac{X}{V_1} + \frac{2Z_0\sqrt{V_1^2 - V_0^2}}{V_0V_1}$$

$$T_2 = \frac{X}{V_2} + \frac{2Z_0\sqrt{V_2^2 - V_0^2}}{V_0V_2} + \frac{2Z_1\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1V_2}$$

$$T_3 = \frac{X}{V_3} + \frac{2Z_0\sqrt{V_3^2 - V_0^2}}{V_0V_3} + \frac{2Z_1\sqrt{V_3^2 - V_1^2}}{V_1V_3} + \frac{2Z_2\sqrt{V_3^2 - V_2^2}}{V_2V_3}$$

$$T_4 = \frac{X}{V_n} + \frac{2Z_0\sqrt{V_n^2 - V_0^2}}{V_0V_n} + \frac{2Z_1\sqrt{V_n^2 - V_1^2}}{V_1V_n} + \dots + \frac{2Z_{n-1}\sqrt{V_n^2 - V_{n-1}^2}}{V_{n-1}V_n}$$

Donde:

T_0, T_1, T_2, T_3 y T_4 representa el tiempo total que tarda en arribar una onda sísmica a un detector, al propagarse en cero, uno, dos, tres y cuatro contactos.

X es la distancia del tendido sísmico.

V es la velocidad de propagación de la onda refractada en un determinado medio.

Z es el espesor de cada capa.

El primer término en X representa la pendiente y el resto de los términos la ordenada al origen. La velocidad de la onda de corte se cálculo con la expresión:

$$V_s = \frac{V_p}{\sqrt{3}}$$

El periodo del suelo se cálculo con la ecuación:

$$T_c = \frac{4 * H}{V_s}$$

Donde:

Tc es el periodo del suelo obtenido con refracción sísmica.

H es el espesor de los medios refractores.²

Vs es la velocidad de las ondas de corte.

Los resultados (velocidad y espesor de capa) de los siete perfiles sísmicos realizados en el área de estudio se presentan en la Tabla 24.

² Espesor que se requiere para tener un periodo similar al obtenido con microzonificación sísmica

Tabla 24. Velocidad y espesor de capa para cada registro sísmico de refracción.

| Registro Sísmico | N° de Capa | Espesor [m] | Velocidad onda "P" [m/s] | Velocidad onda "S" [m/s] | Periodo calculado [Tc] |
|---|------------|-------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| Registro Sísmico N°1 (Canchas de fútbol) | Primera | 47 | 102.28 | 59.05 | 0.48 |
| | Segunda | | 226.57 | 130.81 | |
| | Tercera | | 311.10 | 179.61 | |
| | Cuarta | | 527.12 | 304.33 | |
| Registro Sísmico N° 2 (Deportivo) | Primera | 40 | 220.05 | 127 | 0.39 |
| | Segunda | | 612.16 | 353 | |
| Registro Sísmico N° 3 (Tejería) | Primera | 10 | 193.07 | 111.47 | 0.09 |
| | Segunda | | 232.15 | 134.03 | |
| | Tercera | | 517.47 | 298.76 | |
| | Cuarta | | 1416.09 | 817.58 | |
| Registro Sísmico N° 4 (San Caralampio) | Primera | 32 | 259.92 | 150.07 | 0.48 |
| | Segunda | | 415.18 | 237.71 | |
| | Tercera | | 648.53 | 374.43 | |
| Registro Sísmico N° 5 (Protección Civil) | Primera | 23 | 471.29 | 273.10 | 0.20 |
| | Segunda | | 586.24 | 338.47 | |
| | Tercera | | 1302.47 | 751.98 | |
| Registro Sísmico N° 6 (Basurero) | Primera | 54 | 492.57 | 284.38 | 0.45 |
| | Segunda | | 633.87 | 365.97 | |
| | Tercera | | 1364.01 | 787.51 | |
| Registro Sísmico N° 7 (Milenio) | Primera | 60 | 491.41 | 283.71 | 0.49 |
| | Segunda | | 811.02 | 468.24 | |
| | Tercera | | 1198.88 | 692.18 | |

CAPITULO 6: CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DEL SUELO.

6.1 Introducción.

Para determinar la amplificación y el periodo dominante del suelo primero se debe calcular la Función de Transferencia Empírica (FTE). Posteriormente, con base en ella se obtiene la Función de Transferencia Empírica Promedio (FTEP), mediante el análisis de registros de microtemores, los cuales de acuerdo a Yauri (2006) se definen como vibraciones aleatoria inducidas en la superficie de la tierra por medio de fuentes artificiales (vehículos, peatones, maquinaria, explosiones, etc.) o por fuentes naturales (oleaje, viento, la presión atmosférica, la actividad volcánica) (Tabla 25).

Tabla 25. Posible fuente generadora de microtemores y su rango de frecuencia (Bard ,1998; tomado de Flores, 2001)

| Fuente. | Periodo | Rango de frecuencia |
|---|-------------|----------------------------|
| Son causadas por las ondas oceánicas que ocurren a grandes distancias | largos | Por debajo de 0.3 a 0.5 Hz |
| Son generadas por las olas del mar cercanas a la costa | intermedios | Entre 0.3-0.5 Hz y 1 Hz |
| Estas fuentes se relacionan con actividades antrópicas | cortos | Frecuencias mayores a 1 Hz |

6.2 Cálculo del periodo dominante de vibración del suelo con microtemores.

A través del los microtemores se pude evaluar el efecto de sitio, el cual se define como la respuesta sísmica que presenta un determinado lugar ante el paso de las ondas sísmicas.

6.2.1 Técnica de Nakamura.

La “Técnica de Nakamura” propuesta en 1989, permite obtener los periodos fundamentales de vibración del suelo por medio del análisis e interpretación de microtemores.

En primera instancia para poder determinar la FTE se debe obtener un estimativo del efecto de sitio (SE) por medio de la expresión:

$$S_E = \frac{H_S(w)}{H_B(w)}$$

Donde: H_S es el espectro de la componente horizontal superficial. H_B es el espectro de la componente horizontal en donde se origina el movimiento. Posteriormente, para calcular el efecto de sitio se debe eliminar el efecto de las ondas superficiales (A_S) que están inmersas en el espectro de ondas verticales superficiales (V_S) de las micro-trepidaciones y no en la base del movimiento (V_B):

$$A_S(w) = \frac{V_S(w)}{V_B(w)}$$

Al eliminar el efecto producido por las ondas Raleigh el efecto de sitio queda determinado por la función:

$$S_M = \frac{S_E(w)}{A_S(w)} = \frac{H_S / V_S}{H_B / V_B}$$

Sin embargo Nakamura (1989) demostró que:

$$\frac{H_B(w)}{V_B(w)} \approx 1$$

Por lo tanto, la técnica de Nakamura muestra que a partir de la relación de cocientes espectrales entre la componente vertical y la componente horizontal de un mismo sitio se puede obtener una estimación del efecto de sitio para las ondas internas por medio de la expresión:

$$S_M(w) = \frac{H_S(w)}{V_S(w)} :$$

6.2.2 Registro de vibración ambiental: equipo de medición.

Para el registro de los microtremores se utilizaron dos acelerómetros digitales marca KINEMATRICS, modelo Altus K-2 (Figura 18).



Figura 18. Acelerómetro marca KINEMATRICS, modelo Altus K-2.

6.2.3 Trabajo de campo.

La adquisición de los registros de microtremores se realizó del 24 al 30 de enero del 2010. Durante este periodo se obtuvieron 228 registros de ruido ambiental.

En la Figura 19 se muestra la cabecera municipal de Motozintla, Chiapas, en donde se registraron 228 microtremores, a partir de los cuales se determinó el comportamiento dinámico del suelo estimando la FTE.

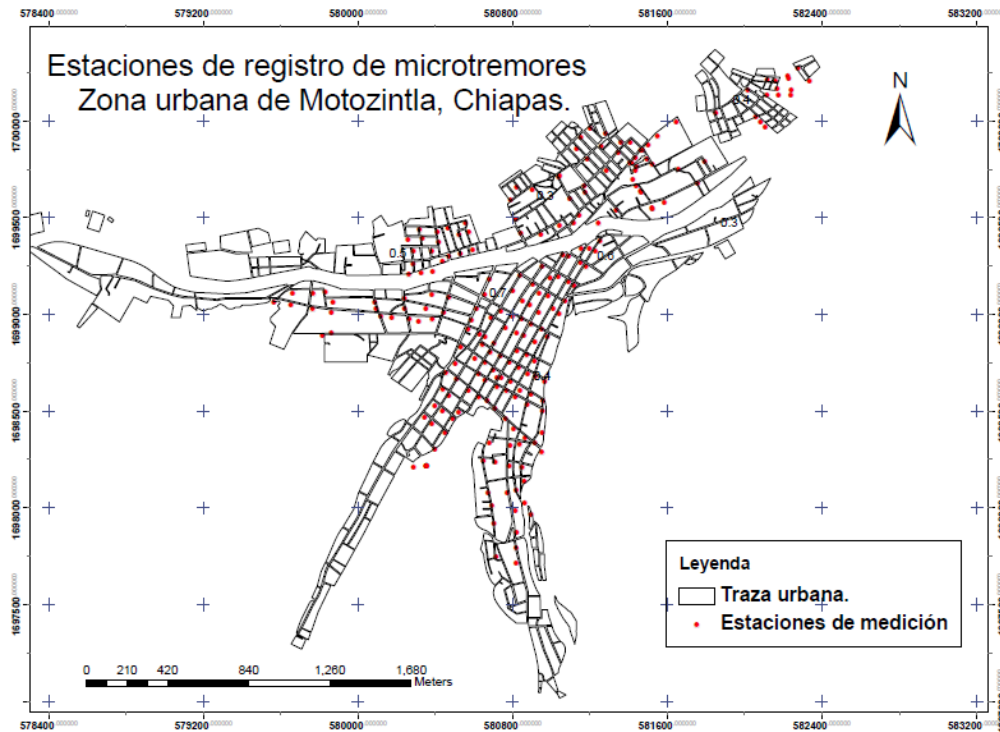


Figura 19. Localización de las 228 estaciones de medición de ruido ambiental.

En cada estación de medición se efectuó un muestreo con una duración promedio de 120 segundos. Para asegurar una correcta adquisición de los registros sísmicos, el equipo de registro se niveló considerando que la componente sur del movimiento corresponde al norte- sur geográfico y análogamente la componente este-oeste.

6.2.4 Procesamiento de las señales.

Posterior a la adquisición de registros de vibración ambiental se inició su procesamiento, el cual se describe a continuación (Figura 20).

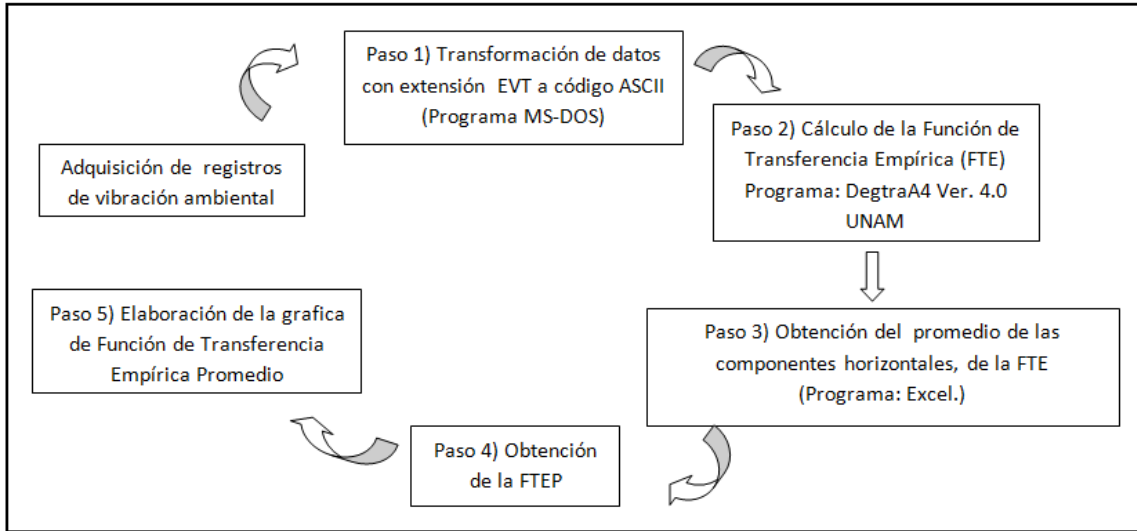


Figura 20. Metodología para el procesamiento de microtremores

Paso 1) Los archivos que proporciona el acelerómetro tienen la extensión EVT que presenta un código binario y las amplitudes están dadas en milivolts. Estos archivos fueron transformados a código ASCII por medio del sistema operativo MS-DOS y el programa KW2ASC que genera tres archivos correspondientes a la componente norte-sur, este-oeste y a la vertical del movimiento del suelo.

Paso 2), Calculo de la Función de Transferencia Empírica o cocientes espectrales de las componentes N-S, E-W sobre la componente vertical para cada registro adquirido en campo por medio del programa Degtra A4 ver. 4.0.7, UNAM (Ordaz y Montoya, 2003).

La metodología para la obtención de la FTE es:

- a) Visualización de los acelerogramas, correspondientes a la componente horizontal (N-S, E-W) y vertical de vibración del suelo (Figura 21).

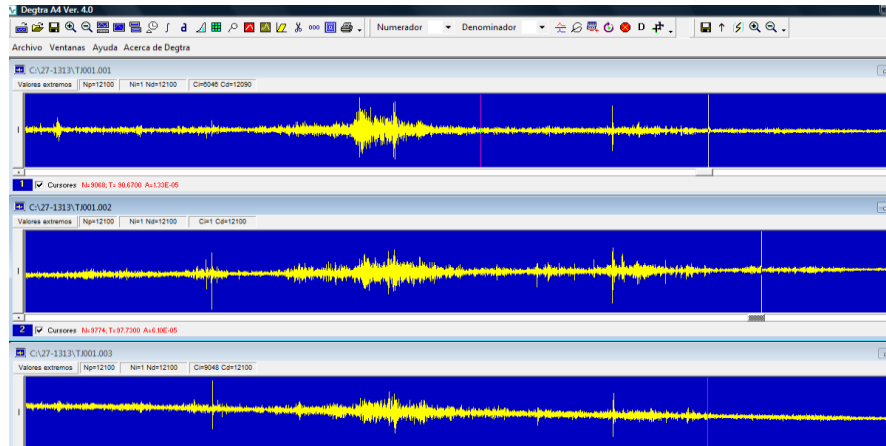


Figura 21. Componente horizontal y vertical del registro de microtremor TH.

- b) Designación del Diferencial de Tiempo: 0.01 seg.
- c) Corrección de línea base (modo normal).
- d) Selección de 5 ventanas en cada señal sísmica, discriminando las señales transitorias (causadas principalmente por vehículos y peatones cercanos a los instrumentos) presentes en los registros.
- e) Obtención del Espectro de Fourier (Figura 22) utilizando 4096 puntos (NTF), un suavizado (utilizado para visualizar el espectro de amplitudes) igual a seis y un “tapering” de 5 % (Función cosenoidal cuya longitud, al inicio y al final de la señal, es una fracción de su longitud total).

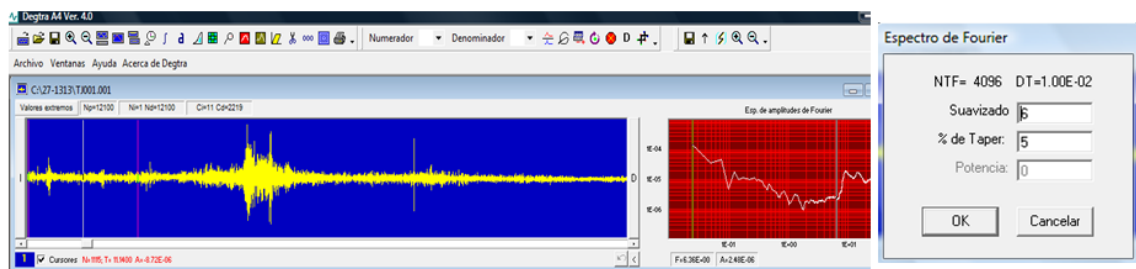


Figura 22. Espectro de Fourier del registro de microtremor TH.

- f) Cálculo de la Función de Transferencia Empírica (Figura 23) con la “Técnica de Nakamura” (HVNR) descrita anteriormente.

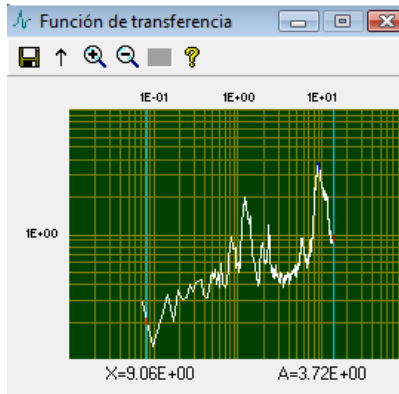


Figura 23. Espectro de Fourier del registro de microtremor TH.

Paso 3) Determinación del promedio de las componentes norte-sur, este-oeste, para cada punto, a través de los valores proporcionados por la Función de Transferencia Empírica (amplitud v/s frecuencia) de cada punto de medición con ayuda del programa Excel.

Paso 4) Obtención de la Función de Transferencia Empírica Promedio (FTEP), a partir del promedio de cada componente de la FTE. En la Figura 24 se presenta un ejemplo de las componentes horizontales del un punto de medición TH, donde se han graficado con líneas delgadas los cocientes espectrales de las cinco ventanas seleccionadas y con línea gruesa su promedio.

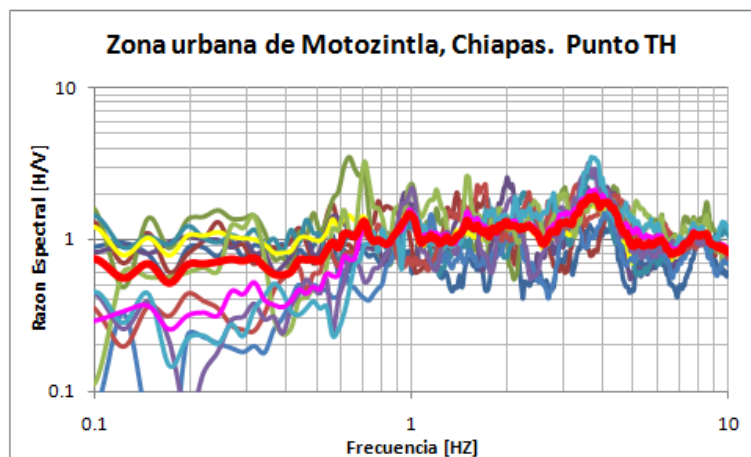


Figura 24. Ejemplo de FTE (líneas de delgadas) y FTEP (línea gruesa de color rojo) de la estación de registro TH.

6. 3 Cálculo de amplificación y periodo dominante del suelo con sismos.

La FTE obtenida con los métodos empíricos “Razón Espectral Estándar (SSR)” y “Nakamura con sismos (HVSR)” a través del análisis de movimientos fuertes se describe a continuación:

- a) El método Razón Espectral Estándar (SSR) requiere mediciones de dos estaciones sísmicas (estación de referencia y estación de interés) que deberán registrar el mismo evento sísmico. La estación de referencia se coloca sobre un terreno firme (roca sana o lo menos alterada posible). La estación de interés se posiciona sobre el sitio donde se desea conocer el efecto de sitio (Lermo y Chávez-García, 1994a, b).

La desventaja de esta técnica es que necesita registros simultáneos en las estaciones del sitio de interés y en el de referencia, también puede ser complicado definir la ubicación de la estación de referencia, ya que su respuesta ante un movimiento sísmico debe ser mínima.

- b) Técnica de Nakamura con sismos (HVSR): Esta técnica fue propuesta por Lermo y Chávez-García (1993), a diferencia de la técnica anterior no requiere de una estación de referencia. Su metodología consiste en dividir el espectro de amplitud de Fourier de la componente horizontal entre el espectro de la componente vertical (H/V) de la onda de corte ya que considera que solo la componente horizontal del movimiento es afectada por las condiciones locales del suelo.

Para calcular las FTE con los datos sísmicos a través de la técnica de Nakamura (HVSR), se empleó la misma metodología utilizada en registros de microtemores.

Lermo y Chávez García (1993) al evaluar esta técnica concluyeron que los resultados del valor de la frecuencia y amplitudes de resonancia son semejantes a las obtenidas con la SSR. Al igual que la técnica anterior, ésta requiere de una geología relativamente simple.

6.4 Determinación de familias (función de transferencia empírica promedio) de acuerdo a la forma espectral.

A medida que se analizaron las 228 FTEP obtenidas de registros de microtemores se clasificaron en tres grupos, de acuerdo al rango de frecuencia en que se presenta la máxima amplitud de onda (Tabla 26).

Tabla 26. Clasificación de la FTEP de acuerdo a la forma espectral que presentan.

| ZONA | FRECUENCIA [Hz] |
|----------|-----------------|
| Firme | ----- |
| Moderada | 3-10Hz. |
| Blanda | 1-3 Hz |

ZONA FIRME. Los promedios de la FTEP no muestran ningún máximo espectral notorio, y en algunos casos se observa un decaimiento en la razón espectral (Figura 25).

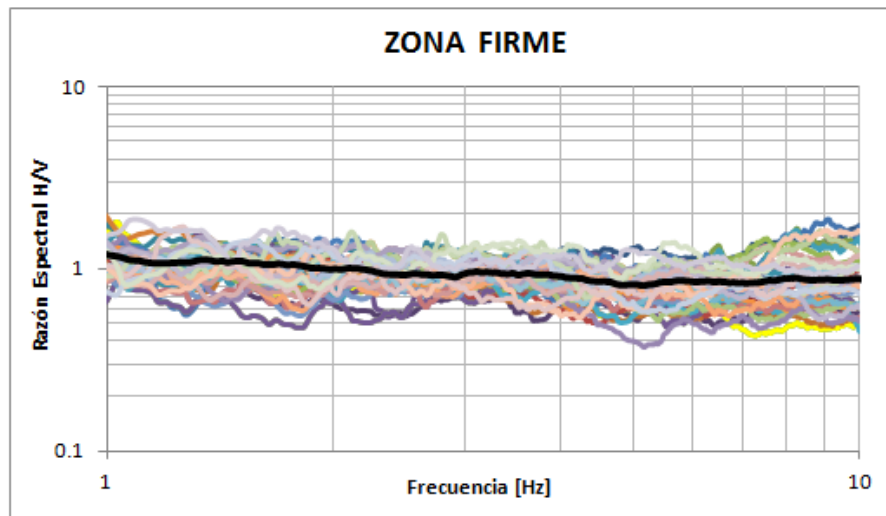


Figura 25. Zona Firme: Promedio de las FTEP (línea gruesa), FTEP (líneas delgadas).

Para la zona denominada como ZONA MODERADA se agruparon los promedios de las FTEP que presentan como característica común un máximo espectral alrededor de la frecuencia de 3.5 Hz (Figura 26).

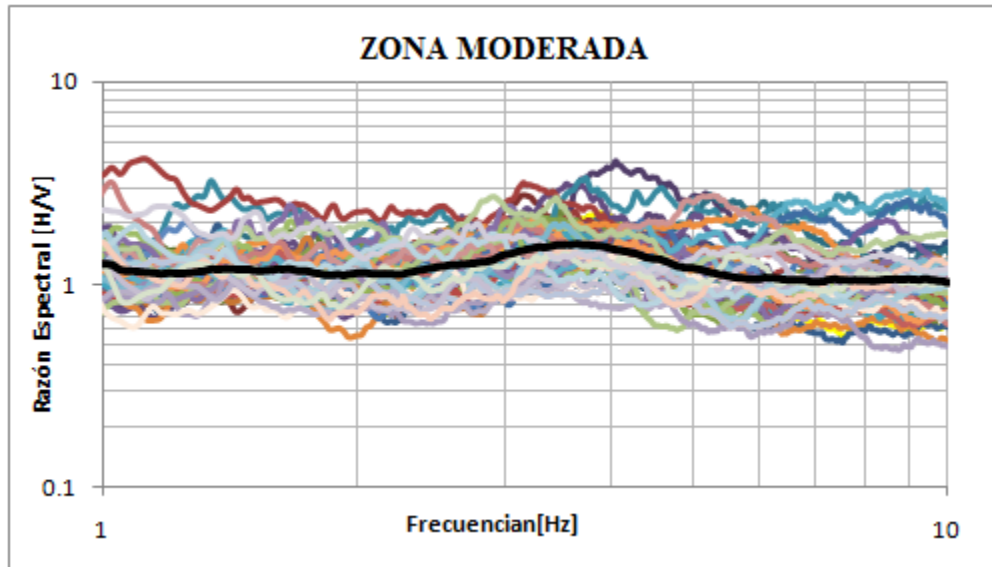


Figura 26. Zona Moderada: Promedio de las FTEP (línea gruesa), FTEP (líneas delgadas) que presentan su máximo espectral alrededor de 3.5 Hz.

Para finalizar la tercera zona se nombró como ZONA BLANDA en la que se agruparon los promedios de las FTEP que presentan como característica común un máximo espectral alrededor de la frecuencia de 2.5 Hz (Figura 27).

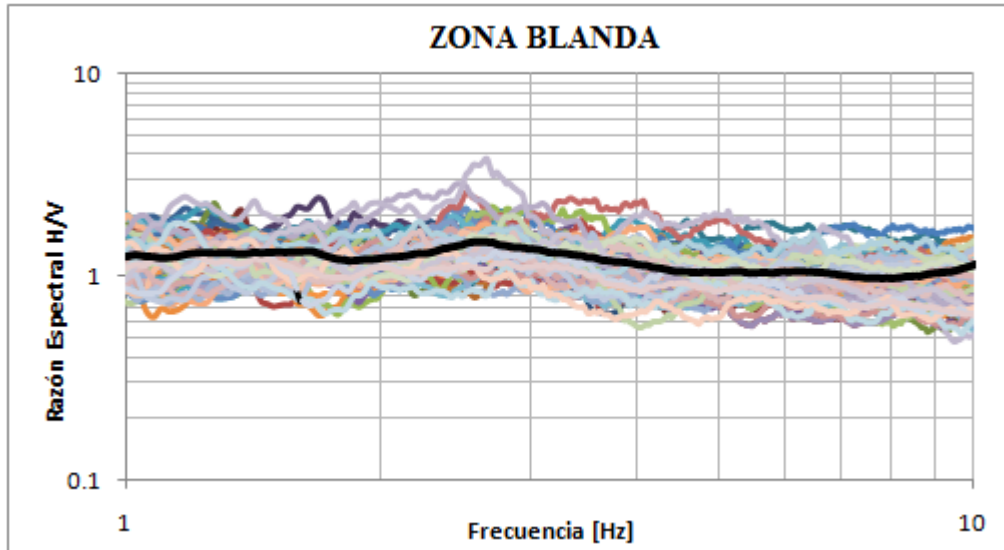


Figura 27. Zona Blanda: Promedio de las FTEP (línea gruesa), FTEP (líneas delgadas) que presentan su máximo espectral alrededor de 2.5 Hz.

6.5 Determinación del periodo dominante de vibración del suelo.

Para identificar la distribución del periodo dominante de vibración del suelo, es necesario generar curvas de isoperiodos. La metodología para la elaboración de curvas de isoperiodos es la siguiente:

- a) Localización de los 228 sitios de medición en un Sistema de Información Geográfica (SIG) utilizando el software ArcMap, versión 9.3.
- b) Interpolación de los períodos dominantes obtenidos en cada punto de medición mediante el método de geo-estadística Kriging cuya teoría establece que una variable sigue un mismo patrón dentro de un área determinada. El resultado de esta interpolación permite desplegar la influencia de los datos obtenidos sobre un cierto entorno a una determinada distancia.
- c) Digitalización de las zonas sísmicas que presentan el mismo comportamiento dinámico del suelo.

- d) Elaboración de una base de datos que contenga las coordenadas (UTM) y el valor del periodo de la periferia de cada zona sísmica.

- e) Generación de curvas de isoperiodos³ utilizando el programa Sorfer versión 8 mediante la aplicación del método estadístico de interpolación Kriging (Figura 28) al valor del periodo correspondiente a cada punto geográfico.

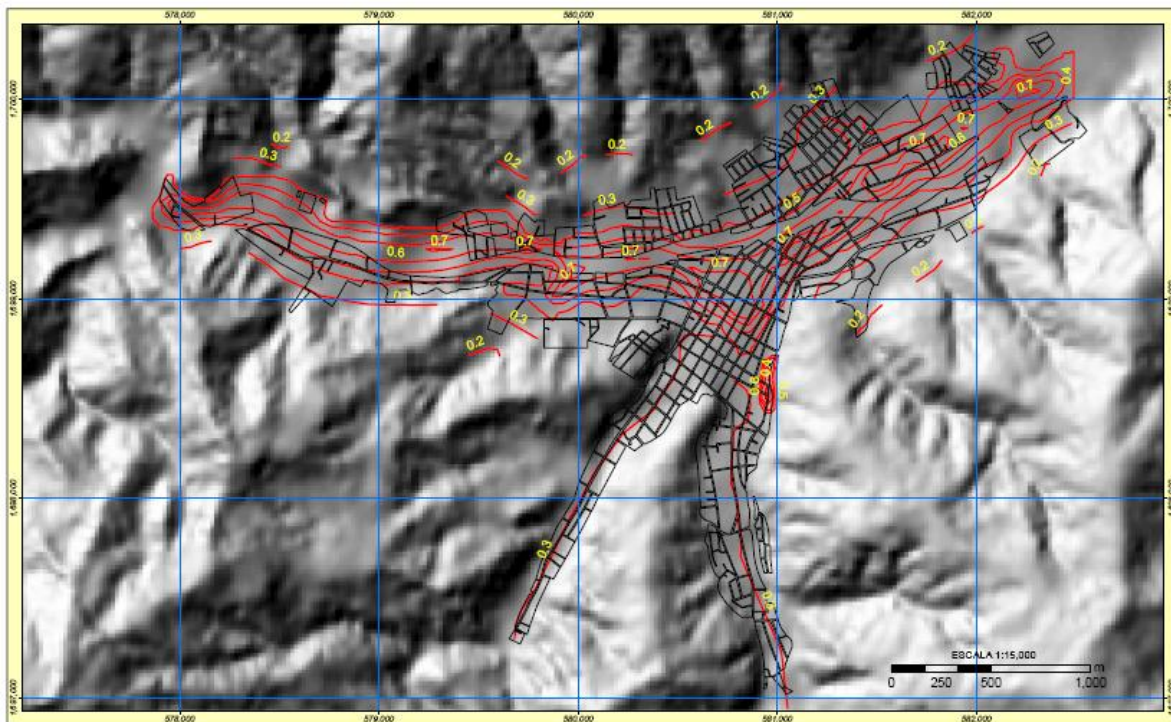


Figura 28. Curvas de isoperiodos

³ Las curvas de isoperiodos y la clasificación sísmica de la zona urbana de Motozintla en donde no fue posible realizar mediciones de la vibración del suelo, fueron definidas al considerar una alta probabilidad de que las áreas con una geología similar deben presentar la misma respuesta sísmica.

CAPITULO 7: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Para justificar la agrupación de la FTEP en tres familias espectrales, es necesario analizar en conjunto los resultados obtenidos con el método geofísico de sísmica de refracción, y las características sedimentológicas de las formas acumulativas del relieve de la zona de estudio.

Los resultados de los siete perfiles sísmicos realizados y obtenidos a través del análisis de las domocrónicas, permitieron inferir la velocidad de propagación de las ondas sísmicas y la profundidad de los medios refractores hasta 25 metros, aproximadamente. Los datos obtenidos son un buen indicador de algunas propiedades geológicas de los materiales debido, a que, permiten relacionar la velocidad de transmisión de las ondas sísmicas con el medio de propagación. De esta manera, se infirió de forma teórica el tipo y las características del suelo presentes en la región.

Los valores del periodo teórico calculados con los estudios de sísmica de refracción que se localizaron en diversos puntos del área de estudio dan sustento y validan los valores del periodo del suelo obtenidos a través del método microzonificación sísmica, ya que ambos valores por los dos métodos son similares (Tabla 27).

Tabla 27. Periodos del suelo obtenidos con los métodos geofísicas: refracción y microzonificación sísmica.

| Registro Sísmico | Periodo calculado con refracción sísmica [Tc] | Periodo obtenido con microzonificación sísmica [To] |
|---|--|--|
| Registro Sísmico N°1 (Canchas de futbol) | 0.48 | 0.5 |
| Registro Sísmico N° 2 (Deportivo) | 0.39 | 0.4 |
| Registro Sísmico N° 3 (Tejería) | 0.09 | 0.1 |
| Registro Sísmico N° 4 (San Caralampio) | 0.48 | 0.5 |
| Registro Sísmico N° 5 (Protección Civil) | 0.20 | 0.2 |
| Registro Sísmico N° 6 (Basurero) | 0.45 | 0.45 |
| Registro Sísmico N° 7 (Milenio) | 0.49 | 0.5 |

Las FTEP clasificadas como ZONA BLANDA, se agruparon de acuerdo a la posición de los registros de microtremores que presentan el mismo comportamiento dinámico, tomando en cuenta la ubicación de la parte más baja de la cuenca, mediante el análisis del modelo digital de la zona.

Al analizar la ubicación de la FTEP, para esta zona, destaca el hecho de que la mayoría de ellos se registraron en la parte más baja de la cuenca de Motozintla (dentro del antiguo y actual cause del río Xelajú); la forma espectral de esta zona indica que en este lugar el espesor de los sedimentos, en respecto al basamento, es mayor en comparación con las otras dos zonas propuestas.

Con el propósito de validar la FTEP y conocer la amplificación de las ondas sísmicas en la Figura 29 se presenta la FTE con el método estándar (SSR), la técnica de Nakamura (1989) para sismos y microtremores. En la grafica se observa que la mayor amplificación de las ondas sísmicas es de seis veces, en promedio las tres técnicas muestran que este valor se encuentra alrededor de los 2 Hz, lo cual concuerda con el ancho de banda establecido para la zona blanda que es de 1-3 Hz.

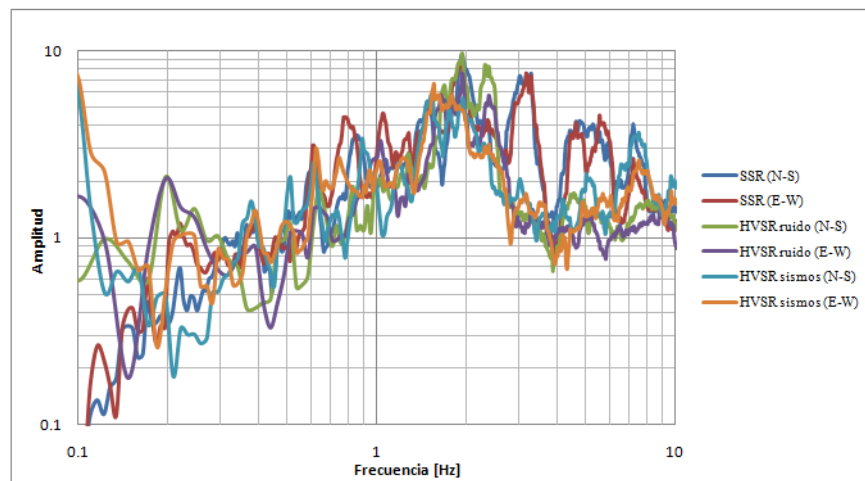


Figura 29. FTE determinada con el método “Razón Espectral Estándar” y la “Técnica de Nakamura para sismos y microtremores”.

En el área denominada como ZONA MODERADA, las FTEP se reagruparon teniendo en cuenta la localización de los registros de microtremores que presentan un máximo espectral entre 3-10 Hz; así como la distribución de los abanicos y de las terrazas de mayor antigüedad. La edad relativa de estas formas acumulativas del relieve se determinó al observar y aplicar el principio de superposición a la Figura 8. Al analizar la familia espectral de esta zona, se observa que el espesor de los sedimentos, respecto al basamento, en esta área, es menor en comparación con la zona anterior.

Con la finalidad de conocer la amplificación de las ondas sísmicas y sustentar la clasificación de esta zona, en la Figura 30 se presenta la FTE obtenida con el método Razón Espectral Estándar (SSR) y la Técnica de Nakamura con sismos (HVSR). Se aprecia que la amplificación de la onda sísmica es cinco veces, en promedio, mayor que en la zona definida como estable (zona firme). Las funciones generadas por el método estándar ponen en evidencia la anisotropía del medio de propagación de las ondas sísmicas. Esto se observa en la componente E-W la cual se encuentra en el ancho de banda de la zona alta (3-10 Hz).

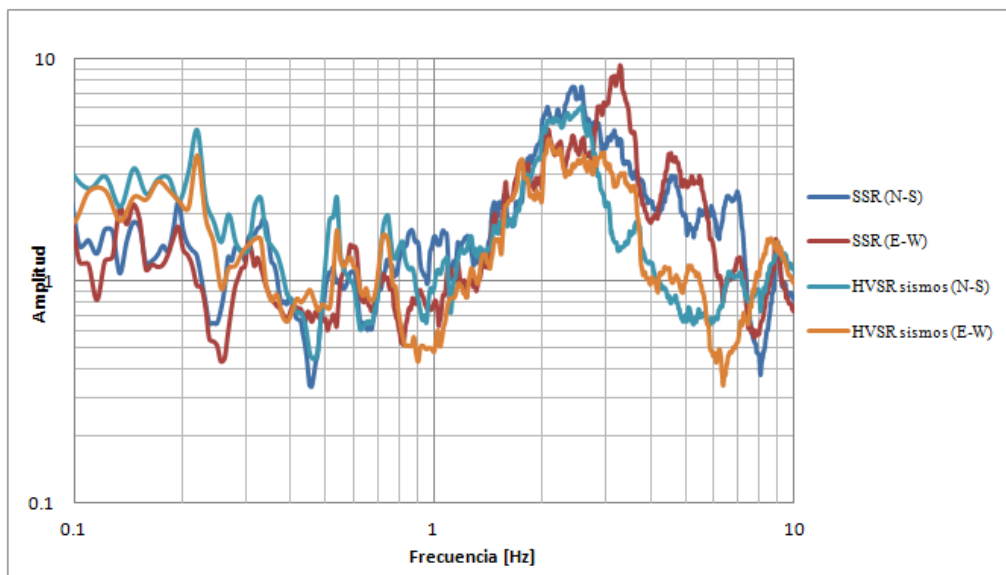


Figura 30. FTE determinada con el método “Razón Espectral Estándar” y la “Técnica de Nakamura para sismos y microtremores”.

Con estos resultados se valida la FTEP obtenida con la técnica HVSR para microtremores ya que la forma espectral que presenta concuerda con las FTE obtenidas con los métodos empíricos HVSR para sismos y SSR.

Los registros de microtremores de las formas espectrales que presenta la ZONA FIRME se localizan sobre el Tronco de Amatenango, Buenos Aires y el Macizo de Chiapas. Aunque el grado de alteración físico-químico que presentan estos cuerpos rocosos es alto, la amplificación de las ondas sísmicas es mínima, por lo cual no existe efecto de sitio en esta zona.

Por medio de la determinación de las familias espectrales y de la generación de curvas con igual periodo natural de vibración del suelo (curvas de isoperiodos) se elaboró el mapa de microzonificación sísmica de la ciudad de Motozintla, Chiapas (Figura 29).

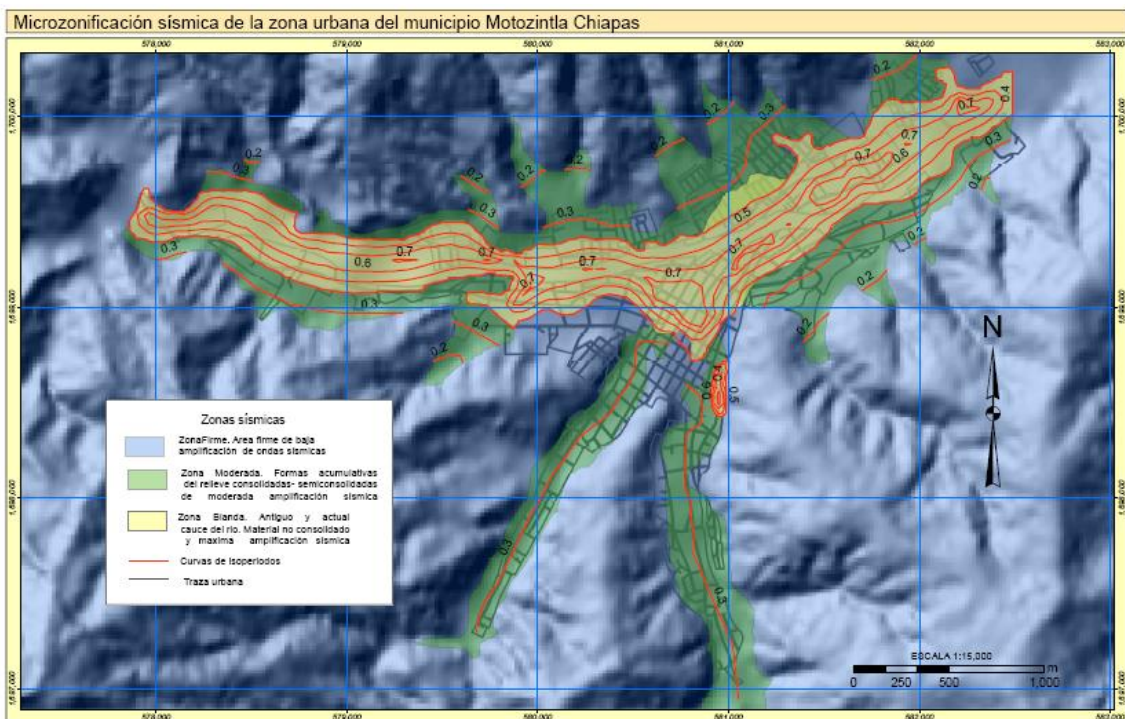


Figura 29. Mapa de microzonificación sísmica de la ciudad de Motozintla, Chiapas.

En él se delimitan tres zonas sísmicas de acuerdo al comportamiento dinámico del suelo. Las características que presentan estas zonas sísmicas se definen a continuación:

La Zona Firme representa el área estable, en ella la amplificación de las ondas sísmicas (efecto de sitio) es mínima. Geográficamente se localiza en las inmediaciones de las montañas.

La Zona Moderada se establece sobre los abanicos aluviales, coalescencia de algunos de ellos y sobre las terrazas aluviales de mayor antigüedad, que presentan una alta o mediana consolidación. La amplificación de las ondas sísmicas en esta zona es moderada (cinco veces más en promedio, al compararlo con la zona firme).

La Zona Blanda es delimitada por el antiguo y actual cauce del río Xelajú el cual está conformado por sedimentos (material no consolidado). En este sitio la amplificación de las ondas sísmicas es máxima (seis veces más en promedio, al compararlo con la zona firme).

La importancia de este y cualquier estudio de microzonificación sísmica radica, en que, a través de ellos, se evalúa la peligrosidad sísmica de las zonas urbanas. El mapa que se genera apoya los planes de planificación territorial urbana (uso del suelo). Es útil para la proyección de la localización de las edificaciones y constituye la base para establecer las normas de construcción sísmica de una determinada localidad.

La respuesta dinámica de las estructuras depende de sus características físicas, siendo el periodo natural de vibración la propiedad más importante de las construcciones. Además, debe considerarse la respuesta dinámica del medio en el que se propagan las ondas sísmicas y la intensidad del sismo. Esto se debe a que las perturbaciones del subsuelo generadas por un movimiento sísmico actúan en los cimientos de la estructura, posteriormente se propagan al resto de sus elementos, manifestándose como un movimiento oscilatorio, cuyos principales componentes son la frecuencia y la amplitud (Beles, 1975).

El medio de propagación de las ondas sísmicas posee un propio modo de vibración y las máximas oscilaciones de las estructuras dependen de su periodo propio. Si en el sistema

suelo-estructura coinciden los periodos propios de las ondas sísmicas y la estructura, se producirá el fenómeno de resonancia, provocando la máxima oscilación (distancia que alcanza un cuerpo a partir de la posición de equilibrio) de la estructura. A fin de evitar este fenómeno es importante lograr una discrepancia entre los periodos de estos elementos. Con este propósito es indispensable determinar la distribución espacial del periodo natural de vibración del suelo de las ciudades. En el caso de la zona urbana de Motozintla esta distribución se muestra en las curvas de isoperiodos desplegadas en la Figura 29. Considerando los resultados de la Figura 29 y el período de vibración de las construcciones de acuerdo al número de niveles (Tabla 28) se puede determinar el nivel de peligro que tienen las instalaciones y viviendas ubicadas en las zonas con diferentes propiedades de respuesta sísmica de esta localidad. De esta forma las edificaciones con más de cuatro niveles que se localizan en la zona baja están expuestas a un peligro mayor que las viviendas que presentan entre uno y tres niveles de construcción. Sin embargo, las viviendas que se localizan en el área clasificada como, Zona Moderada, están más expuestas al impacto de un sismo.

Tabla 28. Periodo natural de vibración de las construcciones de acuerdo al número de niveles que presenta (González, 2004).

| Número de niveles de las construcciones | Periodo natural de vibración |
|--|-------------------------------------|
| una planta | 0.1 |
| Dos plantas | 0.2 |
| Cinco niveles | 0.5 |
| Diez niveles | 1.0 |
| Quince niveles | 1.5 |
| Veinte niveles y depósitos | 2.0 |
| Torres muy altas | 2.5 |

Si se asocia el mapa de microzonificación sísmica (Figura 29) con las características de las viviendas e instalaciones es posible determinar que estructuras son más vulnerables ante un evento sísmico. También, se puede establecer el probable nivel de daños materiales así como ubicar las instalaciones estructuralmente estables o las que puedan ser seriamente afectadas.

La superposición de la microzonificación sísmica con los datos de ubicación de las viviendas e instalaciones es de gran importancia, debido a que apoyan los planes de respuesta o mitigación de las autoridades de Protección Civil. En este caso a la comunidad de Motozintla, como parte de las acciones a implementar, se pueden considerar, el desarrollo de programas para evitar construir viviendas, cuyo periodo dominante coincida con el de la respuesta del suelo, y realizar cimentaciones más resistentes y a mayor profundidad. Es recomendable considerar el apartado 6.1 de Las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Sismos (Gaceta oficial del D.F, 2004) que establece las características de las estructuras regulares:

1. Su planta es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales por lo que toca a masas, así como a muros y otros elementos resistentes; éstos son, además, sensiblemente paralelos a los ejes ortogonales principales del edificio.
2. La relación de su altura a la dimensión menor de su base no pasa de 2.5 m.
3. La relación de largo a ancho de la base no excede de 2.5 m.
4. En planta no tiene entrantes ni salientes cuya dimensión exceda de 20% de la dimensión de la planta medida, paralelamente a la dirección que se considera del entrante o saliente.
5. Cada nivel tiene un sistema de techo o piso rígido y resistente.

6. No tiene aberturas en sus sistemas de techo o piso cuya dimensión exceda de 20% de la dimensión en planta medida, paralelamente a la abertura; las áreas huecas no ocasionan asimetrías significativas ni difieren en posición de un piso a otro, y el área total de aberturas no excede en ningún nivel de 20% del área de la planta.
7. El peso de cada nivel, incluyendo la carga viva que debe considerarse para el diseño sísmico, no es mayor que 110 por ciento del correspondiente al piso inmediato inferior ni, excepción hecha del último nivel de la construcción, es menor que 70% de dicho peso.
8. Ningún piso tiene un área, delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales, mayor que 110% del piso inmediato inferior, ni menor que 70% de ésta. Se exime de este último requisito únicamente al último piso de la construcción. Además, el área de ningún entrepiso excede en más de 50% a la menor de los pisos inferiores.
9. Todas las columnas están restringidas en todos los pisos en dos direcciones sensiblemente ortogonales por diafragmas horizontales y por trabes o losas planas.
10. Ni la rigidez ni la resistencia al corte de ningún entrepiso difieren en más de 50% del entrepiso inmediatamente inferior. El último entrepiso queda excluido de este requisito.
11. En ningún entrepiso la excentricidad torsional calculada estáticamente excede el 10% de la dimensión en planta de ese entrepiso medida paralelamente a la excentricidad mencionada.

Existen dos fuentes sísmicas capaces de generar terremotos que afecten la ciudad de Motozintla; la primera es la Fosa Mesoamericana ubicada en la costa de Chiapas y Centro

América, la segunda es el sistema de fallas Polochic-Motagua, que se extiende hasta la ciudad de Motozintla, y rige la dirección del río Xelajú (J. M. Sánchez, comunicación personal, 2011). Si en determinado momento ocurriese un evento sísmico de una magnitud de 7.5 o mayor en la costa y otro de la misma magnitud, pero con epicentro en la falla Polochic, el segundo tendría mayor impacto en el área de estudio, debido a la cercanía que presenta con la ciudad en cuestión. Esto se justifica, al tomar en cuenta que el medio por el que se propagan las perturbaciones sísmicas actúa como un filtro que absorbe las ondas de mayor frecuencia; la absorción de la energía es de tipo exponencial y está en función de la distancia del epicentro. Las ondas sísmicas transversales decrecen con la distancia, por lo que, solo se consideran en las cercanías del origen del movimiento telúrico; en el caso de las construcciones que se encuentran apartadas de este punto, solo se consideran las oscilaciones longitudinales (Beles, 1975).

En diversas ciudades de México (Morelia, Michoacán; Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; Tapachula, Chiapas; Toluca, Estado de México; Tlalnepantla, Estado de México; Zona Metropolitana de Guadalajara; Puebla, Puebla; Tehuacán, Puebla, Apizaco, Tlaxcala, Oaxaca, Oaxaca; Acapulco, Guerrero; Boca del Río, Veracruz; Santiago de Querétaro, Qro; Celaya, Gto; y Aguascalientes, Ags.), se han realizado estudios de microzonificación sísmica (Lermo et al., 1999; Alonso et al., 1997; Cruz et al., 1997; Ramírez et al., 1993; Ramírez-Centeno et al., 1997b; 1999; Ruiz et al., 1993; Osorio-Carrera et al., 1997; Hernández et al., 2011; Limaymanta, 2009; Arroyo, 2001, etc.), siendo el Distrito Federal la ciudad que cuenta con el estudio más completo de este tipo (Ordaz y Singh, 1991; Reinoso et al., 1999; Sánchez-Sesma et al., 1988; Lermo et al., 1994b; Singh et al., 1988a; 1988b).

Los resultados obtenidos a través de este trabajo en la zona urbana de Motozintla tienen cierta similitud con la zonificación del D.F. Ambas ciudades se encuentran divididas en tres zonas; en Motozintla estas áreas se han denominado: Zona Firme, Zona Moderada y Zona Blanda; la ciudad de México se divide en Zona I, Zona II y Zona III que, a su vez, presenta cuatro subdivisiones (Zona IIIa, Zona IIIb, Zona IIIc y Zona IIId) (Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Sismos, 2004). En relación a las características del

subsuelo, la Zona I se encuentra constituida por materiales rocosos que subyace a la Formación Tarango, que fueron depositados fuera del ambiente lacustre; la Zona II corresponde al área de transición, esta formada por piroclastos (arenas y limos) intercalados con sedimentos lacustres, los depósitos profundos se encuentran a 20 metros; la Zona III está formada por grandes espesores de sedimentos lacustres intercalados con lavas y piroclastos (Macías, 2009; Protección Civil D.F., 2011). Lo que respecta al material litológico del subsuelo de Motozintla, la Zona Firme está conformado por el batolito de Chiapas (pese a que presenta un alto grado de alteración físico-químico) y los cuerpos intrusivos, Amatenango de la Frontera y Buenos Aires. Las Zonas Moderada y Blanda están constituidas por sedimentos provenientes de las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, que se encuentran en las partes altas de la cuenca. La principal diferencia entre las características de la microzonificación sísmica de la ciudad de México y la ciudad de Motozintla, se encuentra en el grado de consolidación de los sedimentos, siendo mayor en la zona alta de Motozintla que morfológicamente está constituida por abanicos y terrazas de mayor antigüedad. En lo que respecta a la morfología, ambas ciudades se localizan sobre cuencas, la diferencia radica en que la cuenca de Motozintla es de origen tectónico y la cuenca de México se originó por actividad, tectono-volcánica (Macías, 2009). Las Tablas 29 y 30 permiten comparar los valores de los periodos de vibración del suelo obtenidos en las ciudades de México y Motozintla. Podemos observar que para el D.F, el valor del periodo en cualquier punto de la Zona I corresponde a 0.5 seg, el valor de 0.5 y 1.0 seg, corresponde al límite inferior y superior de la Zona II, para la Zona III el periodo de vibración del suelo es mayor a 1 seg. Para la ciudad de Motozintla, la Zona Firme presenta un periodo de vibración menor a 0.1 seg, el límite inferior y superior para la Zona Moderada es de 0.1 y 0.4 seg respectivamente, el periodo de vibración del suelo para la Zona Blanda varia de 0.4 a 1.0 seg. Las diferencias observas podrían deberse principalmente a las fronteras entre los diversos materiales geológicos de ambas cuencas.

Tabla 29. Valores de los periodos de vibración para cada zona de la ciudad de México
(Gaceta Oficial del D.F, 2004).

| Ciudad de México | |
|------------------|-------------------------|
| Clasificación | Valor del periodo [seg] |
| Zona I | $T=0.5$ |
| Zona II | $T= 0.5-1.0$ |
| Zona III | $T > 1.0$ |

Tabla 30. Valores de los periodos de vibración para cada zona de la ciudad de Motozintla.

| Ciudad de Motozintla | |
|----------------------|-------------------------|
| Clasificación | Valor del periodo [seg] |
| Zona Firme | $T < 0.1$ |
| Zona Moderada | $T = 0.1-0.4$ |
| Zona Blanda | $T = 0.4-1.0$ |

CONCLUSIONES.

1. Los resultados de la microzonificación sísmica de la ciudad de Motozintla indican que existen tres zonas con diferentes propiedades:
 - La Zona Blanda, que comprende la región del antiguo y actual cauce del río Xelajú, representa un mayor nivel de peligro sísmico, en ella la amplificación de las ondas sísmicas es máxima, su incremento en comparación con la zona firme es seis veces mayor, aproximadamente.
 - La Zona Moderada, ubicada en los abanicos y terrazas de mayor antigüedad, presenta un nivel de peligro medio. La amplificación de las ondas sísmicas es moderada, su incremento en relación con la zona firme es cinco veces mayor, aproximadamente.
 - La Zona Firme, localizada sobre los cuerpos rocosos, presenta un nivel de peligro bajo. La amplificación de las ondas sísmicas es mínima.
2. Las viviendas e instalaciones mayores a cuatro niveles que se localizan en la zona baja presentan un mayor grado de exposición sísmica y por lo tanto un mayor grado de vulnerabilidad.
3. Las viviendas que tienen entre uno y tres niveles y que además se localizan en la zona alta, pueden sufrir un mayor grado estructural que las que poseen niveles superiores a los antes mencionados.
4. Un sismo de magnitud significativa con epicentro en el sistema de fallas Polochic-Motagua, causaría mayores daños en Motozintla que otro que se origine en la fosa Mesoamérica con la misma magnitud.

5. Las Normas Técnicas Complementarias para el diseño por sismos del D.F podría adaptarse a la ciudad de Motozintla, considerando los resultados obtenidos en este trabajo.
6. La mayoría de los depósitos fluviales presentes en Motozintla, de acuerdo a la clasificación de Miall (1996), presentan facies de grava masiva, soportada por matriz de arena (Gmm y Gmg); su interpretación genética indica que es un flujo plástico de detritos (viscoso, de baja-alta densidad). En menor cantidad se presentan facies de arena fina a gruesa (Sm), que indican depósitos de origen gravitatorio y facies de arcilla, limo (Fr) que evidencian un suelo insipiente.
7. En el área de estudio se localizan dos variantes de flujos gravitacionales: flujos de escombros y flujos hiperconcentrados.
8. La velocidad de las ondas sísmica está en función del grado de compactación de los depósitos sedimentarios, que aumenta al incrementar la edad del depósito. La forma que presentan las acumulaciones sedimentarias no influye en esta propiedad.

BIBLIOGRAFIA.

Alonso, G., Cruz, R., Santos, F., Ramírez-Centeno, M., Ruiz-Sandoval, M., Iglesias, J., 1997, Zonificación sísmica de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, *XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Veracruz, Veracruz.

Altus Digital Recorder, 2002., Manual del usuario, Documento 302200, revisión 1, pp 90.

Angulo, J., 2010. Población, condiciones de vida y respuesta ante embates económicos y naturales, en México, en Vulnerabilidad y Riesgo en la Sierra de Chiapas: Dimensiones económicas y sociales, Daniel Villafuerte Solís y Elizabeth Mansilla (editorescoordinadores), Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, pp 39- 37, 2010.

Arroyo, M., Ríos, R., Bustillos, J.M., Lermo, J., Arzate, J., Rojas, E., Frías, O., 2001, Zonificación sísmica de las ciudades de Santiago de Querétaro, Qro., Celaya, Gto., y Aguascalientes, Ags., *XIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Guadalajara, Jalisco.

Beles, A. A., Ifrim, M.D., Yagüe, A.G., 1975, Elementos de ingeniería sísmica, Barcelona, Omega, pp 527.

Cantos, J., 1974. Tratado de Geofísica Aplicada, Madrid España, Litoprint, pp 520.

Carfantan, J. Ch., 1977. La Cobijadura de Motozintla un paleoarco volcánico en Chiapas, Univ. Nal. Auton. México, Inst. Geología, Revista, vol. 1 núm. 2, pp 133-137.

Cavada, J. M, 2000. Guía de Prospección Sísmica por Refracción, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Departamento de ingeniería Geofísica, versión 1.4, pp 29.

Comisión Nacional del Agua (CNA), 2010, Estadísticas del Agua en México: México. <<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/EAM2010.pdf>>

Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica (CNNE), 1983, Código Estratigráfico Norteamericano: México.

Cruz, R., Ramírez, M., Rodríguez, J., Albores, A., Nájera, F., García, J., Rivero, F., 1997, Zonificación sísmica de la ciudad de Tapachula, Chiapas, *XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Veracruz, Veracruz.

Damon, P.E., Shafiqullah, M., Clark, K., 1981, Evolución de los Arcos Magmaticos en México y su Relación con la Metalogenesis. Univ. Nal. Auton. México, Inst. Geología, Revista, vol. 5 núm. 2, pp 223-238.

De Pedroza, J., 1996, Geomorfología: Principios, métodos y aplicaciones, Madrid España, Rueda, pp 414.

Dobrin, M. B., 1975, Introducción a la prospección geofísica, Tercera edición, Barcelona, Omega, pp 867.

Del Valle, E., 1985, Apuntes de Introducción a los métodos Geofísicos de Exploración, División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Departamento de Geofísica, Univ. Nal. Auton. México, pp 242.

Flores, H.E., 2001, Métodos alternos para la estimación del efecto de sitio mediante el uso de arreglos de microtremores: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de ingeniería, Tesis Profesional, pp 79.

Gaceta Oficial del Distrito Federal, Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (NTCDS) con fecha de publicación del 6 octubre 2004, México, Distrito Federal, pp 22.

García, O., Jiménez, A., Jaimez, A., De la Cruz, T., 2004, Informe técnico de la Carta Geológica-Minera Huixtla D15-2, Escala 1:250,000, Estado de Chiapas, Consejo De Recursos Minerales, pp 48.

García, V., Suárez, G., 1996, Los sismos en la historia de México, Tomo I, México, Fondo de cultura económica, pp 718.

González, L.L., Ferrer, M., Ortuño, L., Otelo, C., 2004, Ingeniería geológica, España, Pearson, pp 715.

Güendel, F., Protti, M., 1998, Sismicidad y sismotectónica de América Central, Física de la Tierra, Universidad Complutense de Madrid, Revista, núm. 10, pp 19-51.

Hecht, E., Zajac A., 1997, Optica, EUA, Fondo Educativo Internacional, pp 368.

Hedberg, H.D., 1980, Guía estratigráfica internacional, Madrid España, Reverté, pp 205.

<http://books.google.com/books?id=Z7VV2YPT18EC&pg=PA34&lpg=PA34&dq=pierson+and+costa+1987&source=bl&ots=61eNvKHgdB&sig=uLDREaWEv0tfMLsGghjDLiiiCt8&hl=es&ei=_QjDTc_ABYTAtgeA8_HSBA&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=8&ved=0CFgQ6AEwBw#v=onepage&q=pierson%20and%20costa%201987&f=false>

Hernández, E.I., Lermo, J., Sánchez-Sesma, F. J., Angulo, J., Vega, D., Martínez, J., Zúñiga, A., 2011, Estimación de intensidad sísmica en la ciudad de Apizaco, Tlaxcala, Para temblores profundos de fallamiento normal, XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Aguascalientes, Aguascalientes.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), 2010. Censo de Población y Vivienda: México.

<<http://www.inegi.org.mx/sistemas/ResultadosR/CPV/Default.aspx?texto=motozintla%20motozintla>>

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2010, Puntuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Motozintla, Chiapas, clave geoestadística 07057: México.

<<http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?src=487&ent=07>>.

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología – INSIVUMEH y del Servicio Nacional de Estudios Territoriales de El Salvador – SNET.

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

<<http://www.insivumeh.gob.gt/geofisica/indice%20sismo.htm#INDICE%20DEL%20CONTENIDO>>

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Chiapas, 2005, Enciclopedia de los Municipios de México Estado de Chiapas: México.

<<http://www.inafed.gob.mx/work/templates/enciclo/chiapas/municipios/07057a.htm>>

Lavell, et al., 2005, *Glosario de Términos*, Inédito.

Lermo, J. y F.J. Chávez-García., 1994a, “Are microtremors useful in site response evaluation,” *Bull. Seism. Soc. Am.* 84, pp 1350-1364.

Lermo, J., Aguilar, A., Ferrer -Toledo, H., Vega, D., Ovando, E., Carmona, Y., Osorio, I., De La Rosa, R., Cruz, E., 2006, Nueva clasificación dinámica de los suelos en el Centro Histórico de la ciudad de Puebla, México, XXIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, pp 462-472.

Lermo, J., Chávez-García, F.J., 1994b, Site effect evaluation at Mexico City. Dominant period and relative amplification from strong motion and microtremors records, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 13, pp. 413-423.

Lermo, J., Garduño, V.H., Arreygue-Rocha, E., Isadre-Alcántara, I., Rodríguez-Torres, G., 1999, Microzonificación sísmica preliminar de la ciudad de Morelia, Michoacán, *XII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Morelia, Michoacán.

Lermo, J.F. y F.J. Chávez-García, 1993, Site effect evaluation using spectral ratios with only one station, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 83, pp 1574–1594.

Limaymanta, F.M., 2009, Uso de familias espectrales obtenidas con registros de sismos y microtremores para la clasificación de terrenos con fines de diseño sísmico. Aplicación en las ciudades de Veracruz-Boca del Río, Oaxaca y Acapulco: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería, Tesis de Maestría, 185pp.

López-Ramos, E., 1983, Geología General, Tomo III, tercera edición, México DF, Trillas, pp 288.

Lugo, J., 1989, Diccionario geomorfológico, México, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), pp 337.

Macías, H., 2009, Notas para el curso de Geología Urbana, División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, Univ. Nal. Auton. México, pp 84.

Miall, A.D., The geology of fluvial deposits: Sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology: Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag, pp 582.

Molina, E., Villagrán, M., 1990, Aspectos generales de la sismicidad en Guatemala, Guatemala: Sección de Sismología, INSIVUMEH, pp 65.

Múgica, R., 1987, Estudios petrográficos de rocas ígneas y metamórficas en el Macizo de Chiapas, México: Instituto Mexicano del Petróleo, Informe inédito, C-2009, pp 47.

Nakamura, Y., 1989, “A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface,” *QR of RTRI*, 30, No.1, pp 25-33.

Ordaz, M., Montoya, D., 2003, Programa Degtra A4 ver 4.0.7, UNAM, México.

Ordaz, M., Castellanos F., Zapata, A., 2005, Manual de usuario del programa Degtra A4 ver 5.4.0, UNAM, México. <<http://es.scribd.com/doc/45604310/Manual-Degtra>>

Ortiz, L.E., Cruz, J., Flores, K., Ramírez, M., Acevedo, O., 2006, Características geológicas y potencial metalogenético de los principales complejos ultramáficos-máficos de México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen Conmemorativo del Centenario Tomo LVII, núm.4, pp 161-181. <[http://www.geociencias.unam.mx/~alaniz/SGM/Centenario/58-1/\(6\)Ortiz.pdf](http://www.geociencias.unam.mx/~alaniz/SGM/Centenario/58-1/(6)Ortiz.pdf)>.

Pierson, T.C., Costa, J.E., 1987, A rheologic classification of subaerial sediment-water flows: Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology, 7, pp 1-12.

Pierson, T.C., Scott, K.M., 1985, Downstream dilution of a lahar: Transition from debris flow to hyperconcentrated streamflow: Water Resources Research, 21, pp 1511-1524.

Protección Civil, Distrito Federal, 2011, México.

http://www.proteccioncivil.df.gob.mx/macrosimulacro/Situacion_Sismica_del_Distrito_Federal.html

Ramírez, H., Carmona, J.L., Flores, M., Vera, R., Galván, J., Ramírez, M., Ruiz-Sandoval, M., Aguilar, J., Fernández, A., Carballo, J., Iglesias, J., 1993, Zonificación sísmica de la ciudad de Toluca, *X Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Puerto Vallarta, Jalisco.

Ramírez-Centeno, M., Martín, R., 1999, Zonificación sísmica de la Zona Metropolitana de Guadalajara, *XII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Morelia, Michoacán.

Ramírez-Centeno, M., Ruiz-Sandoval, M., Félix, H., Castellanos, S., Iglesias, J., 1997b,

Zonificación sísmica del municipio de Tlalnepantla, Estado de México, *XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Veracruz, Veracruz.

Reinoso, E y M Ordaz (1999), "Spectral ratios for México City from free-field recordings", *Earthquake Spectra* 4, Volume 15, No 2.

Ruiz, C., Juárez, J., Ramírez, M., Ruiz-Sandoval, M., Aguilar, J., Carballo, J., Guerrero, J Juárez, H., Iglesias, J., 1993, Zonificación sísmica de la ciudad de Puebla, *X Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Puerto Vallarta, Jalisco.

Sánchez-Sesma, F. J., Chávez-Pérez, S., Suárez, M., Bravo, M.A., Pérez-Rocha, L.E., 1988, On the seismic response of the valley of Mexico, *Earthquake Spectra* 4, 3, pp. 569-589.

Sarocchi, D., 2007, Estudio sedimentológico de flujo de bloques y cenizas del 17 de junio de 1999 en el volcán de Colima, *Monografías*, 1, Inst Geofísica, Univ. Nal. Autón. México, pp 92

Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2006, *Léxico estratigráfico de México*: México. <<http://portal.sgm.gob.mx/lexico/TodosSantos.pdf>>

Sheriff, R. E., 1991, *Exploración Sismológica*, Vol. 1, primera edición, México, Limusa, pp 298.

Singh, S. K., Mena, E., Castro, R., 1988a, Some aspects of the source characteristics and the ground motion amplifications in and near Mexico City from the acceleration data of the September 19th, 1985, Michoacan, Mexico earthquakes, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 78, pp. 451-477.

Singh, S.K., Lermo, J., Domínguez, T., Ordaz, M., Espinoza, J.M., Mena, E., Quass, R., 1988b, A study of amplification of seismic waves in the valley of Mexico with respect to a hill zone site (CU), *Earthquake Spectra* 4, pp. 653-673.

Stein, S., Wysession, M., 2003, *An Introduction To Sismology Eathquakers, and Earth Estructure*, first published, Masachusetts, Blackwell Publishing, pp 498.

Suárez, D.J., 2006, *Análisis de los problemas de erosión y Deslaves Carretera Huixtla– Motozintla Chiapas, Bucaramanga–Colombia*, Instituto de Erosión y deslizamientos, pp 40.

Udías, A., 1999, *Principles of Seismology*, Cambridge, University Press, pp 475.

Vera, J.A., 1994, *Estratigrafía principios y métodos*, Madrid, Rueda, pp 806.

Villafuerte, D, 2010, *Condiciones de vulnerabilidad productiva, económica y social, en Vulnerabilidad y Riesgo en la Sierra de Chiapas: Dimensiones económicas y sociales*, Daniel Villafuerte Solís y Elizabeth Mansilla (coordinadores), Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, pp 79-143.

Yaury, S.A., 2006, *Microtremores*, Compendio de Trabajos de Investigación CNDG – Biblioteca Inst. Geofísico del Peru, 7, pp 43-56.