



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE CHIAPAS**

**Facultad de Ingeniería
Coordinación de Investigación y Posgrado**



**“Determinación del potencial y la presión de expansión de
las arcillas de la zona Oriente – Sur Ciudad de Tuxtla
Gutiérrez.”**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
Maestría en Ingeniería con Formación en Construcción

PRESENTA:
ING. DAYANNE LÓPEZ GÓMEZ C040072

DIRECTOR DE TESIS
DR. JORGE ORDOÑEZ RUIZ

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS; MAYO 2021.



Tuxtla Gutiérrez; Chiapas.
A 31 de mayo del 2021
Oficio. FI. 01/721/2021

C. Dayanne López Gómez
Maestría en Ingeniería con formación en Construcción
Presente.

Por este medio comunico a usted, que se autoriza la impresión de su trabajo de tesis denominado: "Determinación del potencial y la presión de expansión de las arcillas de la zona Oriente – Sur Ciudad de Tuxtla Gutiérrez", para que pueda continuar con los trámites de titulación para la obtención del Grado de la Maestría en Ingeniería con formación en Construcción.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

Atentamente.
"Por la conciencia de la necesidad de servir"

Dr. José Alonso Figueroa Gallegos
Encargado de Dirección



C. c. p. Dra. Daisy Escobar Castillejos. Coordinadora de Investigación y Posgrado. - F.I.
Archivo Minutario.
JAFG/DEC/tcpg*



Código: FO-113-09-05

Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) **Dayanne López Gómez**, Autor (a) de la tesis bajo el título de “**Determinación del potencial y la presión de expansión de las arcillas de la zona Oriente – Sur Ciudad de Tuxtla Gutiérrez,**” presentada y aprobada en el año **2021** como requisito para obtener el título o grado de **Maestría en Ingeniería con Formación en Construcción**, autorizo a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), a que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para que contribuya a la divulgación del conocimiento científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional del Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los **23** días del mes de **Septiembre** del año **2021**.



Ing. Dayanne López Gómez

Determinación del potencial y la presión de expansión de las arcillas de la zona Oriente – Sur Ciudad de Tuxtla Gutiérrez.

| | |
|--|-----------|
| Capítulo 1. Introducción..... | 4 |
| 1.1. Antecedentes..... | 4 |
| 1.2. Objetivos..... | 5 |
| 1.3. Metodología de la investigación..... | 6 |
| Capítulo 2. Descripción de la zona en estudio..... | 8 |
| 2.1. Marco geográfico..... | 8 |
| 2.1.1. Documentos históricos (Tuxtla Gutiérrez)..... | 8 |
| 2.1.2. Cartografía..... | 11 |
| 2.1.3. Topografía..... | 12 |
| 2.1.4. Imágenes de satélite..... | 13 |
| 2.2. Marco físico..... | 14 |
| 2.2.1. Geología de la región..... | 15 |
| 2.2.2. Geología local..... | 16 |
| 2.2.3. Hidrología..... | 18 |
| 2.2.4. Geotecnia..... | 21 |
| Capítulo 3. Caracterización geotécnica del subsuelo de Tuxtla Gutiérrez | 24 |
| 3.1. Descripción del subsuelo para fines geotécnicos..... | 24 |
| 3.1.1. Propiedades índice..... | 25 |
| 3.1.2. Propiedades mecánicas..... | 27 |
| 3.1.3. Propiedades hidráulicas..... | 27 |
| 3.1.4. Identificación y clasificación de arcillas expansivas..... | 28 |
| 3.1.5. Métodos indirectos..... | 28 |
| 3.1.6. Métodos directos..... | 33 |
| 3.1.7. Zonificación geotecnia actual..... | 35 |
| 3.2. Investigación de las arcillas expansivas de la zona oriente sur de la ciudad..... | 39 |
| 3.2.1. Ensayes de laboratorio..... | 39 |
| 3.2.2. Representación de las características geotécnicas del subsuelo de la zona geotécnica oriente sur..... | 40 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2.3. Clasificación e identificación de los suelos expansivos con propiedades índice..... | 44 |
| 3.2.4. Determinación del potencial y presión de expansión..... | 47 |
| 3.2.5. Determinación de la zona activa..... | 51 |
| Capítulo 4. Diseño geotécnico de zapatas aisladas y corridas en suelos expansivos..... | 53 |
| 4.1. Diseño geotécnico de zapatas aisladas..... | 56 |
| 4.2. Diseño geotécnico de zapatas corridas..... | 60 |
| 5. Conclusiones..... | 63 |
| Anexo A..... | 65 |
| Referencias y bibliografías..... | 67 |

Capítulo 1. Introducción

Se presenta los trabajos de investigación de las características de las arcillas expansivas del subsuelo de la zona oriente sur de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. El conocimiento que actualmente se tiene del subsuelo de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez Chiapas, se fundamenta en los trabajos de investigación realizados en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas, a partir de 1982. Se estableció una línea de investigación para determinar las características geotécnicas del subsuelo de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez (Ordoñez, 1998), que aporta más información respecto a las propiedades índice y mecánicas de los diferentes estratos de suelos y rocas que conforman el subsuelo de la ciudad. Con toda la información recopilada, se publicó el trabajo de investigación “zonificación geotécnica de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez” (Ordoñez, 2008).

Se presentan los resultados de los trabajos de exploración y muestreo para las Col. Las Palmas, La Salle y Col. Retiro. Con esta información se determina el potencial y la presión de expansión de esta zona urbana de la ciudad. Con los resultados obtenidos se presentan alternativas para la mitigación de riesgos geotécnicos y las aplicaciones prácticas.

Con esta información geotécnica sobre las características de las arcillas expansivas de la zona en estudio, se procede a realizar el diseño geotécnico para cimentaciones a base de zapatas aisladas y corridas. Se aplican los métodos indirectos para identificar y clasificar las arcillas expansivas y los métodos directos para determinar el potencial y la presión de expansión de las arcillas. Se presentan alternativas para el cálculo y procedimiento constructivo de zapatas aisladas y corridas.

1.1. Antecedentes

En la Facultad de Ingeniería, a partir de 1990, se establecieron líneas de investigación con el objetivo de determinar las características geotécnicas de los estratos de suelos y rocas que conforman el subsuelo de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. La evolución de los conocimientos sobre las características geotécnicas de la ciudad inicia a partir de trabajos desarrollados por las instituciones públicas,

C.F.E., S.C.T. y el Gobierno del Estado de Chiapas, a través de la Secretaría de Obras Públicas, quienes realizaron estudios de mecánica de suelos, por las necesidades sociales de construir infraestructura pública. Con el desarrollo y crecimiento urbano de la ciudad, la iniciativa privada también encomienda trabajos de geotecnia a empresas especializadas en esta área del conocimiento. Con la labor desarrollada por instituciones públicas y privadas, se avanzó en el conocimiento de subsuelo de la ciudad. La Facultad de Ingeniería es la institución académica que ha desarrollado la mayor cantidad de trabajos de investigación en el campo de la mecánica de suelos en Chiapas. En el departamento de geotecnia, se han logrado avances importantes en el conocimiento del subsuelo de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.

En el trabajo publicado “El Subsuelo de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez”, (Ordóñez, 1998) las instituciones del sector público y las empresas del sector privado, contribuyeron con estudios geotécnicos. La Facultad de Ingeniería inicio con trabajos de investigación en el área de la mecánica de suelos, principalmente en el subsuelo de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. Actualmente se tienen resultados de trabajos de mecánica de suelos en diferentes zonas del Estado de Chiapas. Esta investigación se realiza en la zona sur oriente de la ciudad, que corresponde a la zona geotecnia A, donde se ubican los suelos expansivos.

1.2. Objetivos

Caracterizar los estratos de arcillas expansivas de la zona geotécnica A, oriente sur de la ciudad, a partir de las propiedades índice y mecánica, de los estratos de arcilla expansivas y proponer alternativas de diseño geotécnico y proceso constructivo para mitigar los riesgos geotécnicos, en la construcción de cimentaciones sobre suelos expansivos.

Para alcanzar este objetivo, se recopiló toda la información geotécnica disponible sobre el tema de investigación. Se desarrolló un programa complementario de exploración, muestreo y de ensayos de laboratorio en los sitios seleccionados de la zona geotécnica A-oriente sur de la ciudad. Se estableció una metodología para ampliar la investigación sobre los suelos de características expansivas en esta que

se investiga. Con la información obtenida de la investigación realizada, se realiza la caracterización que se fundamenta en el conocimiento teórico sobre el concepto de estados de esfuerzos del suelo. Los estratos de suelos expansivos presentan en un ciclo de lluvias y estiaje, un comportamiento de suelos saturados y no saturados.

1.3. Metodología de la investigación

- La metodología para desarrollar la investigación de las características geotecnicas de los estratos de arcillas expansivas de la zona oriente sur de la ciudad.
- Recopilar la información de los estratos de arcillas expansivas de otras zonas urbanas y con los resultados de esta investigación, fundamentar los trabajos de exploración y muestreo; así como los ensayos de las muestras de suelos para determinar las propiedades índice y mecánicas.
- Investigar la información teórica existente para caracterizar los estratos de arcillas expansivas en la zona oriente sur de la ciudad.
- Realizar el trabajo experimental de campo y laboratorio, se desarrollan trabajos de exploración y muestreo. Se realizan sondeos tipo PCA, SPM con ensayo SPT. Se extraen muestras de suelos alteradas e inalteradas trabajos de exploración y muestreo en la zona urbana sur oriente de la ciudad. Se realizan ensayos de laboratorio para determinar las propiedades índice y mecánicas de los estratos de arcilla obtenidos en campo. Los resultados de campo y de laboratorio se presentan en tablas, perfiles y cortes estratigráficos.
- Consistencia, se tienen parámetros de arcillas de baja a media compresibilidad (CL y CH). Se presentan los resultados de los ensayos de muestras de arcillas expansivas, que definen el potencial y la presión de expansión. Se realizaron sondeos tipo PCA, hasta 3 m de profundidad. Con los resultados de la investigación de campo y de laboratorio se determinó el espesor de los estratos de arcillas expansivas y se calculo la zona activa.

- Proponer alternativas para la mitigación de riesgos geotécnicos, para cimentaciones superficiales y para pavimentos rígidos y flexibles.
- A partir de la caracterización y del análisis de riesgos geotécnicos del subsuelo de la ciudad, se propone actualizar el mapa de zonificación geotécnica de la ciudad.

Capítulo 2. Descripción de la zona de estudio

El estado de Chiapas se localiza en el sureste de la República Mexicana; colinda al norte con el estado de Tabasco, al sur con el Océano Pacífico, al oeste con los estados de Veracruz y Oaxaca y al este con la República de Guatemala.

La ciudad de Tuxtla Gutiérrez, capital del estado, se localiza en la región central de la entidad, con las coordenadas siguientes, 16°45'56" Latitud Norte y 93°06'56" Longitud Oeste y se ubica a una elevación de 550 msnm. Tiene una extensión territorial de 412.4km², que representa el 0.51% de la extensión estatal. El tipo de clima es cálido y subhúmedo; la temperatura media anual es de 24.5°C. La temporada de lluvias se presenta entre los meses de mayo y octubre y la precipitación pluvial anual es alrededor de 900 mm.

2.1. Marco geográfico

2.1.1. Documentos históricos (Tuxtla Gutiérrez)

La Ciudad de Tuxtla Gutiérrez fue fundada por los indios zoques (fig. 2.1) con el nombre de Coyatoc "lugar, casa o tierra de conejos", nombre deriva del náhuatl.

En los años 1486 y 1505, los aztecas invadieron la región, destruyeron Coyatoc y le nombraron Tuchtlán, que significa lo mismo; años más tarde los españoles castellanizaron este nombre llamándolo Tuxtla.

En 1560 los frailes dominicos, encabezados por fray Antonio de Pamplona, fundaron formalmente el pueblo de San Marcos Evangelista Tuchtlán en la margen derecha del río de los Sabinos (Sabinal), con la aldea de indios zoques que se hallaba asentada en la llanura conocida con el nombre de "Tuchtlán".

En 1693 un numeroso grupo de indios zoques se amotinó y lincharon al Alcalde mayor de Ciudad Real, capitán Manuel de Maisterra y Atocha, al Gobernador indio Pablo Hernández y al alguacil Nicolás de Trejo.



Fig.2.1 Familia indígena Zoque en la década de los años 50's.

El 19 de junio de 1748 se creó la alcaldía mayor de Tuxtla, con cabecera en el pueblo de San Marcos Tuxtla; en 1768 fue asiento de la segunda alcaldía mayor de Chiapas. En 1786 se crea la intendencia de Ciudad Real de Chiapa, fusionándose la gobernación del Soconusco con las alcaldías mayores de Ciudad Real y de Tuxtla. Se nombró primer gobernador intendente a don Francisco Saavedra y Carvajal. Tuxtla, quedó como cabecera de Partido con jurisdicción en 33 pueblos. En 1796 nace Joaquín Miguel Gutiérrez, hijo predilecto de Tuxtla.

El 29 de octubre de 1813, las cortes de Cádiz, España, elevan a la categoría de villa al pueblo de Tuxtla. El 27 de julio de 1829, es elevada al rango de ciudad por el Gobernador interino Emeterio Pineda. El 4 de septiembre de 1821 se proclamó la independencia de la Villa de Tuxtla. En 1823 Joaquín Miguel Gutiérrez, firmó el plan de Chiapa libre, junto con fray Matías de Córdoba, Matías Ruiz y Fray Ignacio Barnoya. Un año posterior, Joaquín Miguel Gutiérrez firma, en representación de la Villa de Tuxtla, el acta declaratoria de la federación de Chiapas a México, con fecha 12 de septiembre. El 29 de junio de 1829 se elevó al rango de ciudad a la Villa de Tuxtla.

Transformación Política

En 1837, en la época del centralismo, Chiapas se convirtió en departamento y la ciudad de Tuxtla en cabecera del Distrito del Oeste. El 31 de mayo de 1848, se le agrega al nombre de Tuxtla el apellido de Gutiérrez en honor a don Joaquín Miguel Gutiérrez, ilustre Chiapaneco que murió peleando por sus ideas federalista. El 11 de agosto de 1892, se declara a Tuxtla Gutiérrez sede de los poderes públicos de Chiapas. En la figura 2.2, se presenta el primer plano de la ciudad, cuando fue nombrada capital del Estado de Chiapas.

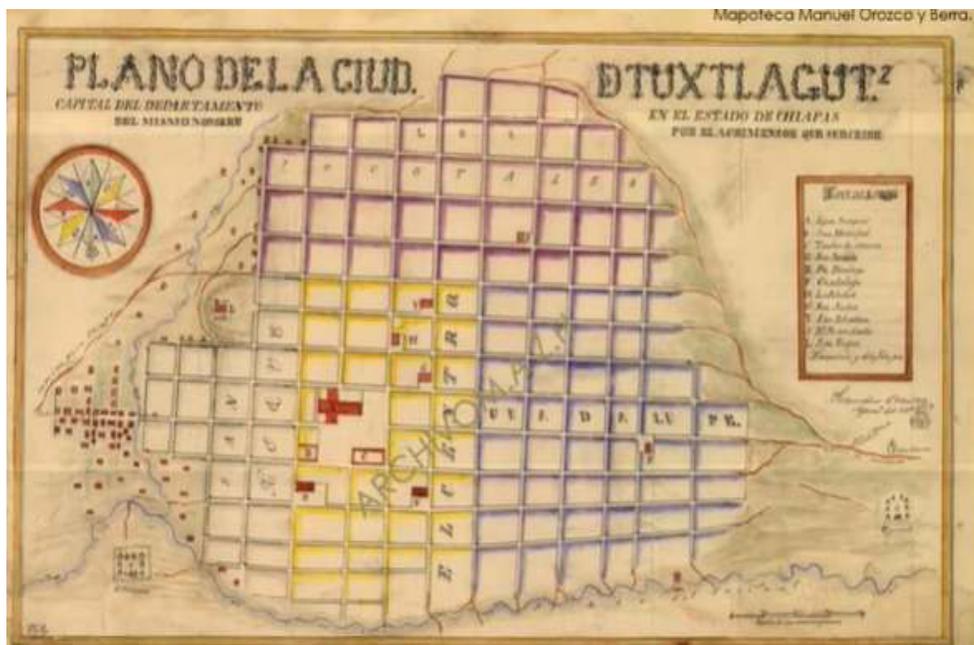


Fig.2.2 Plano de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, en 1855.

Desde la colonia, el centro geográfico, comercial y cultural de la entidad había sido San Cristóbal de las Casas. Sin embargo, al tiempo que la población se extendía por tierras circundantes, los gérmenes de nuevos polos de poder se gestaban. A partir de 1891, con la llegada de Emilio Rabasa a la gubernatura, el área de los valles resultó beneficiada por políticas públicas que respondían al espíritu modernizante de la época. En el área de comunicaciones, en esa época la situación era lamentable para la entidad, a partir de estas fechas recibió especial

impulso, situación que, entre otras cosas, se reflejó en un nuevo posicionamiento de Tuxtla Gutiérrez (Guillén, 2003).

En 1914 hizo su entrada triunfal la brigada veintiuno al mando del general Jesús Agustín Castro y con ello se inició la revolución carrancista en Chiapas. En 1915, se suprimió la jefatura política del departamento de Tuxtla y en su lugar se crearon municipios libres. Nació el municipio libre de Tuxtla, con las delegaciones de Terán y Copoya, cuyo primer presidente municipal fue don Noé Vázquez Rincón. En 1925 durante el gobierno de Carlos A. Vidal, desaparece el Ayuntamiento, quedando sujeto a una sección del gobierno.

En 1934 durante la guerra cristera, hay una quema de santos y cierre de templos católicos en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. En los años posteriores Tuxtla Gutiérrez se ha consolidado como una ciudad en constante crecimiento, hasta la actualidad.

2.1.2. Cartografía

En la actual carta urbana (2007-2020) (fig. 2.3), se aprecia la demarcación actual del desarrollo territorial de la ciudad y los límites dispuestos para su crecimiento futuro. Además, se consideran los diversos componentes de la reserva territorial de la localidad. Particularidades que se complementan con la referencia de tipo geográfico, que permite apreciar los dos cordones montañosos ubicados al norte y sur de la ciudad. El asentamiento urbano de la Ciudad es alargado. El río Sabinal es el eje de la traza urbana y el dren pluvial más importante de la ciudad y se debe a la intercepción de los afluentes de las 15 subcuencas definidas en el valle de la ciudad. La estructura urbana está conformada en función de las demarcaciones de las diferentes zonas urbanas de la ciudad. Las zonas habitacionales ocupan la mayor parte del territorio urbano, distribuidas tanto en su núcleo central y parte media, como en las áreas colindantes. Las zonas comerciales, administrativa y de servicios, se perciben en el conjunto gráfico, conformando varios escenarios, donde se destaca un amplio centro urbano definido por la zona histórica de la ciudad. Para el uso industrial, la carta urbana muestra dos polos de desarrollo,

cada uno ubicado respectivamente en los extremos oriente y poniente de la ciudad. Finalmente, se observa como las zonas que integran el suelo urbano, están reguladas a través de la estructura vial, limitada por una red conformada por un Boulevard Belisario Domínguez, y confluyen en el centro de la ciudad las avenidas 5ª. Norte y la 9ª. Sur. Actualmente existen dos vías terrestres importantes en la ciudad, los libramientos Sur y Norte que comunican la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. El nuevo libramiento Sur se ubica sobre una longitud de 35.5 kilómetros construido en dos etapas que une desde el Aeropuerto Internacional de Chiapa de Corzo, pasando por el municipio de Suchiapa y Terán, en la capital chiapaneca y llegar a Ocozocoautla que beneficiará principalmente a habitantes de esta zona.



Fig. 2.3 Carta urbana de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez (Fuente: INEGI 2007-2020).

2.1.3. Topografía

La topografía de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez está conformada por dos montañas, cuya elevación topográfica inicia a partir del libramiento norte y termina hasta alcanzar la cota del Cañón del Sumidero, de aproximadamente 800 msnm. Desciende hasta la planicie del centro de la ciudad, que registra cotas de 505 msnm y el cauce del río Sabinal, desciende hasta los 500 msnm; por eso el río Sabinal es el dren pluvial más importante de la ciudad. En la parte sur de la ciudad, la elevación topográfica inicia a partir del libramiento sur, hasta llegar a la

meseta de Copoya que alcanza niveles topográficos de hasta 700 msnm. Dentro de la zona urbana, la cota de referencia es el asta bandera del Zócalo de la ciudad. Del oriente al poniente de la ciudad, existen lomeríos con cotas de más 30 a 40 m de altitud, los cerros de la Lomita, la rectoría de la Un.A.Ch. El Mirador, El Sospo, Camino Real, San Roque, por citar los más importantes (fig. 2.4).



Figura 2.4 Plano topográfico de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. (Fuente: INEGI, 2009)

2.1.4. Imágenes de satélite

El municipio de Tuxtla Gutiérrez está ubicado en la Depresión Central presentando relieve montañoso tanto al Sur como al Norte, coordenadas geográficas son $16^{\circ} 45''$ N y $93^{\circ} 07''$ W., este valle delimitado al norte, del oriente al poniente de la ciudad por las montañas del cañón del sumidero y al sur por el cordón montañoso de Copoya. Al oriente se delimita con el municipio de Chiapa de Corzo, al poniente con los municipios de San Fernando y Berriozábal, ambos conforman la cuenca hidráulica de la ciudad y el cauce pluvial más importante del alargado valle, el río Sabinal que desemboca en el río Grijalva.

Las zonas montañosas, que se observan con nitidez, están conformadas por estratos de rocas calizas, con intercalaciones de lutitas. La parte central del valle de la ciudad, con mayor densidad poblacional con cotas que van de 500 a 550

msnm, está conformada por estratos de arcillas predominantemente de características expansivas, y en la zona urbana del centro de la ciudad, se localizan depósitos de limos y arcillas de media a baja y alta compresibilidad. En las zonas sur, poniente y oriente, existe una cordillera montañosa, que está conformada predominantemente por estratos de arcillas “lutitas” o rocas blandas “lutitas” y en la parte superior se ubica la meseta de Copoya conformada por rocas calizas que conforman una cabalgadura (Zúñiga, 2013) (fig. 2.5).

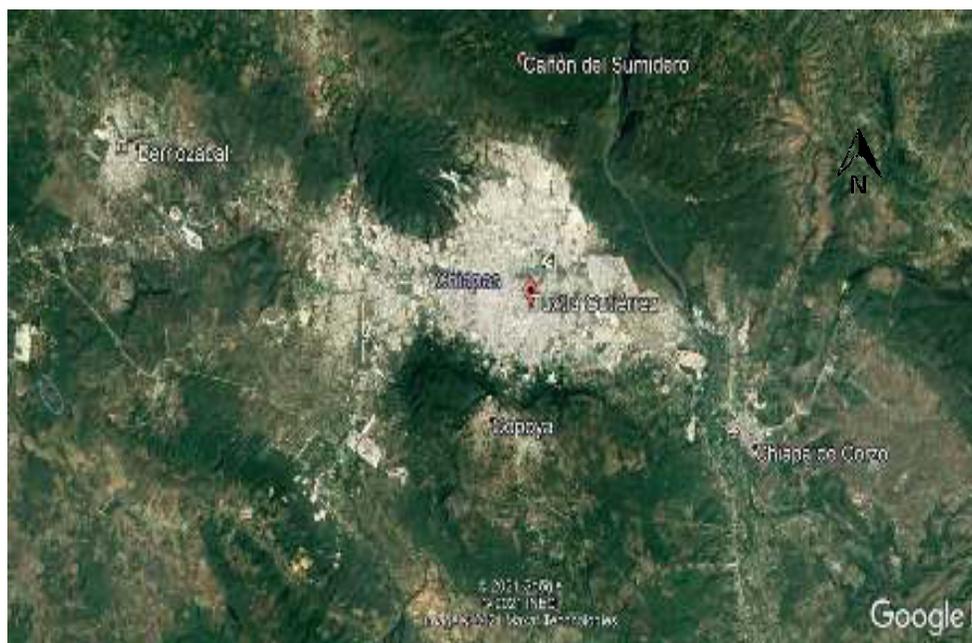


Fig. 2.5 Imagen satelital del valle de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez (Fuente: INEGI, 2021)

2.2. Marco físico

La ciudad de Tuxtla Gutiérrez registra niveles de 500 a 600 m sobre el nivel del mar y se localiza en los afloramientos de la sierra madre oriental, que alcanza relieves de hasta 950 msnm. Las características geomorfológicas particulares están referidas a un amplio valle, predominantemente arcilloso y con amplias montañas de rocas predominantemente calizas. El entorno geológico de la ciudad de Tuxtla se realizó el levantamiento geológico de los alrededores de la ciudad, tomando como base las cartas topográficas de INEGI.

Las principales corrientes fluviales en las inmediaciones de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez están representadas por los ríos Grijalva, El Sabinal, Suchiapa, Yatipak, Terán, San Agustín, San Francisco y Guadalupe. Dentro de la ciudad el río más importante es el Sabinal. Las características geotécnicas del subsuelo de la ciudad, comprende la presencia de suelos de características expansivas. En las zonas geológicas de mayor nivel topográfico se ubican los estratos de rocas calizas y lutitas. Estos tipos de suelos y rocas, es donde se construyen las obras de ingeniería civil de la ciudad.

2.2.1. Geología de la región

La ciudad de Tuxtla Gutiérrez se localiza en la porción central occidental de la entidad. A partir de la clasificación de las provincias fisiográficas de México, delimitadas y propuestas por Raíz (1964), forma parte de la provincia denominada “Depresión central del Estado de Chiapas” y forma parte de la altiplanicie Chiapas-Guatemala (fig. 2.6).



Figura 2.6 Mapa geológico de Chiapas (Fuente: Zonificación sísmica de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Ordóñez J.A)

La depresión central de Chiapas, presenta y corresponde a una franja de terreno prácticamente plana. Se inicia y se extiende desde la frontera con la República de Guatemala hacia al noroeste y termina aproximadamente a 80 km, antes de alcanzar el límite con el estado de Oaxaca. Corresponde a un sinclinal donde afloran principalmente rocas cenozoicas, que son más suaves y poco resistentes a la erosión, por lo que en el transcurso del tiempo el río Grijalva ha modelado un ancho valle, aplanándolo en su mayor parte.

La depresión central desciende gradualmente desde 600 msnm, en la zona central de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, hasta 500 msnm. En el centro histórico de la ciudad de Chiapa de Corzo, con registro de 400 msnm, esta ciudad se localiza en el límite occidental del valle, donde se inician los afloramientos de las cadenas frontales de la Sierra Madre de Chiapas, que alcanza relieves de hasta 950 msnm. En esta zona se pierde el valle de la depresión central y se confunde con las altas mesetas de las subprovincias de la Sierra Madre de Chiapas.

Las características geomorfológicas particulares están referidas a un amplio valle, predominantemente arcilloso, donde sobresale la Meseta de Copoya; esporádicamente, aparecen pequeños montículos (La Colina Universitaria, La Lomita, entre otros), originados a causa de erosiones y desprendimientos. Sin embargo, puede decirse que toda esta unidad descansa sobre el sinclinal de origen calcáreo, manifestándose sus flancos en forma de montañas de mediana elevación que limitan al norte y al sur del valle de Tuxtla Gutiérrez y sirven de parteaguas con respecto a otras unidades geo estructurales.

2.2.2. Geología local

Para estudiar el entorno geológico de la ciudad de Tuxtla se realizó el levantamiento geológico de los alrededores de la ciudad, tomando como base las cartas topográficas de INEGI escala 1:50000, hojas Chicoasén y Tuxtla Gutiérrez. Se realizaron varios recorridos por los alrededores de la ciudad tratando de abarcar los sitios más accesibles y que aportaran datos suficientes para la elaboración del mapa geológico de la figura 2.7.

En este mapa se puede observar que el entorno geológico que rodea a Tuxtla está representado por regiones litológicas-estructurales en forma de franjas; hacia el extremo NE del mapa se observa una primera franja con orientación NW-SE, constituida por secuencias sedimentarias marinas plegadas intensamente; se distinguen con claridad anticlinales y sinclinales formados por secuencias de edad cretácica compuestas por calizas intercaladas con lutitas y otras secuencias del Terciario medio compuestas por lutitas y areniscas.

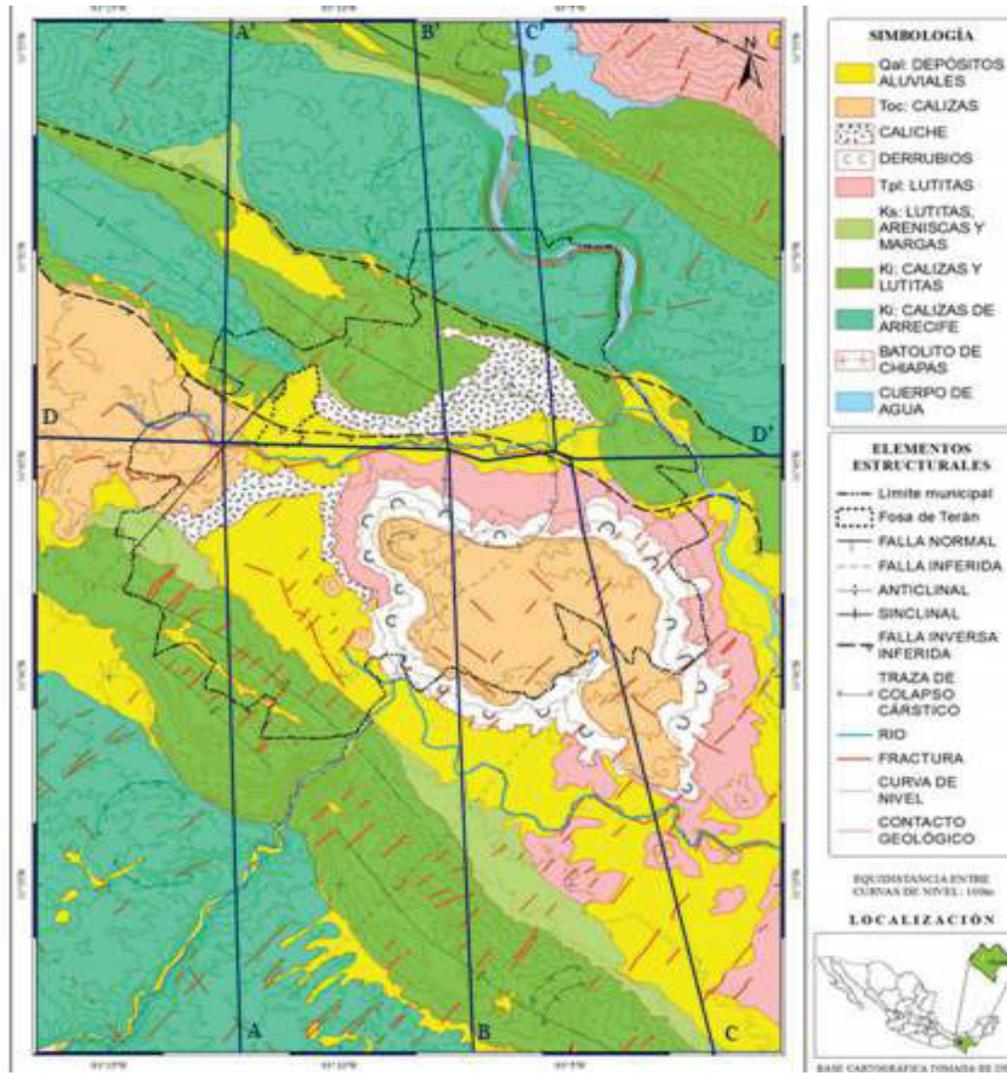


Figura 2.7 Mapa del entorno geológico estructural del valle de Tuxtla Gutiérrez (Zúñiga y Ordóñez, 2013)

Hacia el SW y siguiendo el mismo estilo de deformación, se observa una masa de calizas de arrecife y dolomitas en estratos gruesos; a diferencia de la franja anterior, aquí las calizas forman una amplia ondulación que apenas refleja los efectos de las compresiones que le dieron origen.

Las calizas de arrecife forman amplios macizos que desempeñaron el papel de contrafuertes, que soportaron los empujes de la deformación compresiva y sobre los que cabalgaron, por efectos de la misma compresión, secuencias de calizas y lutitas que se deforman intensamente.

Siguiendo hacia el SW, encontramos una amplia franja formada por calizas con intercalaciones de lutitas y calizas con areniscas y lutitas. Todo este conjunto en estratos delgados y en apretados pliegues, a excepción de la porción central representada por la meseta de Copoya, que forma una especie de losa que debió haber deslizado sobre las lutitas por efectos de la compresión. Esta amplia franja está formada por secuencias marinas del Cretácico y Terciario, presentando en ocasiones, pliegues buzantes que describen formas de conos imbricados.

Hacia el norte y sur de la meseta de Copoya se encuentran 2 valles importantes, el del río Sabinal y el del Suchiapa respectivamente. Estos surcan el terreno y han erosionado las lutitas del Paleoceno que se encuentran afectadas por intensa deformación.

Finalmente, en el extremo SW de la zona estudiada, se encuentra otro macizo arrecifal, aunque de anchura mayor que el descrito anteriormente, presenta condiciones similares e igualmente formó un contrafuerte contra el que chocaron secuencias marinas más deformables. Es característico de este macizo un extenso relieve cárstico con importante incidencia de fracturas y fallas tectónicas que han facilitado la acción de la disolución.

2.2.3. Hidrología

El estado de Chiapas cuenta con una importante cantidad de corrientes fluviales que se agrupan en dos grandes vertientes, la del Pacífico y la del Golfo. La vertiente del Pacífico contiene a un conjunto de corrientes que se pueden agrupar

en dos regiones, la región centro y NW compuesta por los ríos Lagartero, Guadalupe, Tiltepec, Zanatenco, Agua Dulce, Amates, San Nicolás, Frío, Cacaluta, Novillero, Vado Ancho, Pijijiapan y Huixtla que se caracteriza por la presencia de saltos y cascadas con cauces de abruptos perfiles.

En el extremo SE la vertiente del Pacífico presenta una segunda región con el río Huehuetán y sus afluentes que nace en los límites con Guatemala y desemboca en la marisma litoral. Los ríos Coatán, Cahuacán y Suchiate se encuentran en la tercera región, nacen en las laderas del volcán Tacaná; el río Coatán se pierde en los pantanos costeros, mientras que el Cahuacán desemboca en la barra Coyoacán; el río Suchiate nace en Guatemala, pero los últimos 85 km de sus recorridos forman la frontera entre ambos países.

La vertiente del Golfo está dividida en dos grandes cuencas hidrológicas, la del río Grijalva y la del Usumacinta.

El río Grijalva nace en la sierra de Cuchumatanes en Guatemala corre en dirección NE atraviesa la Depresión Central de Chiapas, recibiendo los aportes de los ríos San Miguel, Salinas, Grande, Santo domingo, Suchiapa y Sabinal por su margen izquierda. Después recibe los aportes del río La Venta y es contenido por la presa Hidroeléctrica Chicoasén. Un rasgo notable en este tramo del río lo constituye el Cañón del Sumidero con paredes verticales de más de 1200 m de altura. En su porción media, el río sigue su curso y es aprovechado por otras presas importantes que se localizan en el Cinturón de Pliegues Chiapaneco, posteriormente alcanza la Planicie Costera del Golfo y desemboca en el Golfo en el estado de Tabasco.

La cuenca del río Usumacinta representa la corriente con el mayor caudal del país, nace en Guatemala y sirve como frontera entre ambos países desde el paralelo del Vértice de Santiago hasta el Cañón de la Línea en el municipio de Tenosique en Tabasco y también desemboca en el Golfo de México.

Las principales corrientes fluviales en las inmediaciones de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez están representadas por los ríos Grijalva, El Sabinal, Suchiapa, Yatipak,

Terán, San Agustín, San Francisco y Guadalupe. Dentro de la ciudad el río más importante es el Sabinal, nace en el municipio de Berriozábal, fluye por el valle central de Tuxtla, atraviesa la ciudad hacia el oriente y desemboca en el río Grijalva. Originalmente el río Sabinal era alimentado por 7 arroyos, debido al crecimiento de la ciudad, la mayoría de estos arroyos se encuentran entubados o han sido cubiertos por la mancha urbana. No obstante, en su cabecera recibe importantes aportes de los ríos San Agustín y San Francisco que se ubican hacia el norte y sur del río Sabinal, respectivamente.

La cuenca del río El Sabinal (Figura 2.8), está ubicada dentro de la región hidrológica No. 30, denominada Grijalva-Usumacinta, en la cuenca administrativa Grijalva-Tuxtla Gutiérrez, que drena un área aproximada de 407 km^2 . El río nace en la loma El Chupadero, unos 5 km al noroeste de la población de Berriozábal, Chiapas, a una altitud del orden de 1,100 msnm y desembocar en el Río Grijalva. Se integra por 15 microcuencas: 24 de junio, Arroyos Centro Sur, Cerro Hueco, Chacona, El Poti, Patria Nueva, Poc Poc, Pomarrosa, San Agustín, San Francisco, San José el Arenal, San Roque, Santa Ana, Totoposte y Berriozábal.

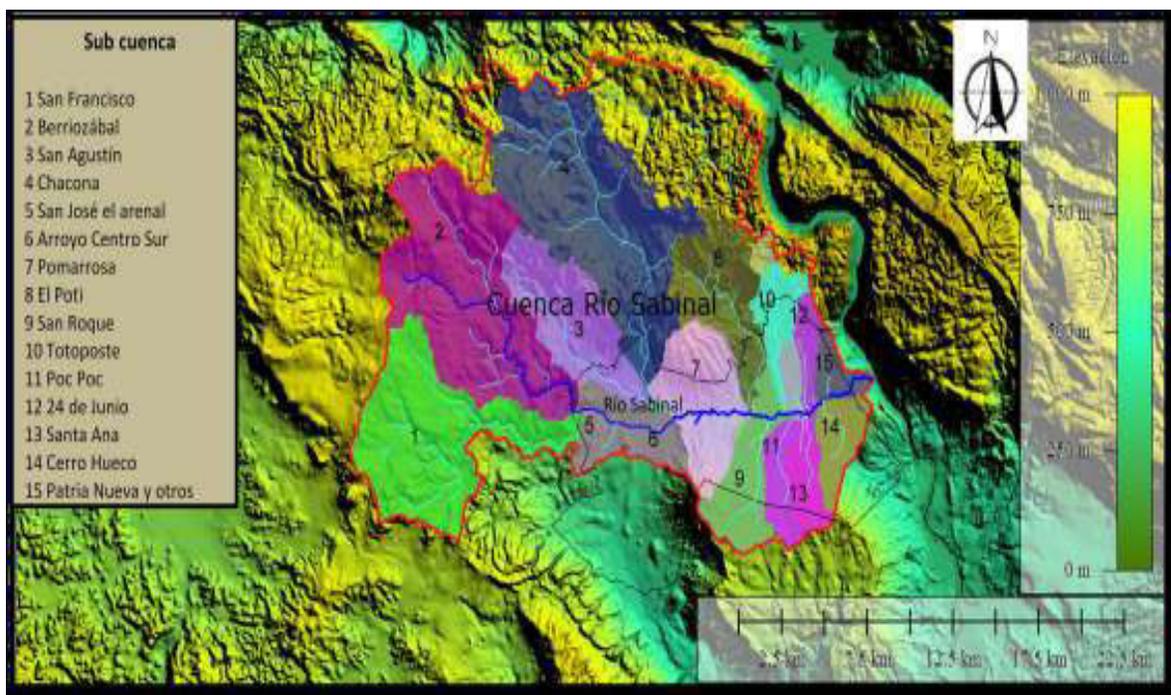


Figura 2.8 Ubicación geográfica del sistema de drenaje de la Cuenca del río, López 2006
(Ordóñez, J. 2013)

El crecimiento urbano ha tenido una notable expansión durante las últimas dos décadas, incrementándose el número de colonias, fraccionamientos, calles, avenidas, etc., lo que implica deforestación acelerada de la cuenca del río El Sabinal. Estos hechos, han provocado que el comportamiento del río El Sabinal y algunos de sus afluentes, durante la época de lluvias se torne peligroso, generando en los últimos años, inundaciones que han traído cuantiosas pérdidas de materiales y algunas pérdidas de vidas humanas (figura 2.9).



Figura 2.9 Inundación potencial de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. (Ordóñez, J. 2014).

2.2.4. Geotecnia

El río más importante del municipio es el Sabinal, que nace en el municipio de Berriozábal, fluye por el valle central de Tuxtla, atraviesa la ciudad y desemboca en el río Grijalva. Este río era el límite natural de la pequeña ciudad de Tuxtla Gutiérrez, alimentado por 7 arroyos, pero debido al aumento de la zona urbana, estos arroyos están embovedados o desaparecidos. En los años de 1960 proliferaron las áreas urbanas a ambos lados del río, haciendo de este el drenaje pluvial y sanitario más grande que tiene la ciudad, por ende, varios de sus alrededores son considerados zonas inundables. Es por esta razón que existe

mayor concentración de sedimentos y por consiguiente efecto de sitio con periodos fundamentales del suelo de 0.3 y 0.5, en las zonas más bajas correspondientes al suroriente de la ciudad. Con la información geológica, de acuerdo a las características geotécnicas del subsuelo de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, se establecen tres zonas geotécnicas (Ordóñez, J., 2010), como se muestra en la figura 2.10.

a). Zonificación Geotécnica 2008

Zona A: Esta parte corresponde a la zona centro de la ciudad, con pendiente suave, donde se concentra la mayor densidad poblacional, los depósitos de suelo están constituidos por terrenos aluviales que se encuentran a lo largo del cauce del río Sabinal y conforman un estrato de arcilla de color negro, de hasta 7 m de espesor, de alta plasticidad (CH) y de consistencia relativa media. Los estratos de arcilla presentan características con potencial de expansividad de media a alta (Ordóñez, J. 1994). Le subyacen depósitos de lutitas muy consolidadas. En esta misma zona al norte de la ciudad, al estrato de arcilla de hasta 3 m. de espesor, le subyacen depósitos de roca caliza. En la zona centro de la ciudad se localizan depósitos de arcillas y limos de color café claro de 8 a 10 m. de espesor, de media a baja plasticidad (CL y ML) y consistencia firme.

Zona B: Esta área urbana corresponde al lado suroriente y poniente de la ciudad, que presenta pendiente suave hasta llegar al libramiento sur, donde inician lomeríos, también de pendientes suaves; en la parte norte-poniente se tiene la presencia de depósitos de arcillas y lutitas muy fracturadas de color café oscuro (CH y CL), de consistencia firme en estado seco ($N > 30$) y saturado ($N < 12$), estos depósitos de suelos y rocas terminan incrustándose en la meseta de Copoya. A los depósitos de arcillas-lutitas le subyacen a los 25 m de profundidad, estratos de rocas lutitas.

Zona C: Esta parte comprende el norte-oriente y poniente de la zona urbana de la ciudad y las zonas suroriente y poniente del valle de Tuxtla Gutiérrez; en estas áreas se localizan afloramientos de estrato de rocas calizas muy intemperizadas

conocidas como caliche, sobre yaciéndoles una capa de arcilla de color negro, de media a alta plasticidad de 0.5 a 1 m de espesor. Los trabajos realizados por la empresa Geortec S.A. de C.V., demuestran que los estratos de roca caliza inician a partir de los 3 m de profundidad, en los límites urbanos del libramiento norte.

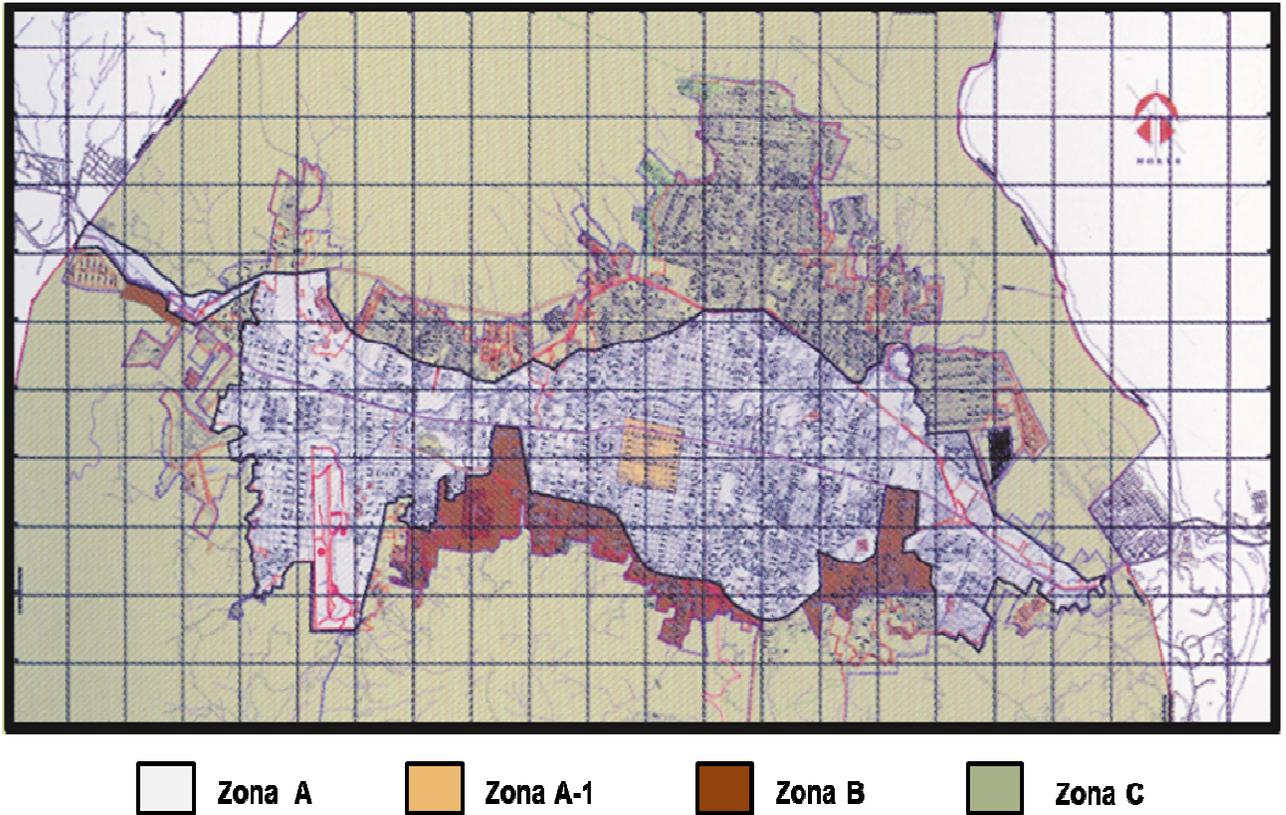


Figura 2.10 Zonificación Geotécnica de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
(Ordóñez, J. 2008)

Capítulo 3. Caracterización geotécnica del subsuelo de Tuxtla Gutiérrez

3.1. Descripción del subsuelo para fines geotécnicos

La geotecnia es un área del conocimiento científico y técnico orientada hacia las aplicaciones de la ingeniería civil, (Auvinet, 2002).

Con los resultados de los trabajos de investigación geotécnica realizados se obtuvieron las propiedades índice y mecánicas de los estratos de suelo. Con esta información se procedió a realizar la caracterización de los tipos de suelos que conforman el subsuelo y con los resultados se realizó la zonificación geotécnica de la ciudad (Ordoñez, J. 2008) para desarrollar esta investigación, se realizaron trabajos de campo y de laboratorio, para ampliar la información geotécnica del subsuelo.

Los estratos de arcillas con características expansivas del subsuelo de esta ciudad forman la zona geotécnica A. Estos estratos de arcillas se localizan en áreas urbanas extensas e importantes del valle de la ciudad. Estos suelos registran, durante el ciclo anual de lluvias y estiaje, variación en su contenido de agua y se comportan como: suelo saturado y no saturado, generan expansiones y contracciones. Las muestras de arcillas obtenidas en estas zonas urbanas han registrado valores de contenido de agua que oscilan de $w \cong 15\%$ en época de estiaje a $w \cong 40\%$, en épocas de lluvias. Esta variación obedece a la conformación mineralógica de la estructura de las arcillas (montmorillonita e illitas), estas condiciones físico-químicas, origina que los estratos de arcillas registran potenciales de expansión de medio, alto a muy alto y presiones de expansión mayores a 2.4 kg/cm^2 (240 kPa).

Los estratos de arcillas (CH y CL) con el nombre de "lutitas", producto de los procesos de intemperización de rocas blandas. Estos geo materiales se localizan en el subsuelo de la zona geotécnica B y comprende las zonas urbanas: sur-oriente y poniente, y en algunas áreas de la planicie urbana de la ciudad. Estos suelos presentan variaciones en su contenido de agua en los estratos superficiales de 0 a 5 m de profundidad. En estos ciclos anuales de lluvias y estiaje, por la

variación en su contenido de agua, se comportan como suelos saturados y no saturados de 5 a 10 m hasta de profundidad. Así también, se tiene la presencia de estratos de arcillas intercalados con boleos de rocas “lutitas” de 3” a 4”. De 10 a 30 m de profundidad se localizan estratos de rocas “lutitas” con RQD < 50% y a partir de los 30 m de estrato de rocas RQD=50 a 100%. Los taludes o laderas naturales de arcilla “lutitas” que presentan ángulos de inclinación $\beta < 6^\circ$ a 15° en épocas de lluvias por la presencia de flujos de corrientes de agua en el subsuelo el estrato superficial de arcilla disminuye su resistencia al esfuerzo cortante y causan deslizamiento en los taludes.

Se presentan los parámetros geotécnicos que influyen en el comportamiento de los estratos de arcillas expansivas y lutitas.

Parámetros índices: contenido de agua (w) peso volumétrico seco (γ_d) y saturado (γ_{sat}), grado de saturación (S_r), relación de vacíos inicial y final (e_0 y e_f) índice de expansión (c_s), índice de contracción (I_s), granulometría (F, S, G) y % de partículas $< 2\mu$, límites de Atterberg (w_L , w_S , w_P), contracción lineal (s_L), índice plástico (PI) y densidad de sólidos (G_s). Parámetros mecánicos de compresión: compresión simple (q_u), cohesión (c_{uu}) y ángulo de fricción interna (ϕ_u), expansión vertical (E_v) y presión de expansión (σ_s).

3.1.1. Propiedades índice

Para fines de caracterización geotécnica, los parámetros a considerar son:

Contenido de agua (w)

Se define como la relación del peso del agua entre el peso de las partículas sólidas de una muestra de suelo. Esta propiedad es la que determina el mayor número y se emplea como un índice cualitativo, que a través de correlaciones existentes permiten intuir en forma cuantitativa algunas propiedades físicas del suelo y su variación en un mismo estrato. Además, permite identificar cambios de tipo de suelo, los valores del contenido de agua de un suelo son un indicador de sus propiedades de resistencia y deformación.

Peso volumétrico (γ)

Se define como la relación del peso entre el volumen del suelo, como propiedad índice proporciona una idea clara de las características de resistencia y deformabilidad del material y contribuye a clasificar suelos potencialmente expansivos o colapsables, la principal aplicación de esta propiedad índice está en la determinación de los esfuerzos geoestadísticos.

Grado de saturación (S_r)

Se define como la relación del contenido de agua en la estructura del suelo, es una propiedad índice muy importante en los ensayos de consolidación-expansión, resistencia y permeabilidad.

Relación de vacíos (e)

Se define como la relación entre el volumen de los vacíos y de los sólidos de un suelo. Esta propiedad es un indicador de la variación volumétrica, la resistencia al esfuerzo cortante, la permeabilidad de la susceptibilidad al colapso por saturación de los suelos granulares.

Granulometrías

La granulometría de los suelos indica la distribución de las partículas sólidas constituyentes según sus tamaños. En las clasificaciones basadas en las características granulométricas es común distinguir entre las distintas fracciones: suelos gruesos (gravas y arenas) y suelos finos (limos y arcillas). Para fines prácticos los suelos se clasifican en: suelos finos (F), suelos gruesos que se dividen en arenas (S) y gravas (G) y a partir de los resultados del ensayo en el hidrómetro se conoce el porcentaje de partículas menores a 0.002 mm (2μ).

Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg son ampliamente usados para identificar, describir y clasificar los suelos cohesivos, los resultados proporcionan de manera preliminar sus propiedades mecánicas. En función de la cantidad de agua en la estructura del suelo, presenta propiedades que corresponden a los estados: líquido,

semilíquido, plástico, semisólido y sólido. Los límites de Atterberg son los contenidos de agua que marcan los límites entre estos diferentes estados. Límite líquido (w_L), límite plástico (w_p) y el límite de contracción volumétrica (w_s).

En los suelos expansivos, la variación del contenido de agua, los límites de consistencia y en la cantidad de partículas finas que pasan la malla 200 y el porcentaje de partículas menores $2\ \mu$, influyen de manera directa en el potencial y la presión de expansiones de las arcillas. Al aplicar los métodos directos e indirectos, se corroboran los conceptos expuestos en el párrafo anterior.

3.1.2. Propiedades mecánicas

Se seleccionaron los sitios en las zonas urbanas donde se tiene la presencia de suelos expansivos (zona A). Se realizaron los trabajos de exploración y muestreo en épocas de lluvia y estiaje, se recuperaron muestras de suelos en estado alterado e inalterado. Se realizaron ensayos de laboratorio para determinar las propiedades índice mecánica de los estratos de suelos.

Se determinaron las propiedades índice para aplicar los métodos indirectos y determinar el potencial de expansión de los estratos de arcillas. Se ensayaron en el consolidómetro muestras inalteradas, para determinar los parámetros de variación volumétrica y la presión de expansión del suelo. Las muestras de arcilla se ensayaron en el consolidómetro, bajo dos modalidades de carga y saturación: consolidación-saturación (edómetro simple) y el doble ensayo en el consolidómetro (doble edómetro). Se realizaron ensayos de comprensión simple y triaxiales (uu), para determinar los parámetros: q_u , c_u y ϕ_{uu} .

3.1.3. Propiedades hidráulicas

Se define estas propiedades para determinar la permeabilidad de los estratos de suelos y rocas. Esta propiedad se determina en pocas ocasiones, los ensayos de laboratorios o campo son tan complejo y en ocasiones los resultados del ensayo presentan incertidumbre tanto en campo como en laboratorio.

3.1.4. Identificación y clasificación de arcillas expansivas

Se presenta en la figura 3.1, la información existente sobre la presencia de arcillas expansivas en más de 19 ciudades de la república mexicana. La identificación y clasificación de los suelos expansivos en varias ciudades importantes de nuestro país tienen como propósito principal la caracterización cualitativa del cambio potencial de volumen de los suelos que presenta problemas de expansividad.

Actualmente existe una gran variedad de métodos para identificar y clasificar el potencial y la presión de expansión de los suelos, pueden dividirse en dos categorías: métodos indirectos (empleando las propiedades índice) y directos (empleando los resultados de los ensayos obtenidos en el consolidómetro). Se presenta en este capítulo, los resultados de los ensayos de laboratorio y los métodos indirectos y directos.

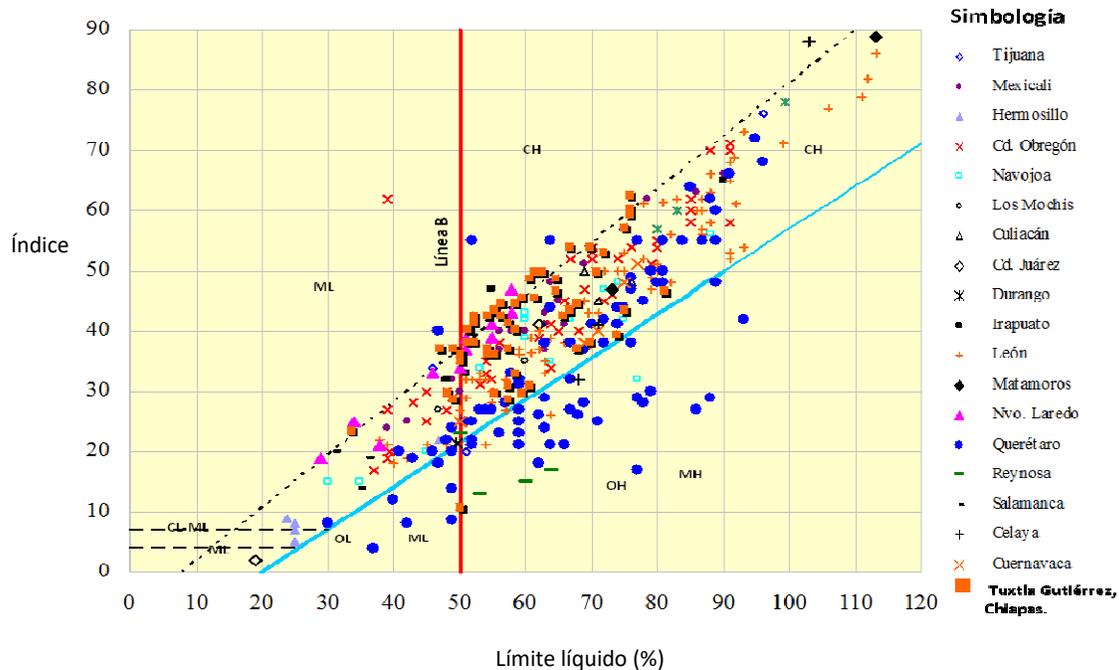


Figura 3.1 Ciudades de la República Mexicana con presencia de suelos expansivos (Ordóñez, 2014).

3.1.5. Métodos indirectos

Para identificar y clasificar el grado o potencial de expansión de los estratos de arcilla a partir de sus propiedades índice, se realiza empleando los métodos

indirectos. Actualmente existen diversos criterios y métodos para determinar el grado o potencial de expansión de los suelos. En este trabajo se describen y emplean los que se consideran más adecuados y confiables. Entre estos destaca el método de Weston (Pausada, 1984) que proporciona el porcentaje de expansión y permite estimar la presión de expansión, a partir de tres parámetros geotécnicos.

Para la aplicación de los métodos indirectos, las propiedades índice a considerar en el análisis son:

1. Contenido de agua, $w(\%)$
2. Peso volumétrico seco γ_d (kg / m^3)
3. Límites de Atterberg: $W_L, W_S, W_P(\%)$
4. Contracción lineal $S_L(\%)$
5. Granulometrías: F, S, G (%)
6. Contenido de partículas menores a 2μ , coloides (%)

a) Criterio de Dakshanamurthy y Raman (1973)

Dakshanamurthy y Raman (1973), a partir del gráfico de plasticidad de Casagrande (1948) modificado por Dumbleton (1968) proponen clasificar la expansividad en función del límite líquido y del índice de contracción $I_s = w_L - w_S$. Con los pares de valores (w_L, PI) y (w_L, I_s) se determina la expansibilidad del suelo, como se indica en la figura 3.2.

De acuerdo con estos autores, la expresión que permiten calcular la expansión vertical de un estrato de arcilla es:

$$E(\%) = 41.14 \times 10^{-5} \times I_s^{2.67} \quad 3.1$$

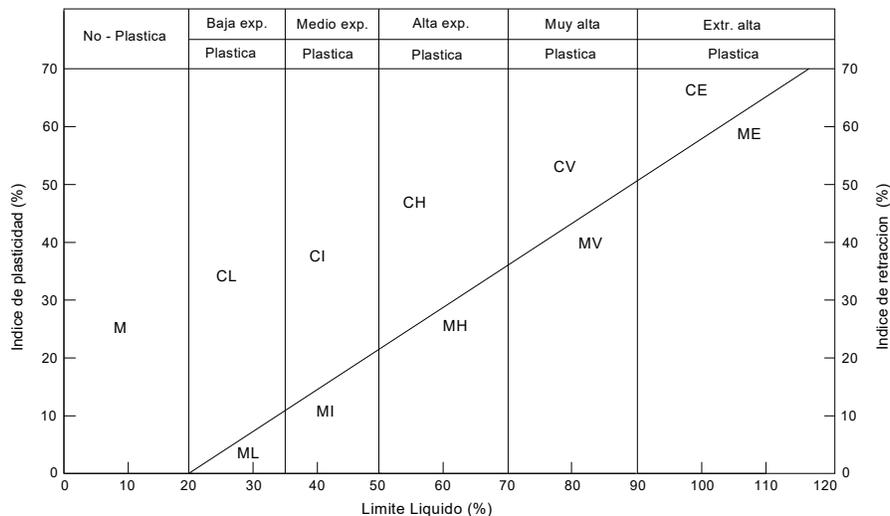


Figura 3.2 Gráfica para clasificar el potencial de expansión de las arcillas, en función de wL, PI y el Is (Dakshanamurthy y Raman, 1973).

Raman (1967) propone clasificar el grado de expansión en función del índice de plasticidad (PI) y del índice de contracción (Is), como se presenta en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Clasificación de expansión del suelo en función de los índices de plasticidad y de contracción.

| Índice plástico (%) | Índice de contracción (%) | Grado de expansión |
|---------------------|---------------------------|--------------------|
| <12 | <15 | BAJO |
| 12 a 23 | 15 a 30 | MEDIO |
| 23 a 32 | 30 a 40 | ALTO |
| >32 | >40 | MUY ALTO |

b) Método de Vijayvergiya y Ghazzaly (1973)

Ambos realizaron un número importante de ensayos de límite líquido y contenido de agua. Con los resultados obtenidos establecieron una correlación entre los valores del límite líquido y el contenido de agua del estrato de suelo que presenta cambios de contenido de agua durante el ciclo hidrológico anual, conocida como la zona activa. En la figura 3.3, se presentan los resultados de la expansión libre superficial, que puede determinarse con la expresión siguiente:

$$\Delta_{SF} = 0.003 Z S_f \quad (3.2)$$

Donde:

Δ_{sf} = expansión superficial libre, Z = profundidad de la zona activa (m) y S_f = porcentaje de expansión libre (%).

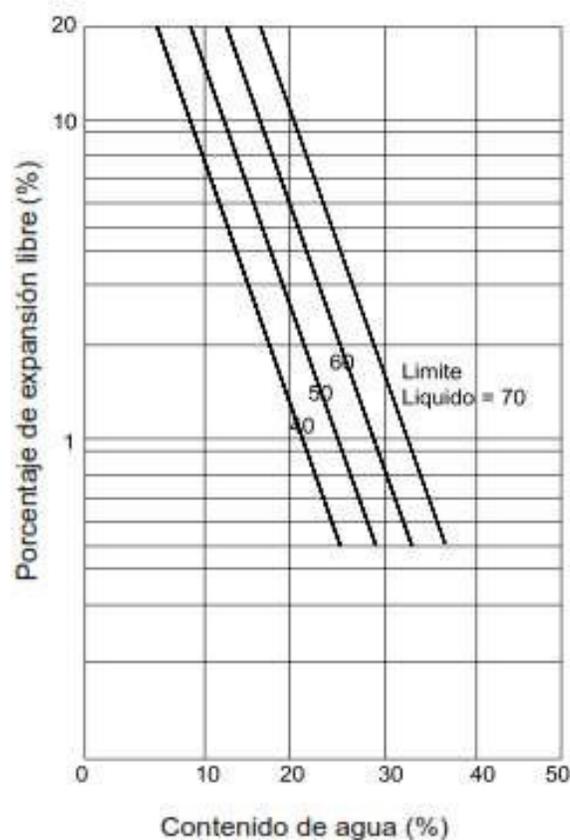


Figura 3.3 Relación entre el porcentaje de expansión libre, el límite líquido y el contenido de agua del suelo (Vijayvergiya y Ghazzaly, 1973)

c) Método de Weston (1980)

Weston, realizó estudios para obtener la correlación entre expansión y otros parámetros del suelo (indicadores de las características de expansión). Realizó análisis estadístico utilizando el análisis con regresión multilínea. Los ensayos realizados en el consolidómetro con inundación se hicieron con muestras con diferentes contenidos de agua inicial y cargas diversas.

El modelo seleccionado para las pruebas fue el siguiente:

$$E = c_1 \cdot (w_{Lw})^{c_2} \cdot (\gamma_d)^{c_3} \cdot (p)^{c_4} \cdot (w_i)^{c_5} \quad (3.3)$$

Donde:

E = expansión del suelo en %, bajo una sobrecarga (p)

w_L = límite líquido en %

w_{Lw} = límite líquido ponderado, porcentaje en peso

p = presión volumétrica seco del suelo en kPa

w_i = contenido de agua inicial en %

γ_d = peso volumétrico seco del suelo en kN/m³

c = coeficientes o exponentes de regresión

El indicador óptimo encontrado para definir la expansibilidad de la arcilla es el límite ponderado, definido de la manera siguiente:

$$w_{Lw} (\%) = w_L (\% < malla\#40 / 100) \quad (3.4)$$

La inclusión del peso volumétrico seco, solo reduce la desviación estándar de la estimación de la expansión, en aproximadamente 2%, por lo que Weston (1980) considero que no influya de manera significativa en la ecuación de regresión.

Se determinó la expresión óptima, usando el sistema de unidades internacionales y se expresa de la manera siguiente:

$$E(\%) = (0.000411)(w_{Lw})^{4.17} (p)^{-0.386} (w_i)^{-2.33} \quad (3.5)$$

También es posible determinar el porcentaje de expansión del suelo, empleando la Figura 3.4. El método de Weston (1980) destaca entre los métodos indirectos, porque es el que mayor exactitud presenta en el análisis para determinar las características de expansividad de los estratos de arcilla.

La aplicación de los parámetros de las propiedades índice y la propuesta de una presión vertical, que simula la presión de la cimentación, es posible definir los porcentajes de expansión y su variación en función de los cambios del contenido de agua de la muestra del estrato de arcilla, que presenta en las diferentes épocas del año. Se recomienda que los resultados obtenidos con este método se corroboren con los resultados obtenidos en el consolidómetro.

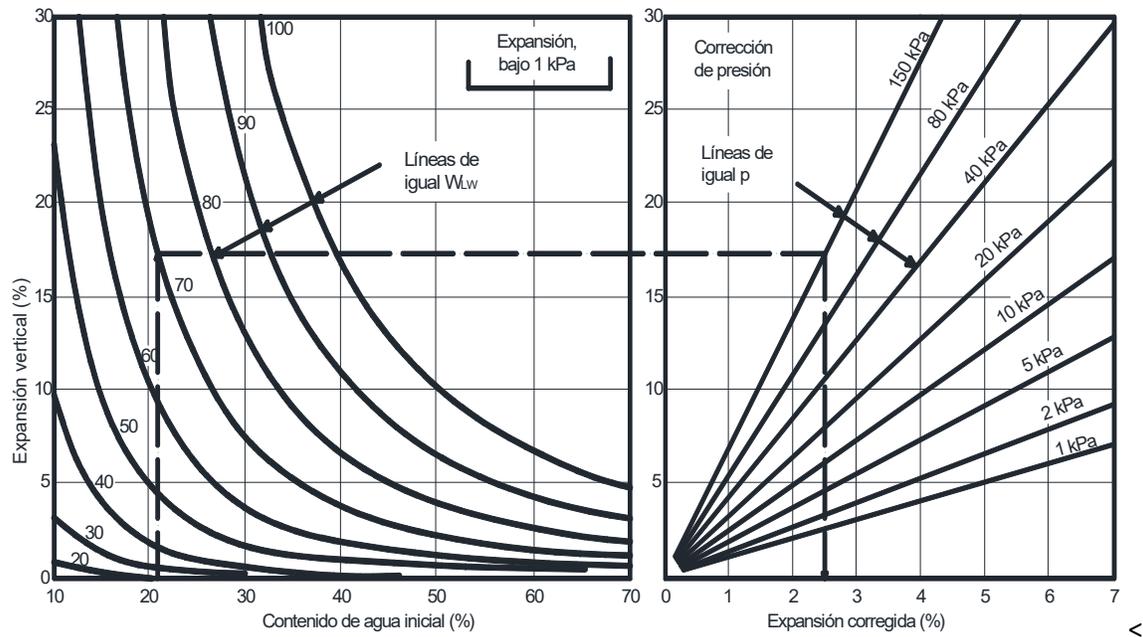


Figura 3.4 Determinación de la presión de expansión en función de: w_{Lw} , p , w_i (Weston, 1980)

3.1.6. Métodos directos

Estos métodos son los más comunes para predecir la expansión del suelo e implican el uso de aparatos de consolidación (edómetros). Existen varios procedimientos de ensayos con el uso del consolidómetro; sin embargo, en este trabajo de investigación aplicaremos solamente dos de ellos: el ensayo de consolidación-expansión (edómetro simple), y el doble ensayo en el consolidómetro (doble edómetro). Estos métodos son relativamente fáciles de realizar y proporcionan información muy confiable respecto al potencial y a la presión de expansión de los estratos de arcillas. Para fines de práctica profesional,

es posible simular las condiciones de deformabilidad y de esfuerzos “in situ” para las condiciones de un estrato de suelo saturado (Fredlund y Rahardjo, 1993).

a) Ensayo de consolidación-expansión (edómetro simple)

Este ensayo se realiza aplicando una carga inicial a un espécimen de suelo inalterado con contenido de agua natural (no saturado) para preestablecer el nivel de esfuerzos inicial (σ_0). El espécimen registra una expansión bajo esta carga cuando se le adiciona agua. La sobrecarga inicial puede representar la sobrecarga natural del suelo $\sigma_0 = \gamma \cdot z$.

Posteriormente se satura el espécimen durante siete días, para alcanzar su grado de saturación total y la expansión máxima para esta condición de carga. Se continúa con aplicaciones de sobrecargas en función de las condiciones estructurales del proyecto o bajo cargas seleccionadas. Terminada la consolidación del espécimen de suelo se procede a descargar el consolidómetro de manera tradicional. Se define la presión de expansión del volumen inicial. En la figura 3.5, se idealizan los resultados del ensayo de consolidación–expansión. El parámetro σ_s , representa la presión de expansión del suelo y Δ_e , la diferencial de relación de vacíos expuesto anteriormente (Miller, 1980).

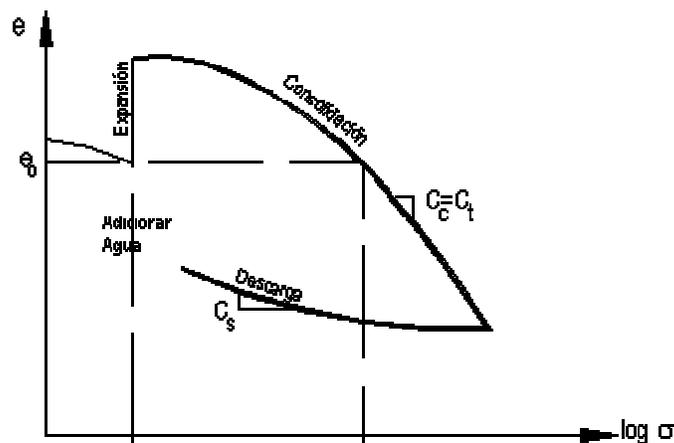


Figura 3.5. Gráfica con resultados de un ensayo de consolidación-expansión

3.1.7. Zonificación geotécnica Actual

Para poder definir la zonificación geotécnica actual de la ciudad, se empleó la metodología siguiente:

1) Recopilar con la línea de investigación las características geotécnicas del subsuelo de la ciudad, de la zona geotécnica A donde se ubican los estratos de arcilla expansivas.

2) Recopilar la información geológica de los estratos de rocas sedimentarias, calizas y “lutitas” depositados en el valle de Tuxtla Gutiérrez.

3) Recopilar el origen de la formación de los diferentes tipos de suelos aluviales depositados en la zona urbana de la ciudad.

4) Recopilar en las colonias: las P almas, la Salle y el Retiro. Se determinaron las propiedades índice y mecánicas con la exploración y muestreo del subsuelo de las colonias citadas donde se realizó la investigación. Información geotécnica de los sondeos realizados en la zona urbana de la ciudad, tipo PCA, SPM, con SPT.

5) Establecer un sistema de información geotécnica para recopilar la información de los trabajos de investigación realizados.

Se realizaron sondeos tipo PCA y SPM, con ensayo SPT. Se determinó la estratigrafía de los estratos de suelos en las áreas urbanas de las colonias citadas en el inciso 4.

Se presenta la información de las características geotécnicas de las zonas urbanas: A, B y C.

Zona A

En la zona urbana de mayor densidad poblacional y del subsuelo está constituido por estratos de suelos aluviales, ubicados en la planicie de la ciudad. Esta zona geotécnica está formada por estratos de arcillas expansivas y comprende a la zona centro de la ciudad. Existen zonas urbanas con presencia de estos suelos en

los márgenes norte y sur del cauce del río Sabinal y conforman un estrato de arcilla de 0 a 10 m de profundidad, de color negro, de media a alta plasticidad (CH) y de consistencia blanda, media a firme.

Al inicio y final del cauce del río Sabinal, en sus márgenes existen estratos de arcillas de color gris oscuro y le subyacen depósitos de “lutitas” muy consolidadas. Se presentan en la zona norte de la ciudad lomeríos de pendiente suave conformados por estratos de arcillas expansivas que subyacen depósitos de “caliche” o roca caliza. Las arcillas presentan potencial de expansión; bajo, medio, alto a muy alto (Ordóñez, 1994).

Se presentan en la zona centro de la ciudad depósitos de arcillas (CL y CH) y limos (ML y MH) de 0 a 10 metros de espesor, de color café claro a tono oscuro. Estos suelos presentan consistencia media, firme a muy firme y le subyacen depósitos de rocas “lutitas” y calizas. Por las características geotécnicas del subsuelo estas áreas urbanas se ubicaron en el mapa de zonificación, como la zona A. En la tabla 3.5, se resumen los valores de las propiedades índice y mecánicas de la zona geotécnica A. Se presentan las propiedades índice y mecánicas de los estratos de arcillas expansivas. Para obtener los parámetros de resistencia, se realizaron ensayos de campo SPT y de laboratorio, compresión simple y triaxial (uu). Para determinar los parámetros de expansión y presión de expansión, se ensayaron muestras de suelo inalteradas en el consolidómetro (edómetro). Se presenta los rasgos de los parámetros geotécnicos obtenidos de los ensayos realizados (tabla 3.5).

Tabla 3.5 Se presentan las propiedades índice y mecánicas de las arcillas expansivas de la zona A-oriente (Ordóñez ,2014)

| w % | Sr % | G _s | w _L % | w _P % | PI % | F % | S % | G % | γ _m kg/m ³ | γ _d kg/m ³ | e ₀ | C _s | C _c | q _u kPa | φ _u | SPT (N) |
|-----------|------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------|-----------|----------|---------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|----------------|------------|
| 15– 40 | 55– 100 | 2.5 – 2.7 | 40– 75 | 14– 30 | 26– 55 | 80– 99 | 0– 20 | 0– 5 | 1650– 1850 | 1400 – 1550 | 0.4– 1.2 | 0.14– 0.006 | 0.38– 0.07 | 50– 200 | 4°– 12° | 8 – 30 |

Zona B

Se localiza en la zona urbana sur- oriente y poniente de la ciudad, que presenta pendiente suave hasta llegar al libramiento sur, donde inician lomeríos, también de pendientes suaves. Existen lomeríos en la zona urbana norte-poniente, conformados por depósitos de arcillas “lutitas” muy estratificadas de color café oscuro (CH y CL) y presentan consistencia: blanda, firme a muy firme. Estos depósitos de suelos y rocas terminan incrustándose en la Meseta de Copoya, de edad eocénica, que conforma un paquete de rocas calcáreas de color amarillo ocre. A partir de 7 a 10 m de profundidad, existen estratos de rocas blandas “lutitas”.

Zona C

Esta zona urbana comprende la parte norte-oriente y poniente, y la zona sur-oriente y poniente del valle de la ciudad. En estas áreas se localizan depósitos de rocas calcáreas de origen sedimentario, con afloramientos de estratos de rocas calizas. En los límites de la zona urbana norte de la ciudad, se localizan estratos de rocas calizas muy intemperizadas conocidas regionalmente como “caliche”. A estos geomateriales a partir de 0.5 a 1 m de profundidad, le sobreyacen una capa de arcilla de color negra de características expansivas. La expansividad se puede clasificar como de: baja, media a alta plasticidad.

La investigación realizada indica que en el libramiento norte de la ciudad los estratos de roca caliza inician a partir de 0 a 3 m de profundidad. En el libramiento sur, inician los lomeríos de estratos de arcillas “lutitas”. En la planicie de los lomeríos, a partir de los 7 a 10 m de profundidad, se presentan estratos de rocas blandas conocidas como “lutitas”. En los márgenes del río Sabinal, a partir de 10 a 12 m, le subyacen estratos de rocas “lutitas” (Ordóñez, 2007). Los estratos de rocas calizas que existen dentro de la zona urbana norte: oriente y poniente de la ciudad, se localizan a partir de los 12 a 15 m de profundidad. Con esta información es posible realizar la clasificación geomecánica siguiente: de 12 a 17 m de profundidad, existen estratos de rocas con bajos índice de calidad (RQD). De 17 a 25 m de profundidad, se localizan estratos de rocas con índice de calidad media

%70<RQD>50% y con índice de calidad RQD>70%. A partir de 30 a 40 m de profundidad se han obtenido estratos de rocas con índice de calidad RQD> 90%. Estos estratos de rocas son de buena a excelente RQD>100%.

Con la información geotécnica recopilada de la investigación realizada, (Ordóñez, J. 2014). Se actualizó el mapa de zonificación geotécnica de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Geortec (Ordóñez, 2014). Figura 3.6.

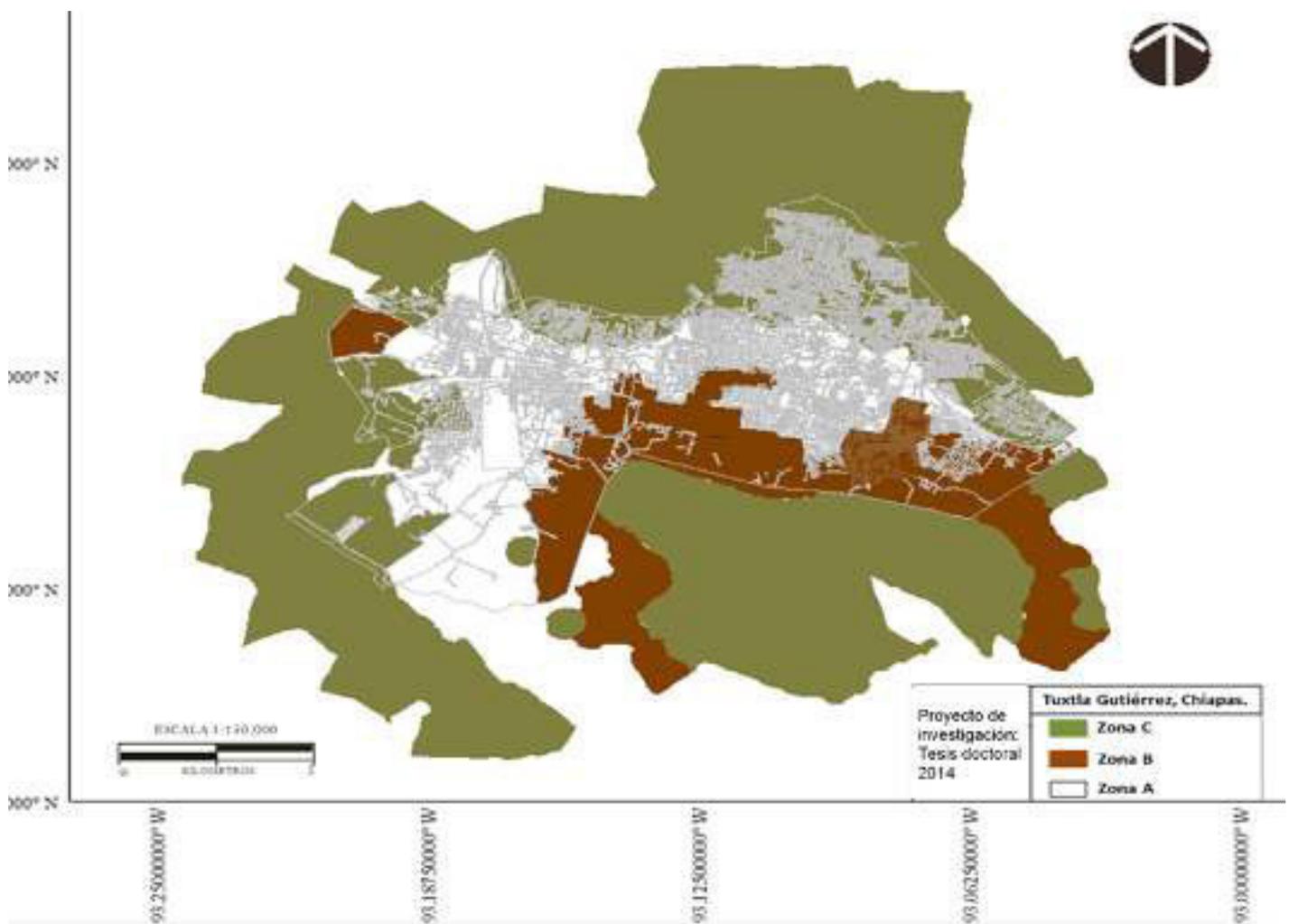


Fig. 3.6. Actualización del mapa de zonificación geotécnica de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Geortec (Ordóñez, 2014)

3.2. Investigación de las arcillas expansivas de la zona oriente sur de la ciudad.

En esta investigación se realizaron trabajos de exploración y muestreo: Pozos a Cielo Abierto (PCA), Pozos con Sondeos Profundos Mixtos (SPM, con ensayo de SPT). Se extrajeron muestras alteradas e inalteradas; estas muestras se ensayaron en el laboratorio y se determinaron las propiedades índice y mecánicas. Las zonas urbanas donde se realizaron los trabajos de extracción de las muestras de suelos fueron en: Colonias, La Salle, Las Palmas y El Retiro. Estas Colonias se ubican en la denominada zona geotécnica A, ubicadas en la zona urbana norte - sur de la ciudad.

De la exploración de los sondeos realizados se extrajeron muestras alteradas e inalteradas para el ciclo hidrológico anual (estiaje y lluvias). En los sondeos realizados se registraron los resultados de los ensayos de campo, con clave y coordenadas (x, y, z). Las muestras extraídas se trasladaron al laboratorio conforme a las especificaciones que establecen las normas: NMX y ASTM.

3.2.1. Ensayes de laboratorio

Se realizaron los ensayos de laboratorio conforme a las normas internacionales (ASTM) y nacionales (NMX-416). Se realizaron los ensayos en el consolidometro para determinar las propiedades índice y mecánicas, los resultados se presentan en tablas, figuras y perfiles estratigráficos.

Propiedades índice

Se determinó el contenido de agua ($\omega, \%$), los pesos volumétricos en kg/m^3 (γ , γ_{sat} , γ_d) los límites de consistencia: ($(\omega_L, \omega_p, \omega_s)$) y de contracción lineal (s_L) en porcentaje (%). Se determinaron las granulometrías por el método de tamizado en porcentaje (%) (F, S, G). Por el método de sedimentación se determinó el porcentaje de partículas $<2\mu$ (0.002 mm). Se utilizó en este ensayo el

defloculante hexametáfosfato de sodio. Se realizó el ensayo de densidad de las partículas sólidas (G_s).

Propiedades mecánicas

Se realizaron ensayos para determinar los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante de los suelos: compresión simple (q_u), triaxiales (uu), en y ángulo de fricción interna (ϕ).

Se realizaron ensayos para determinar los parámetros de deformación volumétrica: ensayo de consolidación-expansión (edómetro simple). Al realizar estos ensayos se determinaron los parámetros geotécnicos siguientes: contenido de agua, grado de saturación, relación de vacíos inicial y final, índice de consolidación y de expansión, la expansión del suelo y la presión de expansión. Los resultados de los ensayos se presentan en el inciso 3.2.4.

3.2.2. Representación de las características geotécnicas del subsuelo de la zona geotécnica oriente sur.

Se creó un sistema para el registro de la información geotécnica y se presentan los resultados en tablas, perfiles y cortes estratigráficos. El sistema registra la información de los diferentes tipos de sondeos: PCA, SPT y SPM.

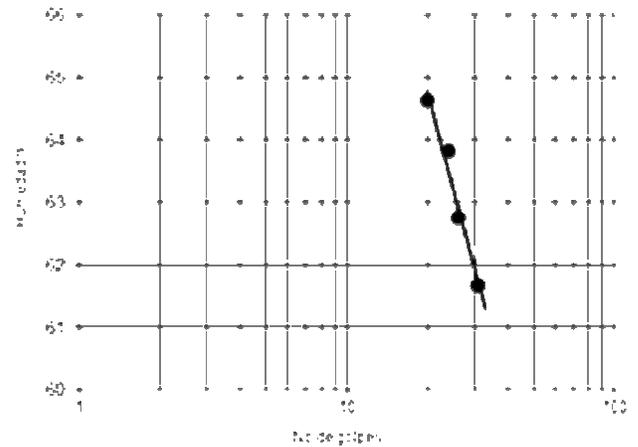
- Tablas

Los parámetros geotécnicos de los estratos de suelos, propiedades índice y mecánicas, se presentan en tablas. Este procedimiento es una técnica sencilla y muy utilizada para organizar y presentar la información de los parámetros geotécnicos con una estructura matricial ordenada por filas y columnas. En la tabla 3.6, se presenta la información de los sitios investigados: a) Col. Las Palmas, b) Col. La Salle y c) Col. El Retiro.

Tabla 3.6 Información geotécnica del sitio en época de estiaje, zona A.

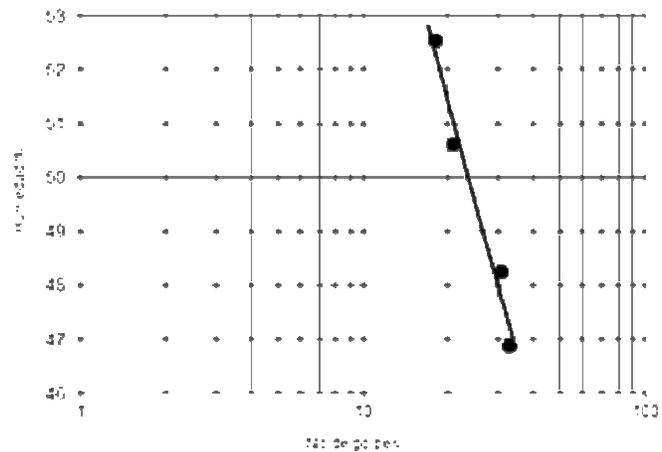
a) Las Palmas

| PCA-1 | |
|----------------------|--------------|
| Prof: | 0.5 – 1.80 m |
| LÍMITE PLÁSTICO | |
| WP= | 23.4 |
| LÍMITE LÍQUIDO | |
| WL= | 63.5 |
| CONTRACCIÓN LINEAL | |
| WL(%)= | 16.1 |
| ÍNDICE PLÁSTICO (IP) | |
| WL - WP (%)= | 40.1 |



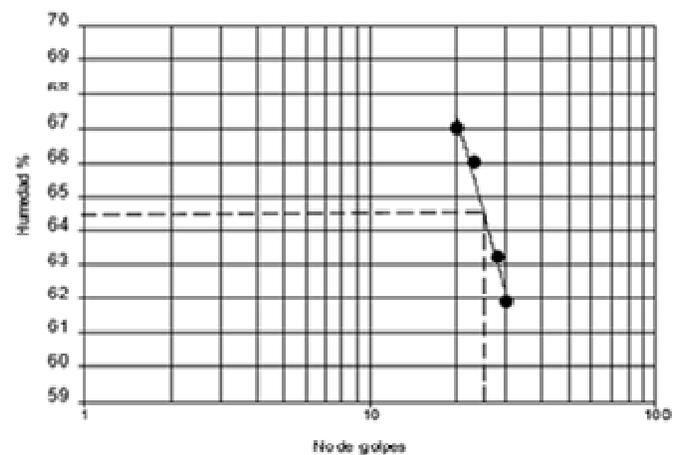
b) La Salle

| PCA-1 | |
|----------------------|------------|
| Prof: | 0.4-1.15 m |
| LÍMITE PLÁSTICO | |
| WP= | 15.7 |
| LÍMITE LÍQUIDO | |
| WL= | 49.6 |
| CONTRACCIÓN LINEAL | |
| WL(%)= | 16.1 |
| ÍNDICE PLÁSTICO (IP) | |
| WL - WP (%)= | 33.9 |



c) El Retiro

| PCA-1 | |
|----------------------|-------------|
| Prof: | 0.00-2.60 m |
| LÍMITE PLÁSTICO | |
| WP= | 23.6 |
| LÍMITE LÍQUIDO | |
| WL= | 64.6 |
| CONTRACCIÓN LINEAL | |
| WL(%)= | 19.6 |
| ÍNDICE PLÁSTICO (IP) | |
| WL - WP (%)= | 41 |



- Perfiles

Los perfiles estratigráficos se utilizan a nivel internacional para concentrar la información geotécnica obtenida de los trabajos de exploración, muestreo y los resultados de los ensayos de laboratorio. Este formato permite observar de manera muy clara los parámetros geométricos y geotécnicos de los estratos de suelos y rocas a las diferentes profundidades exploradas. Al unir con líneas rectas los puntos de los datos permite interpretar las propiedades de los suelos. Se empleó el Software-Strater, diseñado especialmente para representar de manera gráfica las propiedades geotécnicas de los estratos del subsuelo explorado. En la figura 3.13, se presenta el perfil estratigráfico del sondeo PCA-01, que representa las características geotécnicas de las áreas urbanas de la zona geotecnia **A**.

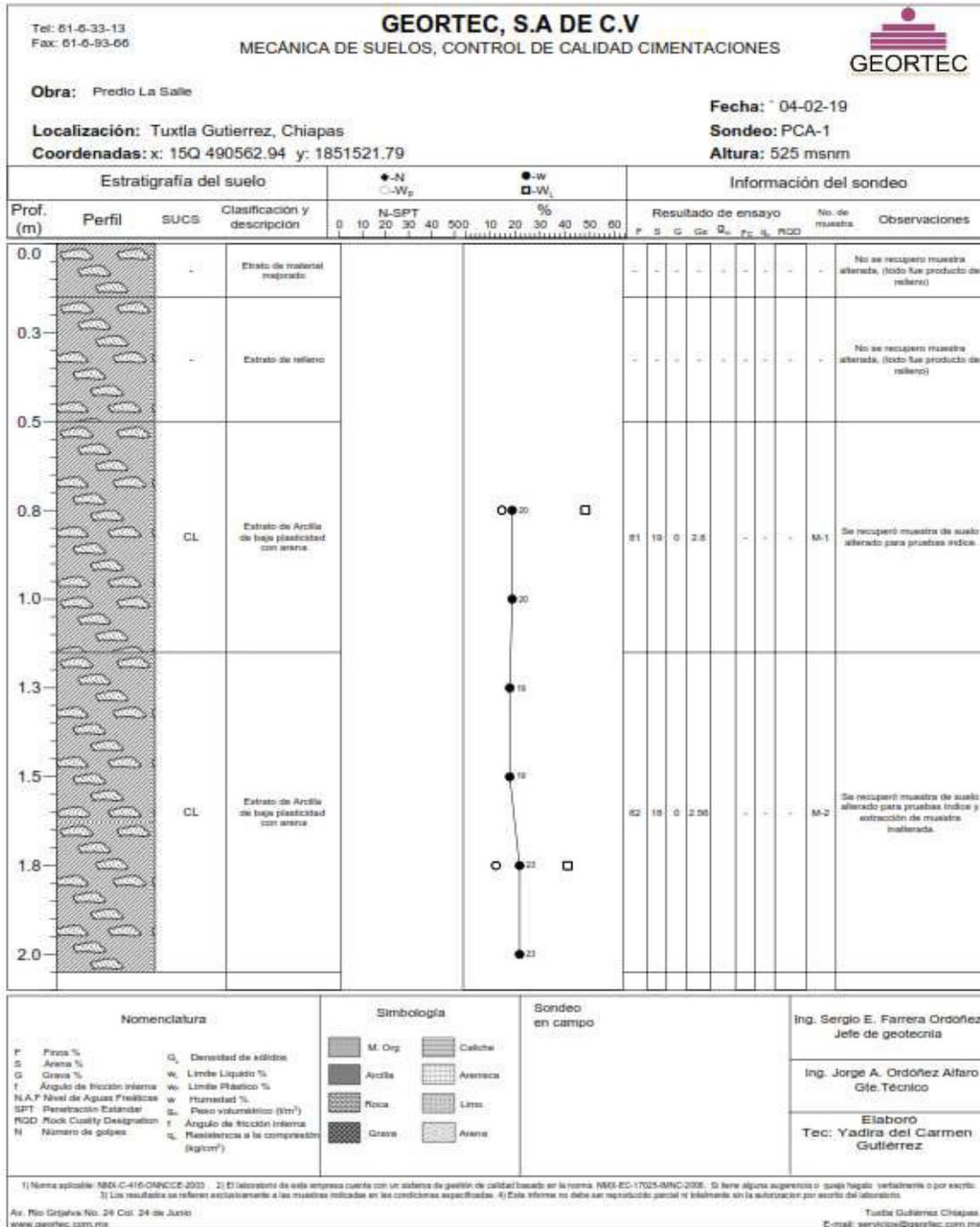


Figura 3.13 Perfil estratigráfico PCA-1, Col. La Salle.

- Cortes estratigráficos

Se presentan los cortes estratigráficos típicos de la zona geotécnica A. En la figura 3.14, se presenta el corte transversal de los estratos de arcillas expansivas de los sitios investigados de la zona geotécnica **A**. Se observa que en los tres cortes se presentan estratos de arcilla de media a alta compresibilidad (CH, CL). En los cortes estratigráficos se describen la: profundidad, simbología, clave y distancias entre sondeos. Las propiedades geotécnicas de los estratos de suelos están descritas de acuerdo con la clave del sondeo (anexo A).

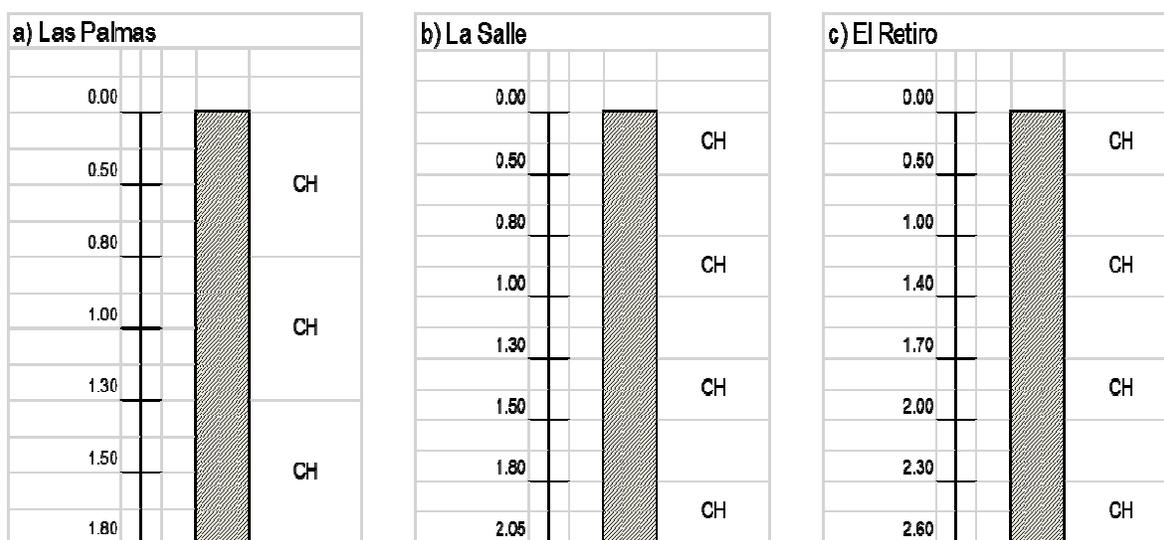


Figura 3.14 Corte transversal de los estratos de arcilla expansiva, Colonias: Las Palmas, La Salle y El Retiro.

3.2.3 Clasificación e identificación de los suelos expansivos con propiedades índice

Los sitios estudiados están ubicados en la zona geotécnica **A** y corresponden a las zonas urbanas siguientes: Col. Las Palmas, La Salle y El Retiro. La información geotécnica se obtuvo de resultados de estudios geotécnicos y de los ensayos realizados a las muestras de suelos obtenidos de los sondeos experimentales. Esta información se concentró en el sistema informático, los

parámetros geotécnicos se presentan en el anexo A. Para identificar y clasificar la expansividad de las arcillas se aplicó la metodología siguiente:

1. Se recopiló la información de las zonas urbanas donde se tienen registros de estratos de arcillas de características expansivas. Se realizaron ensayos experimentales en el sitio, para ampliar la información geotécnica. A partir de esta información se realiza la caracterización de los estratos de arcillas.

2. Para identificar y clasificar el potencial de expansión de los estratos de arcillas se aplican los métodos indirectos propuestos en el texto de este capítulo. Con esta información se propone un criterio para la clasificación de riesgos geotécnicos y se presenta en el capítulo cuatro.

3. Se define la profundidad de la zona activa de los estratos de arcillas expansivas para las épocas de estiaje y lluvias, en función de la variación del contenido de agua entre el índice de plasticidad ($Z = \frac{w}{PI}$)

4. Se aplica el método de Weston (1990), para determinar el porcentaje de expansión (E %) de los estratos de arcilla de los sitios: Col. Las Palmas, Col. La Salle y Col. El Retiro. Para el análisis se consideró la presión vertical o geostática ($\sigma_v = \gamma \cdot Z$).

a). Método de Dakshanamurthy y Raman (1973). Con las propiedades índice del anexo A, límite líquido y límite de contracción volumétrica, se determinan los parámetros índice de plasticidad y de contracción. Se define el potencial de expansión para los estratos de arcilla comprendidos en las zonas activas de cada una de las áreas investigadas. Para su clasificación se delimitaron dos estratos de 0 a 1.5 m y de 1.5 a 4 m.

Los resultados de la figura 3.15 corresponden a los sitios, Col. Las Palmas, Col. La Salle y Col. El Retiro. Al aplicar los datos geotécnicos del anexo A, indican que para los estratos arcilla de 0 a 1.15 m y de 0.00 a 1.80 m de profundidad, presentan potencial de expansión de: baja, media a alta. Pero se observa que los datos con mayor frecuencia se ubican en la zona de alto potencial de expansión.

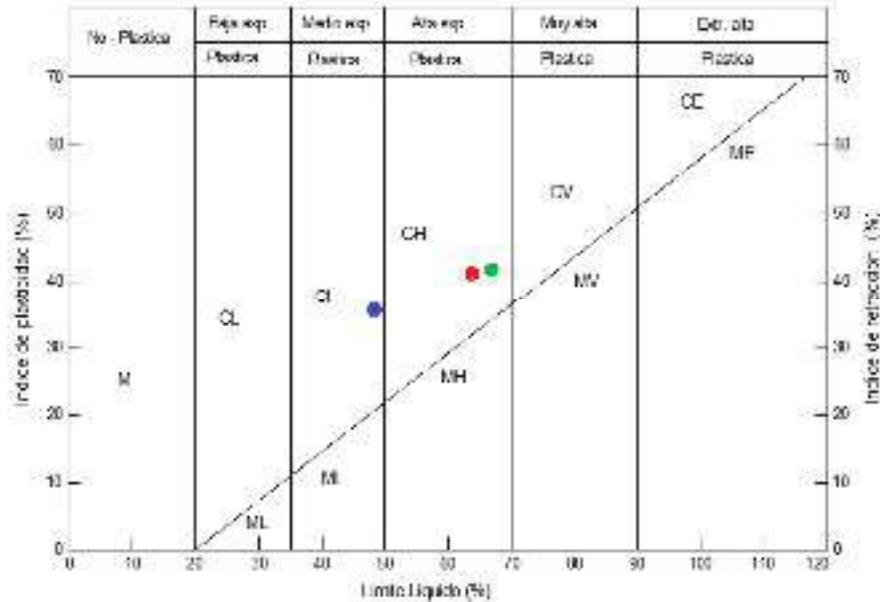


Figura 3.15 Clasificación del potencial de expansión en función del límite líquido y el índice de retracción. Col. Las Palmas, La Salle y el Retiro

b) Método de Vijayvergiya y Ghazzaly (1973), proponen un método que considera el contenido de agua, el límite líquido y la profundidad de la zona activa para determinar el porcentaje de expansión del suelo. Con los parámetros geotécnicos obtenidos de los ensayos de laboratorio, se determinan los porcentajes de expansión para los sitios: Las Palmas, La Salle y El Retiro. Al realizar los cálculos con la ecuación 3.2 y considerando la zona activa de 0 a 2.0 m de profundidad, la clasificación del potencial de expansión es de: bajo, medio a alto.

c) Método de Weston. Permite determinar las expansiones verticales unitarias, con los resultados de los ensayos de laboratorio (anexo A). Los parámetros geotécnicos para emplear en el análisis son: contenido de agua, límite líquido y el porcentaje de partículas finas que pasa la malla No.40 y la presión vertical $p(kPa)$. Los resultados obtenidos se comparan con los resultados de las expansiones determinados en los ensayos de consolidación, en las dos modalidades propuestas. Este método se aplicó para estos sitios. El análisis se realizó con la presión geo estática ($\sigma_v = \gamma * z$) y se determinaron los perfiles de las expansiones ($E\sigma_v, \%$) para cada sondeo del sitio en estudio, para las condiciones de lluvias y estiaje.

3.2.4. Determinación del potencial y presión de expansión

Se presentan los resultados de los ensayos de expansión realizados en el consolidómetro (edómetro). Los ensayos se realizaron con muestras inalteradas extraídas en la zona geotécnica A de los sitios seleccionados de las Colonias: las Palmas, la Salle y el Retiro. Se presentan los resultados de los ensayos y se realiza el análisis y los comentarios para la caracterización geotécnica.

Se presentan los resultados de los ensayos de consolidación-expansión (edómetro simple), de los tres sitios estudiados. Los sondeos se realizaron a las profundidades de 1.5 y 2.5 m de profundidad.

Ensayo de Consolidación - Expansión

a) Sitio Col. Las Palmas.

El primer ensayo se realiza para el espécimen de suelo del sondeo A-050, para la profundidad de $h_1=2.5$ m. Se realiza el ensayo con contenido de agua inicial $w_i = 21.37\%$ y el grado de saturación de $S_r = 74.72\%$. El límite líquido de $w_L = 70\%$, el límite plástico $w_p = 24.4\%$. Se le aplica una presión inicial $\sigma_o = 0.20 \text{ kg/cm}^2$ (20 kPa), se satura el espécimen y al término del ensayo el contenido de agua es de $w = 32.48\%$ y el grado de saturación de $S_r = 93.87\%$. La diferencia del contenido de agua es de $\Delta_w = 11.11\%$ y el grado de saturación de $\Delta_S = 19.15\%$. La presión de expansión obtenida fue de $\sigma_s = 3.4 \text{ kg/cm}^2$ (340 kPa) y el incremento en la relación de vacíos es de $\Delta_e = 0.048$ (fig.3.18). Al aplicar la expresión de Weston, con las propiedades índice de la muestra ensayada, para $\sigma_o = 0.20 \text{ kg/cm}^2$ (20 kPa) y $w_i = 21.37\%$. La expansión resultó de $E = 5.09\%$ y para la presión de expansión $\sigma_o = 3.4 \text{ kg/cm}^2$ (340 kPa) y $w_f = 32.48\%$, la expansión vertical en el ensayo de consolidación-expansión $E_v = 0\%$. La expansión vertical calculada por el método de Weston es de $E_v = 0.64\%$, el resultado obtenido por este método es muy similar al obtenido en el ensayo de consolidación expansión.

Método de Weston

$$E(\%) = (0.000411)(70)^{4.17} (20)^{-0.386} (21.37)^{-2.33} = 5.09\%$$

$$E(\%) = (0.000411)(70)^{4.17} (340)^{-0.386} (32.48)^{-2.33} = 0.64\%$$

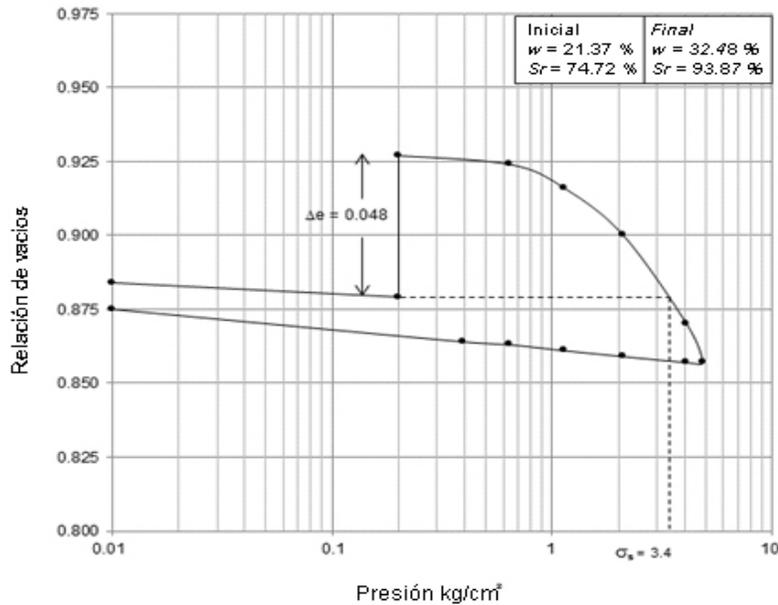


Figura 3.18 Resultado de ensayo de consolidación-expansión, para $h=2.5$ m de profundidad (sondeo A-040)

b) Sitio Col. La Salle

El ensayo que se realizó para el espécimen de suelo del sondeo A-051, fue para una profundidad de $h_1=1.15$ m. Se realiza el ensayo con contenido de agua inicial $w_i = 23.86\%$ el grado de saturación de $S_r = 87.77\%$. El límite líquido de $w_L = 55\%$, el límite plástico $w_p = 24.4\%$. Se aplica una presión inicial $\sigma_o = 0.1 \text{ kg/cm}^2$ (10 kPa), se satura el espécimen y al término del ensayo el contenido de agua es de $w_f = 29.50\%$ y el grado de saturación de $S_r = 92.66\%$. La diferencia del contenido de agua es de $\Delta_w = 5.64\%$ y el grado de saturación de $\Delta_{S_r} = 4.89\%$. La presión de expansión obtenida fue de $\sigma_s = 0.40 \text{ kg/cm}^2$ (40 kPa) y el incremento en la relación de vacíos es de $\Delta_e = 0.195$ (fig.3.19). Al aplicar la expresión de Weston, con las

propiedades índice de la muestra ensayada, para $\sigma_0 = 0.4 \text{ kg/cm}^2 (40 \text{ kPa})$, y $w_f = 29.5\%$, la expansión vertical en el ensayo de consolidación-expansión $E_v = 0\%$. La expansión vertical calculada por el método de Weston es de $E_v = 0.67\%$, el resultado obtenido por este método es muy similar al obtenido en el ensayo de consolidación expansión.

Método de Weston

$$E(\%) = (0.000411)(55)^{4.17} (10)^{-0.386} (23.86)^{-2.33} = 1.88\%$$

$$E(\%) = (0.000411)(55)^{4.17} (40)^{-0.386} (29.50)^{-2.33} = 0.67\%$$

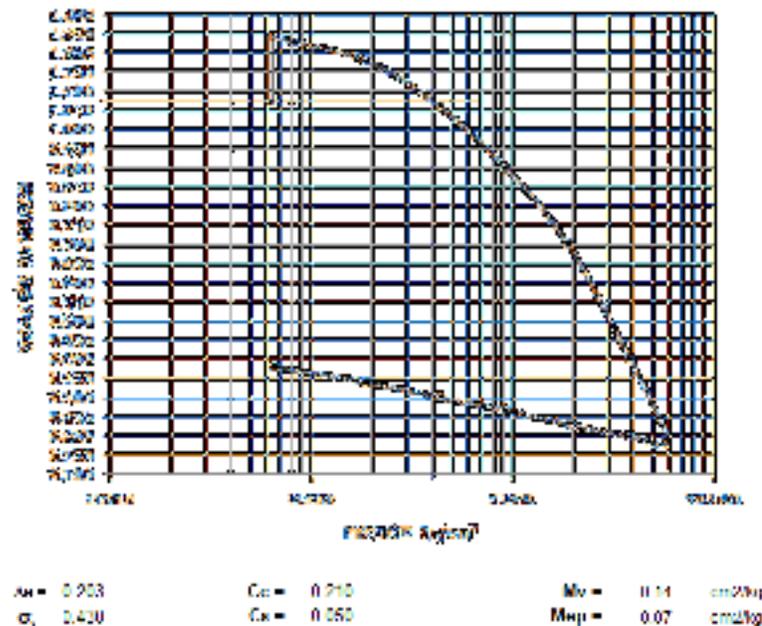


Figura 3.19. Resultado del ensayo de consolidación–expansión, para $h=1.15 \text{ m}$ de profundidad (sondeo A-051)

c) Sitio Col. El Retiro

El ensayo que se realizó para el espécimen de suelo del sondeo A-052, fue para una profundidad de $h_1=2.60 \text{ m}$. Se realiza el ensayo con contenido de agua inicial $w_i = 21.45\%$ y el grado de saturación de $S_r = 85.72\%$. El límite líquido de $w_L = 54\%$, el límite plástico $w_p = 24.80\%$. Se aplica una presión inicial

$\sigma_o = 0.175 \text{ kg/cm}^2$ (17.5kPa), se satura el espécimen y al término del ensayo el contenido de agua es de $w_f = 27.80\%$ y el grado de saturación de $S_r = 89.90\%$. La diferencia del contenido de agua es de $\Delta_w = 6.35\%$ y el grado de saturación de $\Delta_{S_r} = 4.18\%$. La presión de expansión obtenida fue de $\sigma_s = 0.32 \text{ kg/cm}^2$ (32kPa) y el incremento en la relación de vacíos es de $\Delta_e = 0.006$ (fig.3.20). Al aplicar la expresión de Weston, con las propiedades índice de la muestra ensayada, para $\sigma_o = 0.32 \text{ kg/cm}^2$ (32kPa), y $w_f = 27.80\%$, la expansión vertical en el ensayo de consolidación-expansión $E_v = 0\%$. La expansión vertical calculada por el método de Weston es de $E_v = 0.78\%$, el resultado obtenido por este método es muy similar al obtenido en el ensayo de consolidación expansión.

Método de Weston

$$E(\%) = (0.000411)(54)^{4.17} (17.50)^{-0.386} (21.45)^{-2.33} = 1.80\%$$

$$E(\%) = (0.000411)(54)^{4.17} (32.00)^{-0.386} (27.80)^{-2.33} = 0.78\%$$

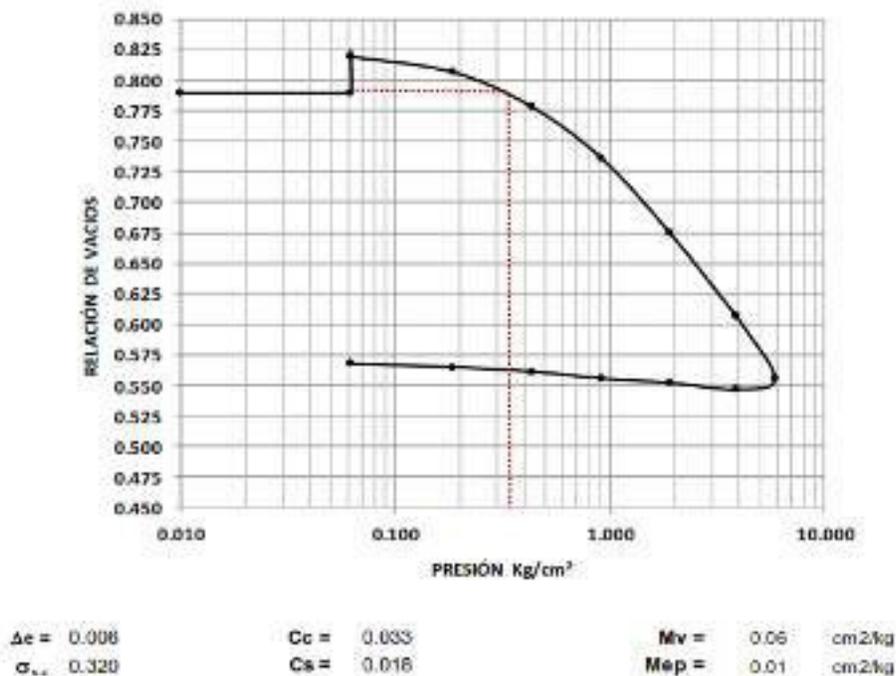


Figura 3.20. Resultado del ensayo de consolidación–expansión, para h= 2.60 m de profundidad (sondeo A-052)

3.2.5. Determinación de la zona activa

Se realizaron los perfiles de la zona activa, en función de los parámetros geotécnicos contenido de agua entre índice de plasticidad (w/PI) y la profundidad Z . Los parámetros geotécnicos se obtienen de los ensayos de laboratorio y del parámetro geométrico de cada muestra alterada extraída en los sondeos realizados en el sitio 1. El contenido de agua se determinó para cada sondeo realizado, a cada 0.25 m y hasta los 6 m de profundidad de las Colonias Las Palmas, La Salle y El Retiro, determinación de la zona activa

Se presenta en la figura 3.22 (a y b), el registro de los perfiles de contenido de agua entre el índice plástico y su variación con la profundidad. Se observa que de 0.25 a 5 m de profundidad, la relación ($w/PI, Z$) para épocas de estiaje es muy dispersa. Sin embargo, se observa que, a partir de los 5 m de profundidad, se presenta un comportamiento en los perfiles aproximadamente lineal. Sin embargo, existen perfiles que esta tendencia alcanza hasta los 6 m de profundidad.

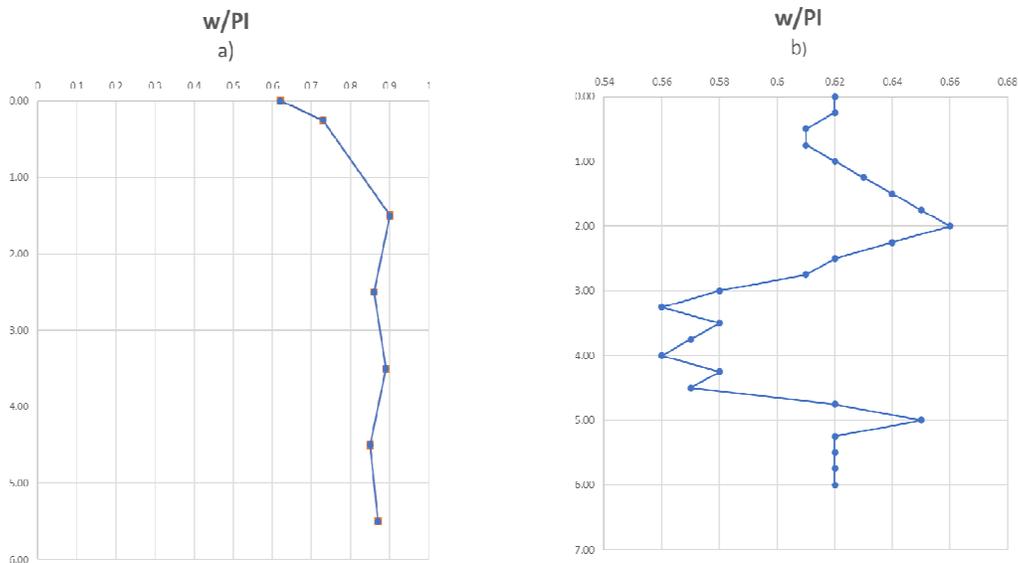


Figura 3.22. (a y b) El registro de perfiles de contenido de agua entre el índice plástico y su variación con la profundidad.

Se observa en la fig.3.22 (a y b), que la variación de los perfiles de los sondeos para épocas de lluvias, existe menos dispersión porque el rango de variación del contenido de agua es menor que en época de estiaje. Se observa que en los perfiles se presenta un comportamiento aproximadamente lineal a partir de los 4.75 a 5.25 m de profundidad. Esto indica que a partir de esta profundidad se define el estrato de la zona activa

La información de este capítulo para realizar la caracterización geotécnica de las colonias: Las Palmas, La Salle y El Retiro, se obtuvieron de los sondeos realizados en las colonias de las zonas en estudio.

Capítulo 4. Diseño Geotécnico de zapatas aisladas y corridas en suelos expansivos.

Para el diseño de cimentaciones superficiales, zapatas aisladas y corridas se requiere considerar los factores de carga F_C que deberán aplicarse a las acciones para el diseño de cimentaciones. Se aplicarán las normas técnicas para criterios y acciones de diseño: geotécnico y estructural de las edificaciones.

Para estados límite de servicio, al factor de carga será unitario en todas las acciones. La acción del peso propio del suelo y de la sub presión se tomará con un factor de carga unitario.

Los factores de resistencia, F_R , relativos a la capacidad de carga de las cimentaciones, se determinará a partir de estimaciones analíticas o de pruebas de campo. Para todos los estados límites de falla se aplicarán los factores de capacidad de carga que se describe en los incisos siguientes:

- a) $F_R = 0.35$ para la capacidad de carga ante cualquier combinación de acciones en la base de zapatas de cualquier tipo en la zona I, zapata de colindancia desplantadas a menos de 5 m de profundidad en las zonas II y III y de los pilotes y pilas apoyados en un estrato friccionante; y
- b) $F_R = 0.65$ para los otros casos.

Los factores de resistencia se aplicarán a la capacidad de carga neta de las cimentaciones.

4.1. Cimentaciones superficiales, zapatas y losas.

a) Estados límite de falla

Para cimentaciones superficiales desplantadas en suelos, se verificará el cumplimiento de la desigualdad siguiente para las distintas combinaciones posibles de acciones verticales.

$$\frac{\sum Q_{F_c}}{A} < r \quad (4.1)$$

Donde:

$\sum Q_{F_c}$ es la suma de las acciones verticales a tomar en cuenta en la combinación considerada en el nivel de desplante, afectadas por un respectivo factor de carga;

A es el área del elemento de cimentación;

r es la capacidad de carga unitaria reducida (es decir afectada por el factor de resistencia correspondiente) de la cimentación.

Para evaluar r , se recurrirá al método siguiente:

- Método analítico.

Este enfoque debe aplicarse solamente a suelos cohesivos que corresponden a la zona geotécnica A del subsuelo de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez. La expresión para utilizar en cimentaciones desplantadas en suelos cohesivos

$$r = (C_U N_C) F_R + \rho_v \quad (4.2)$$

ρ_v = es el peso volumétrico del suelo.

C_U = es la cohesión aparente determinada en ensayo triaxial (uu).

N_C = coeficiente de capacidad de carga dado por Terzaghi.

ρ_v = es la presión vertical efectiva total a la profundidad de desplante del cimientto.

F_R = factor de resistencia.

B = ancho de cimientto.

L = Longitud del cimientto.

La posición del nivel freático considerada para la evaluación de las propiedades mecánicas del suelo y de su peso volumétrico deberá ser la más desfavorable durante la vida de la estructura. Si el ancho B de la cimentación es menor que profundidad Z del nivel freático bajo el nivel de desplante de la misma.

$$\gamma = \gamma' + (Z/B)(\gamma_m + \gamma') \quad (4.3)$$

γ' = es el peso volumétrico sumergido del suelo entre las profundidades $Z(B/2)\tan(45^\circ + \phi/2)$.

γ_m = es el peso volumétrico total del suelo arriba del nivel freático.

4.2. Estado límite de servicio

Se presenta el procedimiento para el análisis de asentamientos de las cimentaciones superficiales bajo solicitaciones estáticas. Los asentamientos inmediatos pueden calcularse con la aplicación de la teoría de la elasticidad. Para ello deberá estimarse los parámetros elásticos del suelo con ensayos de laboratorio o con pruebas de campo.

Los asentamientos por consolidación primaria deberán calcularse con la expresión siguiente:

$$\Delta_H = \sum_0^H \left[\frac{\Delta_e}{1 + e_0} \right] \Delta_z \quad (4.4)$$

Δ_H = es el asentamiento de un estrato de espesor H .

e_0 = es la relación de vacíos inicial

Δ_e = es la variación de la relación de vacío entre el esfuerzo efectivo Δ_p en función de la profundidad z debido a la carga superficial.

Δ_z = son los espesores de los estratos donde se definen los esfuerzos para cada punto de esfuerzo aplicado.

4.3. Análisis de expansiones en cimentaciones superficiales.

Para el diseño geotécnico de cimentaciones superficiales, zapatas aisladas y corridas. Es necesario clasificar e identificar las características expansivas de los estratos de suelos de donde va a desplantarse las zapatas. Para ellos es necesario determinar y aplicar los resultados de las propiedades índice y mecánicas de las arcillas expansivas de los sitios de las colonias: las Palmas, la Salle y el Retiro.

Para definir el potencial y la presión de expansión de los estratos de arcillas se determinó: el potencial de expansión y la magnitud de la presión de expansión; y determinar la zona activa donde se desplantará las zapatas aisladas y corridas.

Las propiedades índice seleccionadas para clasificar el grado y el potencial de expansión de las arcillas de las zonas urbanas investigadas se presentan en el capítulo tres. Así también, se presentan los resultados de los ensayos de consolidación-expansión que registran los parámetros de presión de expansión.

4.1. Diseño geotécnico de zapatas aisladas

Las zapatas aisladas se han diseñado para soportar columnas cimentadas en estratos de arcillas, arenas y gravas, en ocasiones se construyen sobre estratos de roca. Se diseñan y construyen zapatas aisladas cuando ocupan hasta el 30% del área total de la cimentación del proyecto arquitectónico.

Las zapatas aisladas son elementos estructurales generalmente cuadradas, rectangulares o circulares y se construyen con muros de carga o columnas. La magnitud de estas cargas que se transmiten a la cimentación se analiza para determinar las expansiones verticales que se generan en la zona activa del suelo expansivo. Las zapatas aisladas se construyen generalmente de concreto reforzado. En esta investigación se realizará el análisis de capacidad de carga y expansiones para definir el estado límites de fallas y de servicio.

Los resultados de los ensayos de campo y laboratorio se presentan en los perfiles estratigráficos de las tres zonas estudiadas, en las Colonias: a) Las Palmas, b) Las Salle y c) El retiro.

a) Se realiza el diseño geotécnico de la zapata aislada para las Colonias las Palmas, la Salle y el Retiro, que se presenta en la figura 4.1.

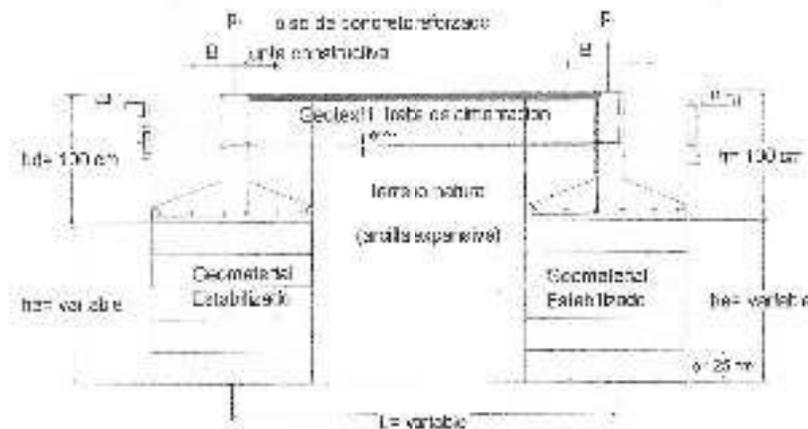


Figura 4.1.- Propuesta de diseño y construcción de zapatas aisladas de concreto reforzado sobre geomaterial estabilizado.

El proceso constructivo consiste en excavar el área donde se construirá la cimentación, a las profundidades determinadas en el proyecto geotécnico y estructural. Se coloca el material estabilizado (proporción 1:1) en capas de 75 cm de espesor y se procede a compactar la capa del geomaterial con equipo manual o mecánico, hasta alcanzar el 95% de PVSM y w_{opt} . Posteriormente se coloca el acero de refuerzo estructural de la cimentación.

Se tienen diferentes alternativas para la mitigación de riesgos geotécnicos en cimentaciones construidos sobre estratos de arcillas expansivas. Se ha empleado la calhidra y el cemento para la estabilización de suelos expansivos y el problema de esta radica en el proceso constructivo. Este proceso es complejo, costoso y requiere un control de calidad riguroso para la elaboración de la mezcla para garantizar la homogeneidad.

Para la estabilización de suelos con geo materiales naturales, como son: mezcla de arcilla expansivas con arena y caliche (Ordoñez, 1994) y en este proyecto se propone mezclar arcillas expansivas con grazón (material producto de trituración de la roca caliza para fabricar agregados). De esta mezcla de suelos resulta un geo material estabilizado con porcentajes de expansión menores del 1%, esta alternativa resulta muy confiable. Este geo material resulta muy económico y en la

práctica del proceso constructivo resulta fácil de mezclar con las arcillas expansivas. En la investigación se ensayaron mezclas de estos geo materiales en porciones 1:1. Los resultados obtenidos en el laboratorio se presentan en la tabla 4.2. Se observa las propiedades índice y mecánicas de los geo materiales naturales y estabilizados. Los ensayos se realizaron con contenido de agua natural y óptimo.

De los resultados obtenidos de los ensayos experimentales de la (tabla B.1, Anexo b), se dice que la alternativa mas confiable es la para mitigar los riesgos geotécnicos en los estratos de arcillas expansivas, es utilizar el geo material estabilizado con arcilla-grazón en proporciones 1:1.

- Colonia las Palmas, se propone la alternativa granzón 1:1 para la estabilización del suelo expansivo con capas 3 a 4 a cada 0.75m representada en la figura 4.2 a), esto debido a los resultados que se obtuvieron en los ensayos anteriores realizados para este sitio

Datos: $w_i = 21.37\%$, $S_r = 93.87\%$, $w_L = 70\%$, $w_p = 24.4\%$, $w_f = 32.48\%$,
 $\sigma_o = 0.20 \text{ kg/cm}^2 (20 \text{ kPa})$, $\sigma_s = 3.4 \text{ kg/cm}^2 (340 \text{ kPa})$, arcilla expansiva-granzón 1:1, y
 $C_{UU} = 0.85 \text{ kg/cm}^2$.

Determinamos la expansión vertical aplicando el método de Weston
 $E(\%) = 0.64\%$.

- Colonia la Salle, se propone la alternativa expansiva-granzón 1:1 para la estabilización del suelo expansivo con capas 3 a 4 a cada 0.75mts representada en la figura 4.2 b), esto debido a los resultados que se obtuvieron en los ensayos anteriores realizados para este sitio

Datos: $w_i = 23.86\%$, $S_r = 87.77\%$, $w_L = 55\%$, $w_p = 24.4\%$, $w_f = 29.50\%$,
 $\sigma_o = 0.10 \text{ kg/cm}^2 (10 \text{ kPa})$, $\sigma_s = 0.4 \text{ kg/cm}^2 (40 \text{ kPa})$, arcilla expansiva-granzón 1:1, y
 $C_{UU} = 0.85 \text{ kg/cm}^2$.

Determinamos la expansión vertical aplicando el método de Weston
 $E(\%) = 0.67\%$.

• Colonia la Retiro, se propone la alternativa expansiva-granzón 1:1 para la estabilización del suelo expansivo con capas 3 a 4 a cada 0.75mts representada en la figura 4.2 c), esto debido a los resultados que se obtuvieron en los ensayos anteriores realizados para este sitio

Datos: $w_i = 21.45\%$, $S_r = 87.77\%$, $w_L = 54\%$, $w_p = 24.80\%$, $w_f = 29.50\%$,
 $\sigma_o = 0.17\text{kg/cm}^2 (17.5\text{kPa})$, $\sigma_s = 0.32\text{kg/cm}^2 (32\text{kPa})$, arcilla expansiva-granzón 1:1,
 y $C_{UV} = 0.87\text{kg/cm}^2$.

Determinamos la expansión vertical aplicando el método de Weston
 $E(\%) = 0.78\%$.

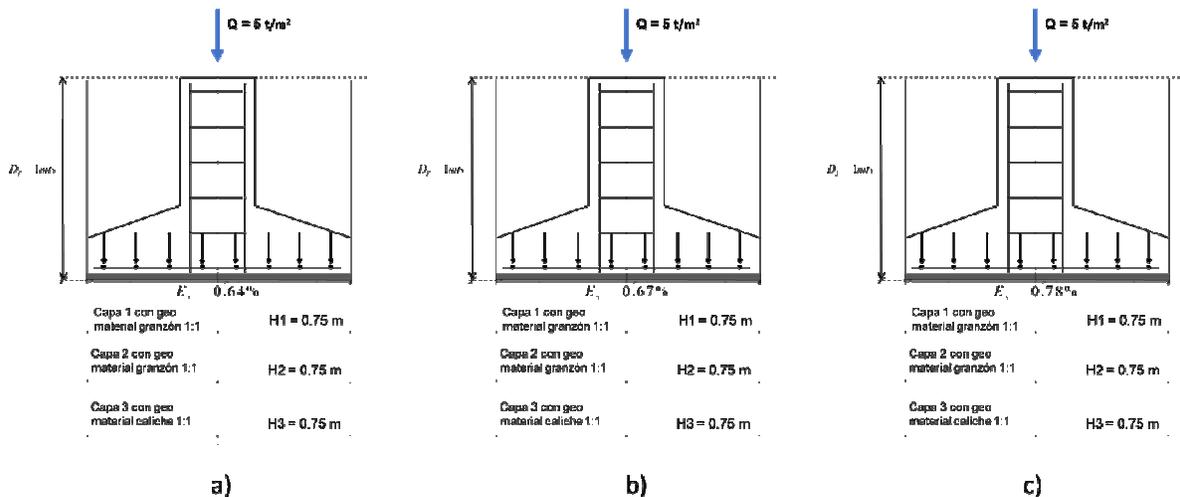


Figura 4.2.- Propuesta de diseño y construcción de zapatas aisladas para la Colonia a) las Palmas, b) la Salle y c) el Retiro.

4.2. Diseño geotécnico de zapatas corridas

Las zapatas corridas son elementos estructurales cuadradas rectangulares y se construyen con muros de carga o columnas. La magnitud de estas cargas que se transmiten a la cimentación se analiza para determinar las expansiones verticales que se generan en la zona activa del suelo expansivo. Las zapatas aisladas se construyen generalmente de concreto reforzado. En esta investigación se realizará el análisis de capacidad de carga y expansiones para definir el estado límites de fallas y de servicio.

Los resultados de los ensayos de campo y laboratorio se presentan en los perfiles estratigráficos de las tres zonas estudiadas, en las Colonias: a) Las Palmas, b) Las Salle y c) El retiro.

El proceso constructivo consiste en excavar el área donde se construirá la cimentación, a las profundidades determinadas en el proyecto geotécnico y estructural. Se coloca el material estabilizado (proporción 1:1) en capas de 75 cm de espesor y se procede a compactar la capa del geomaterial con equipo manual o mecánico, hasta alcanzar el 95% de PVSM y w_{opt} . Posteriormente se coloca el acero de refuerzo estructural de la cimentación.

Se tienen diferentes alternativas para la mitigación de riesgos geotécnicos en cimentaciones construidos sobre estratos de arcillas expansivas. Se ha empleado la calhidra y el cemento para la estabilización de suelos expansivos y el problema de esta radica en el proceso constructivo. Este proceso es complejo, costoso y requiere un control de calidad riguroso para la elaboración de la mezcla para garantizar la homogeneidad.

Para la estabilización de suelos con geo materiales naturales, como son: mezcla de arcilla expansivas con arena y caliche (Ordoñez, 1994) y en este proyecto se propone mezclar arcillas expansivas con grazón (material producto de trituración de la roca caliza para fabricar agregados). De esta mezcla de suelos resulta un geo material estabilizado con porcentajes de expansión menores del 1%, esta alternativa resulta muy confiable. Este geo material resulta muy económico y en la

práctica del proceso constructivo resulta fácil de mezclar con las arcillas expansivas. En la investigación se ensayaron mezclas de estos geo materiales en porciones 1:1. Los resultados obtenidos en el laboratorio se presentan en la tabla 4.2. Se observa las propiedades índice y mecánicas de los geo materiales naturales y estabilizados. Los ensayos se realizaron con contenido de agua natural y óptimo.

De los resultados obtenidos de los ensayos experimentales de la (tabla B.1, Anexo b), se dice que la alternativa mas confiable es la para mitigar los riesgos geotécnicos en los estratos de arcillas expansivas, es utilizar el geo material estabilizado con arcilla-grazón en proporciones 1:1.

- Colonia las Palmas, se propone la alternativa granzón 1:1 para la estabilización del suelo expansivo con capas 3 a 4 a cada $0.75m$ representada en la figura 4.3, esto debido a los resultados que se obtuvieron en los ensayos anteriores realizados para este sitio

Datos: $w_i = 21.37\%$, $S_r = 93.87\%$, $w_L = 70\%$, $w_p = 24.4\%$, $w_f = 32.48\%$,
 $\sigma_o = 0.20kg/cm^2 (20kPa)$, $\sigma_s = 3.4kg/cm^2 (340kPa)$, arcilla expansiva-granzón 1:1, y
 $C_{UU} = 0.85kg/cm^2$.

Determinamos la expansión vertical aplicando el método de Weston
 $E(\%) = 0.64\%$.

- Colonia la Salle, se propone la alternativa expansiva-granzón 1:1 para la estabilización del suelo expansivo con capas 3 a 4 a cada $0.75mts$ representada en la figura 4.3, esto debido a los resultados que se obtuvieron en los ensayos anteriores realizados para este sitio

Datos: $w_i = 23.86\%$, $S_r = 87.77\%$, $w_L = 55\%$, $w_p = 24.4\%$, $w_f = 29.50\%$,
 $\sigma_o = 0.10kg/cm^2 (10kPa)$, $\sigma_s = 0.4kg/cm^2 (40kPa)$, arcilla expansiva-granzón 1:1, y
 $C_{UU} = 0.85kg/cm^2$.

Determinamos la expansión vertical aplicando el método de Weston
 $E(\%) = 0.67\%$.

- Colonia la Retiro, se propone la alternativa expansiva-granzón 1:1 para la estabilización del suelo expansivo con capas 3 a 4 a cada 0.75mts representada en la figura 4.3, esto debido a los resultados que se obtuvieron en los ensayos anteriores realizados para este sitio

Datos: $w_i = 21.45\%$, $S_r = 87.77\%$, $w_L = 54\%$, $w_p = 24.80\%$, $w_f = 29.50\%$,
 $\sigma_o = 0.17\text{kg/cm}^2 (17.5\text{kPa})$, $\sigma_s = 0.32\text{kg/cm}^2 (32\text{kPa})$, arcilla expansiva-granzón 1:1,
 y $C_{uv} = 0.87\text{kg/cm}^2$.

Determinamos la expansión vertical aplicando el método de Weston
 $E(\%) = 0.78\%$.

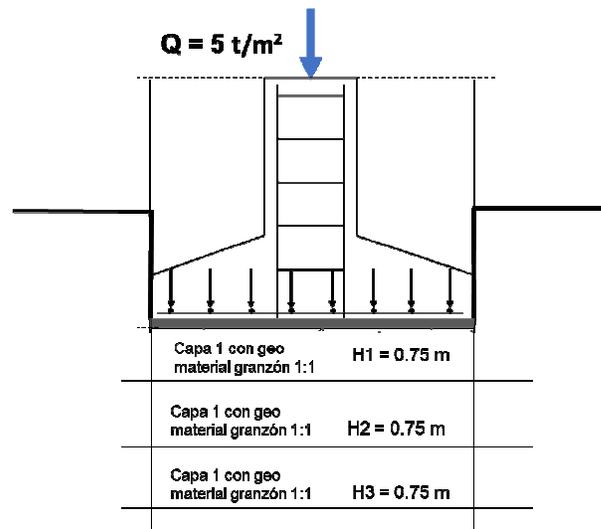


Figura 4.3.- Propuesta de diseño y construcción de zapatas corridas para la Colonia a) las Palmas, b) la Salle y c) el Retiro.

5. Conclusiones

La determinación de presión de expansión de las arcillas de la zona geotécnica A, en los sitios de las Colonias: Las Palmas, La Salle y Retiro, fue necesario recopilar información bibliográfica y de las investigaciones realizadas. Se recopiló información existente sobre el marco geográfico, documentos históricos, cartografía, topografía, marco físico, geología, hidrología urbana, geotecnia. Se hicieron investigaciones sobre los resultados de la investigación experimental existente, sobre las propiedades índice y mecánicas, específicamente sobre arcillas expansivas en la zona geotécnica A.

Se realizaron algunos ensayos de laboratorio para determinar las propiedades índice mecánicas de las Colonias: Las Palmas, La Salle y el Retiro. Los resultados obtenidos fueron aplicados en los métodos directos e indirectos, para determinar el potencial y la presión de expansión de las arcillas. Con esos resultados se logró indicar que los estratos de arcilla se clasifican de media, alta a muy alta expansividad.

Se proponen alternativas para la mitigación de riesgos geotécnicos para cimentaciones desplantadas sobre estratos de arcillas expansivas. Los resultados indican que la alternativa más adecuada es emplear un geo material estabilizado, producto de la mezcla de arcilla expansiva y granzón (subproducto de la fabricación de agregados pétreos) en proporción 1:1. Los ensayos realizados en el laboratorio, las propiedades índice y mecánicas del geo material estabilizado, indican que no es expansivo a un nivel alto, para las Colonias la Salle y el Retiro.

Sin embargo, para la Colonia las Palmas el potencial y la presión de expansión es de alto a muy alto. En esta zona urbana de la ciudad los resultados de los parámetros de expansión, propiedades índice y mecánicas. Los índices de contenido de agua y limite líquido son muy altos y esto indica que el potencial de

expansión es alto. Los resultados de los ensayos de consolidación-expansión resultaron de: $\sigma_s = 3.4 \frac{kg}{cm^2} (340kPa)$.

En esta Colonia las Palmas se registran fallas estructurales en los pavimentos rígidos y flexibles; en las edificaciones especialmente viviendas se tienen registros de agrietamientos severos en pisos, muros, losas, cadenas y castillos. Se recomienda especialmente en el diseño y construcción de pavimentos, que se consideren las propuestas de estabilización con mezcla de materiales: arcilla expansiva y granzón o caliche en proporciones 1:1.

Es importante definir la zona activa en el subsuelo donde se tiene la presencia de estratos de arcillas expansivas, en función de la variación del contenido de agua (w) y el índice plástico (PI). El calculo de la zona activa es muy importante definirla para garantizar el espesor de la estabilización en los estratos de arcillas expansivas activos, para mitigar las expansiones y las fallas estructurales en pavimentos y edificaciones.

Se recomienda a las empresas del sector público y privado, que realicen estudios geotécnicos para determinar el potencial y la presión de expansión de las arcillas. Esto para realizar diseños geotécnicos y estructurales, para garantizar la seguridad y economía en la construcción de pavimentos y edificaciones, en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Anexos.

Anexo A. Tablas de sondeos realizados en los sitios seleccionados para la investigación de arcillas en la zona sur oriente y norte de la ciudad.

Tabla No. A.1. Tabla de sondeos realizados en las Colonias: La Salle, Las Palmas y El retiro.

| Estrato: 0 - 2.5 m | | | | |
|--------------------|---------------|-------|----------------|-----------------------|
| Clave de sondeo | No. de sondeo | W (%) | Límite Líquido | Índice de Plasticidad |
| A034 | PCA | 25.65 | 61 | 50 |
| A035 | PCA | 28.25 | 58 | 45 |
| A036 | PCA | 26 | 58 | 43 |
| A037 | PCA | 29.88 | 69 | 59 |
| A054 | PCA | 30 | 57 | 40 |
| A055 | PCA | 28.7 | 57 | 39 |
| A057 | PCA | 26.6 | 65.5 | 50.5 |
| A058 | PCA | 30.4 | 60 | 44.5 |
| A059 | PCA | 36.4 | 58 | 44 |
| A060 | SPM | 28.4 | 65.5 | 51 |
| A061 | SPM | 31 | 65 | 52 |
| A062 | SPM | 32.6 | 58 | 44 |
| A063 | SPM | 23.6 | 64 | 54 |
| A064 | SPM | 22.6 | 62 | 49 |
| A067 | PCA | 2.8 | 50 | 39 |
| A069 | SPT | 26.8 | 64 | 19 |
| A070 | SPT | 22.8 | 65 | 53 |
| A073 | SPM | 19.21 | 38 | 22 |
| A074 | SPM | 13.27 | 30.4 | 10 |
| A075 | SPM | 15.1 | 38 | 25 |

| Estrato: 2.5 – 4 m | | | | |
|--------------------|---------------|-------|----------------|-----------------------|
| Clave de sondeo | No. de sondeo | W (%) | Límite Líquido | Índice de Plasticidad |
| A034 | PCA | 28.2 | 54 | 41.3 |
| A035 | PCA | 29.8 | 55 | 42 |
| A036 | PCA | 26.4 | 49 | 32 |
| A038 | PCA | 27.4 | 55 | 36 |
| A039 | PCA | 26.3 | 55 | 36 |
| A066 | SPM | 30.4 | 35 | 25 |
| A069 | SPM | 28 | 63 | 51.1 |
| A072 | SPM | 19.17 | 49.6 | 36.6 |
| A073 | SPM | 17.25 | 31 | 20 |
| A074 | SPM | 13.69 | 31.9 | 20 |
| A075 | SPM | 13.63 | 28 | 15 |

Anexo B. Tablas Propiedades índice mecánicas de los geo materiales naturales y estabilizados.

Tabla B.1. Propiedades índice y mecánicas de lo geo materiales naturales y estabilizados (Ordoñez, J. 2014)

| Tipo de geo material | W_{nat} Y W_{opt} (%) | γ (kg/m^3) | γ_d (kg/m^3) | Ensayo triaxial (C_{uu}) kg/cm^2 | CBR (%) | E_v (%) |
|-------------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|--|---------|-----------|
| Arcilla expansiva | 38 | 1423 | 1850 | $C_{uu}=0.1 - 0.5$ | 6.4 – 9 | 8.81 |
| Granzón | 8 | 1896 | 2050 | $C_{uu}=0.7$ | 97 | 0 |
| Caliche | 15 | 1748 | 2010 | $C_{uu}=0.83$ | 33 | 3.05 |
| Arena | 8 | 1645 | 1770 | - | 20 | 0 |
| Arcilla expansiva-granzón 1:1 | 23 | 1500 | 1850 | $C_{uu}=0.75$ | 81 | 0.85 |
| Arcilla expansiva-caliche 1:1 | 24 | 1532 | 1900 | $C_{uu}=1.5$ | 25 | 3.1 |

Tabla B.2. Propiedades índice y mecánicas de los geo materiales naturales y estabilizados (Ordoñez, J. 2014)

| Tipo de geomaterial | Muestra No. | w (%) | W_L (%) | W_P (%) | F (%) | S (%) | G (%) | γ_m (kg/m^3) | γ_d (kg/m^3) | G_s | CBR (%) | E_v (%) |
|--------------------------|-------------|-------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------------------------|-------------------------|-------|---------|-----------|
| Arcilla expansiva | M-1 | 38 | 70 | 26.2 | 99 | 1 | 0 | 1850 | 1341 | 2.75 | 6.4 | 8.81 |
| Granzón | M-1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 27 | 73 | 1950 | 1806 | 2.7 | 97 | 0 |
| Geomaterial estabilizado | M-1 | 23 | 26 | 9 | 30 | 19 | 51 | 1850 | 1504 | 2.63 | 80 | 0.85 |

Referencias y bibliografías.

1. Aguilar P.L. y Ordóñez R.J. (2002). Tesis de Licenciatura "Estabilización de suelos expansivos con caliche y su aplicación a un caso práctico". XXII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Querétaro, Qro. Ed. SMIG, México.
2. Dakshanamurthy, V. y Raman, V., (1973). "A simple method of identifying on expansive soil". Soil and Foundation, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 13
3. Figueroa J., (1974). "Sismicidad en Chiapas, Informe del Instituto de Ingeniería, UNAM, México.
4. Fredlund, D.G. and H. Rahardjo, (1993). Soil Mechanics for Unsaturated Soils, John Wiley & Sons, Inc. Canadá.
5. Holtz, W.G. y Gibbs, H.J., (1956). Engineering properties of expansive clays, Proceedings of de American Society of Civil Engineers, Vol. 80, and Separate.
6. López, S. J., (1997). Aquel Tuxtla. Anecdotalario Histórico, Gobierno del Estado de Chiapas. Talleres Gráficos del Estado, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
7. Merwe, D.H., (1975). "Current Theory and practice for building on expansive clays". Proceedings of the 6th Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol.2.
8. Ordóñez, R.J., (1994). Estabilización de las Arcillas Expansivas con caliche y arena en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional (IPN), México.
9. Ordóñez, R.J., (2002). Las Arcillas Expansivas de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Memorias de la XXI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, SMMS, Querétaro, Qro., México.
10. Ordóñez R.J., (2008). Zonificación Geotécnica de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez. Facultad de Ingeniería de la UNACH. Chiapas, México.
11. Ordóñez, R.J. (2014). Caracterización del Subsuelo y Análisis de Riesgos Geotécnicos en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez. Tesis doctoral. Instituto de Ingeniería de la UNAM.

12. Ordóñez, R.J., Auvinet, G. G. y Juárez, C.M. (2014). Caracterización y Zonificación geológica – geotécnica del subsuelo de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. XXVII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. Puerto Vallarta, Jalisco. Ed. SMIG, México, D.F.
13. Ordóñez, R.J., Auvinet, G. G. y Juárez, C.M. (2015). Caracterización del subsuelo y análisis de riesgos geotécnicos asociados a las arcillas expansivas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. Revista Investigación y Tecnología, Facultad de Ingeniería de la UNAM. ISSN 1 405-7743.
14. Pousada P.E., (1984). Deformabilidad de las Arcillas Expansivas Bajo Succión Controlada. Tesis de doctorado. Editado por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes de España, Gabinete de Formación y Documentación. Madrid, España.
15. Sánchez, Braulio, (1977). Coyatocmó, Gajos de su historia y los zoques. Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
16. Seed, H., Woodward, R.J. y Lundgren, R., (1962). "Prediction of swelling potential for compacted clays". Proceedings of the ASCE, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division. Vol. 88.