

MÉTODOS Y CRITERIOS PARA IDENTIFICAR, CLASIFICAR Y MITIGAR RIESGOS GEOTÉCNICOS EN ARCILLAS EXPANSIVAS

METHODS AND CRITERIA TO IDENTIFY, CLASSIFY AND MITIGATE GEOTECHNICAL RISKS IN EXPANSIVE CLAYS

Ordóñez, J.¹, Ordóñez, A.¹, Zebadua A.¹

RESUMEN

Se presentan los resultados obtenidos para la zona geotécnica A. Se realizaron sondeos y ensayos experimentales para determinar las propiedades índice y mecánicas de los estratos de arcillas de características expansivas, que conforman esta zona urbana. Se aplican métodos indirectos y directos, para identificar, clasificar y determinar el potencial y la presión de expansión de las arcillas. Se proponen dos métodos: el primero, para identificar y clasificar el potencial de expansión de las arcillas y el segundo para identificar y clasificar los tipos de riesgos. Para mitigar los riesgos se propone un geo material estabilizado, producto de la mezcla de arcilla expansiva y granzón (producto de agregados calcáreos) en proporción 1:1, que disminuye la expansión hasta 1%.

Palabras clave: Caracterización, arcillas expansivas, riesgos geotécnicos, geomaterial estabilizado, procedimientos constructivos.

ABSTRACT

The results obtained for the geotechnical zone A, Caña Hueca site, are presented. Surveys and tests were done to determine the rate and mechanical of expansive clays strata found and geotechnical area. Direct and indirect geotechnical techniques were used to

identify and classify the clays and to determine their expansive potential. Two methods were proposed, first identify and classify the potential expansion of the clays and second to identify and classify the types of geotechnical risks. To mitigate the risks stabilized material is proposed, product of the mixture the expansive clay and granzon. The geomaterial stabilized in 1:1 ratio, decreases the expansion up to 1%.

Keywords: Characterization, expansive clays, geotechnical risk, stabilized geomaterials, constructiv procedures.

INTRODUCCIÓN

A nivel internacional se han realizado trabajos de investigación para resolver el problema de diseño y construcción de cimentaciones y pavimentos sobre arcillas expansivas, que han generado daños estructurales a las obras de ingeniería y pérdidas económicas importantes y un inadecuado servicio de las construcciones. Este problema ha sido y es motivo de investigación experimental enfocada a la caracterización y mitigación de riesgos geotécnicos.

Los factores que influyen en la expansión pueden dividirse en dos grupos. El primero incluye las condiciones estratigráficas y las propiedades intrínsecas del suelo: tipo de mineral arcilloso, tamaño y superficie específica de partículas, contenido de arcilla y capacidad de la variación del contenido de agua. El segundo grupo abarca las condiciones ambientales: precipitación, evaporación y temperatura.

En la naturaleza, por las condiciones ambientales las arcillas expansivas registran cambios importantes de contenido de agua. En época de lluvias el estrato superficial se satura y en época de estiaje se produce el fenómeno de desecación y esta capa superficial se comporta como un suelo parcialmente saturado. La ciudad presenta un sistema hidrológico de cuencas y subcuencas, que influye en el comportamiento de

¹ Profesor-investigador de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas.

los estratos de arcilla de características expansivas, en época de lluvias se presenta corrientes o flujos de agua.

Con el objetivo de ampliar el conocimiento de las arcillas de características expansivas en la zona geotécnica "A", se realizó un programa de investigación experimental de campo y laboratorio. Se proponen métodos y criterios para identificar y clasificar el potencial de las arcillas y para clasificar los tipos de riesgos y alternativas de solución.

INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

Se realizaron trabajos de campo y laboratorio, en este artículo se presentan los resultados del sitio 1, ubicado en el Parque de Caña Hueca (Ordoñez, J., 2014). Se realizaron sondeos tipo pozo a cielo abierto (PCA), sondeos profundos tipo mixtos (SPM) combinado con la prueba de penetración estándar (SPT). Con las muestras alteradas se realizaron los ensayos para determinar las propiedades índice y el potencial de expansión y con las muestras inalteradas se realizaron los ensayos para determinar las propiedades mecánicas, se realizaron ensayos en el consolidómetro para definir la presión de expansión de las arcillas (ASTM-1971).

En las arcillas expansivas el problema no es de capacidad de carga; sin embargo, se realizaron pruebas triaxiales, no consolidadas- no drenadas (UU) y de valor relativo de soporte (CBR). Los parámetros de resistencia: compresión simple (q_u), Cohesión (C_{uu}), fricción (ϕ_u) y el CBR, registran valores bajos para la época de lluvias, porque el estrato superficial del suelo de 0.25 a 3 m de profundidad alcanza valores altos de contenido de agua (Ordoñez, 2008). Con los datos obtenidos del sitio 1, Parque Caña Hueca, se realizó la caracterización geotécnica de las arcillas expansivas de la zona A poniente.

Con los resultados obtenidos de la caracterización del subsuelo, se propone la clasificación de los tipos de riesgos geotécnicos y con esta información se realiza una estimación en dos dimensiones y se obtienen los mapas de riesgos geotécnicos para el sitio 1. Para la clasificación de riesgos, se aplica el criterio para identificar y clasificar los tipos de riesgos geotécnicos en arcillas expansivas (Ordoñez, 2013).

Métodos indirectos

Se realiza la caracterización de las arcillas expansi-

vas con los criterios y métodos de: Dakshanamurthy y Raman (1973), Vijayvergiya y Ghazalhy, (1973), Merwe (1964 y 1975) y Weston (1980), que se describen a continuación. Para la aplicación de estos métodos, se emplearon los resultados obtenidos de los ensayos realizados en el laboratorio y se muestran en el Anexo 1.

Criterio de Dakshanamurthy y Raman (1973)

Dakshanamurthy y Raman (1973), basados en el gráfico de plasticidad de Casagrande (1948) modificado por Dumbleton (1968), proponen clasificar la expansividad, en función del límite líquido y del índice de contracción $IS = w_L - w_S$. Se proporciona una evaluación de la plasticidad del suelo con los pares de valores $\langle w_L, PI \rangle$ y los pares $\langle w_L, IS \rangle$ proporcionan una evaluación de la expansividad, como se indica en la Figura 1.

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

$$E (\%) = 41.13 \times 10^{-5} \times I_s^{2.67}$$

ecuación 1

Con los datos presentados de la tabla A.1, se ubican en la figura 2, y se observa que la clasificación del potencial de expansión para el sitio 1, es de alta a muy alta expansividad.

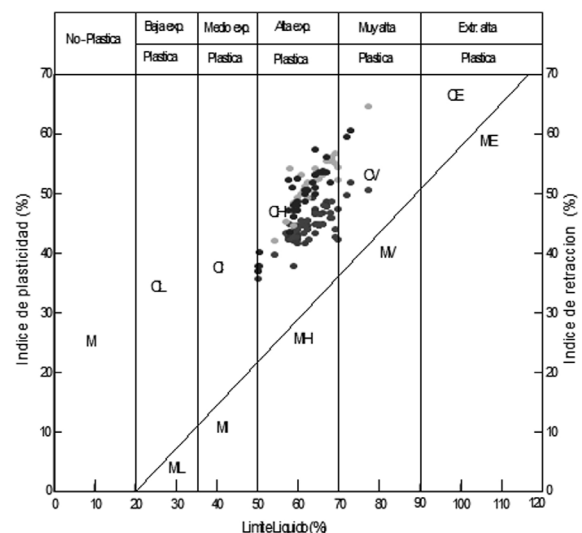


Figura 1. Clasificación del potencial de expansión en función del límite líquido y el índice de contracción.

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 2, se presentan los resultados de la expansión libre superficial, que puede determinarse con la expresión siguiente:

$$\Delta_{SF} = 0.0033Z S_f \tag{ecuación 2}$$

Donde:

- Δ_{SF} = expansión superficial libre
- Z = profundidad de la zona activa (m)
- S_f = porcentaje de expansión libre (%)
- w_L = Límite líquido (%)
- w = Contenido de agua (%)

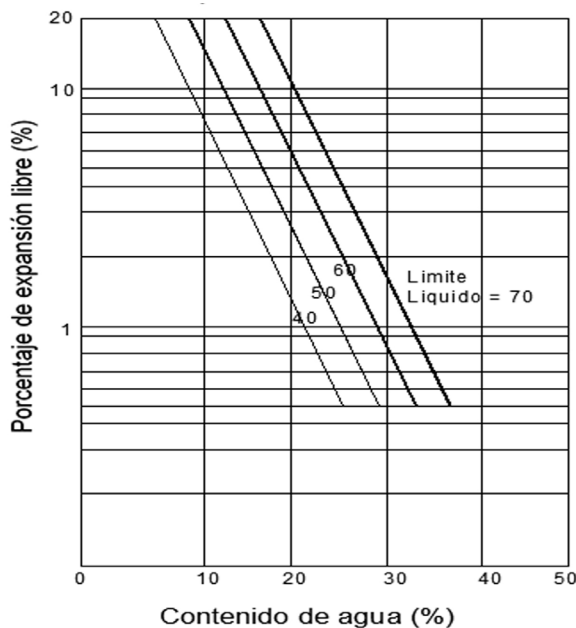


Figura 2. Relación entre el porcentaje de: expansión libre, límite líquido y el contenido de agua (Vijayvergiya y Ghazzaly, 1973).

De la tabla A.1, se seleccionan los datos del sondeo A001: H= 0 a 1.5, w=20.4%, $w_L=77\%$, resulta $E=15\%$, para H=1.5 a 5.5, w=20.1%, $w_L=73\%$, resulta $E=13\%$. Los resultados obtenidos en este sondeo, indican que el riesgo geotécnico se ubica hasta la profundidad de 5 m.

Criterio de Merwe (1964 y 1975), determina el potencial de expansión de las arcillas en función del índice de plasticidad y el porcentaje de partículas $<2\mu$, como se presenta en la Figura 3. Con los datos de la tabla 1, al ubicarlos en la Figura 3, el potencial de expansión es de alta a muy alta.

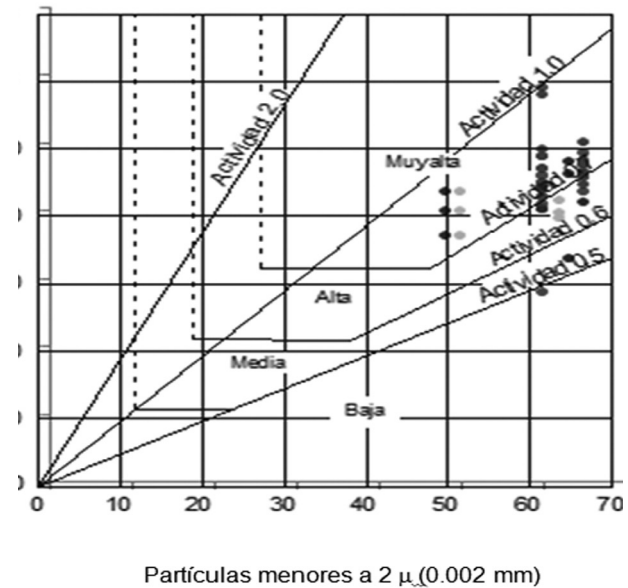


Figura 3. Clasificación del potencial de expansión en función del índice de plasticidad y el porcentaje de partículas finas <0.002 mm.

Método de Weston (1980)

Weston, realizó estudios para obtener la correlación entre la expansión y otros parámetros del suelo (indicadores de las características de expansión).

Desarrollo un amplio estudio estadístico utilizando el análisis con regresión multilineal. Los ensayos realizados en el consolidómetro con inundación se hicieron con muestras con diferentes contenidos de agua inicial y cargas diversas.

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

$$E(\%) = (0.000411)(w_{Lw})^{4.17}(p)^{-0.386}(w_i)^{-2.33} \quad \text{ecuación 3}$$

Es posible determinar el porcentaje de expansión del suelo empleando las gráficas de la Figura 4. Destaca el método de Weston (1980) 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. Con los datos empleados en el método de Vijayvergiya y Ghazzaly (1973) y aplicando la gráfica y ecuación de Weston, con una presión de 5 kPa, para una expansión libre superficial, la expansión $E = 14\%$.

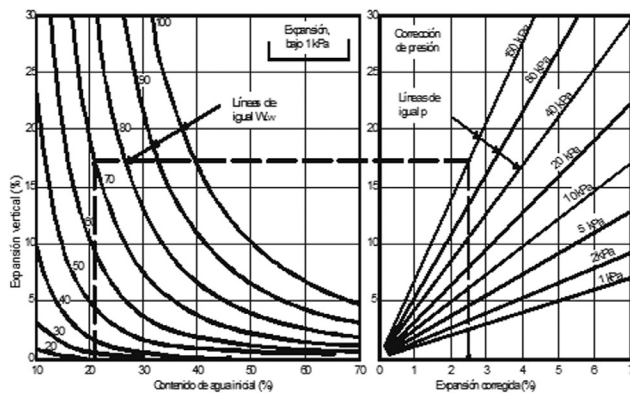


Figura 4. Determinación de la presión de expansión en función de: wLW , p , w_i (Weston, 1980)

Métodos directos

Estos métodos son los más comunes para predecir la expansión del suelo e implican el uso de aparatos de consolidación (edómetros). Actualmente existe una amplia variedad de procedimientos para determinar la presión de expansión de las arcillas con estas características geotécnicas. Existen varios procedimientos de ensayos con el uso del consolidómetro; sin embargo, en este trabajo de investigación se aplicaron solamente tres de ellos: el ensayo de consolidación-expansión (edómetro simple), el ensayo múltiple en el consolidómetro (edómetro múltiple) y el doble ensayo en el consolidómetro (doble edómetro). En este

artículo se presentan los resultados obtenidos en los ensayos: consolidación-expansión y el doble ensayo en el consolidómetro. Los ensayos se realizaron con muestras inalteradas extraídas del sitio 1.

Ensayo: consolidación-expansión

El primer ensayo corresponde al espécimen de suelo del sondeo A-268. Se realiza el ensayo con contenido de agua inicial $w_i = 24.14\%$, límite líquido $w_L = 74\%$ y grado de saturación inicial $S_r = 82.34\%$. Se aplica una presión inicial $\sigma_o = 0.12 \text{ kg/cm}^2$ (12 kPa), se satura el espécimen y al término del ensayo el contenido de agua final $w_f = 31.2\%$ y el grado de saturación final $S_r = 94.39\%$. La diferencial del contenido de agua al final del ensayo es, $\Delta w = 7.06\%$ y el grado de saturación final es, $\Delta S_r = 11\%$. El registro en el consolidómetro de la presión de expansión fue de: $\sigma_s = 3.4 \text{ kg/cm}^2$ (340 kPa) y el incremento en la relación de vacíos $\Delta e = 0.125$ (figura 5). Al aplicar la expresión de Weston, con las propiedades índice de la muestra ensayada, para $\sigma_o = 0.12 \text{ kg/cm}^2$ (12 kPa), y $w_i = 24.14\%$. La expansión es de, $E = 7\%$. Para la presión de expansión final $\sigma_s = 3.4 \text{ kg/cm}^2$ (340 kPa) y $w_f = 31.2\%$, la expansión calculada es de $E = 0.89\%$.

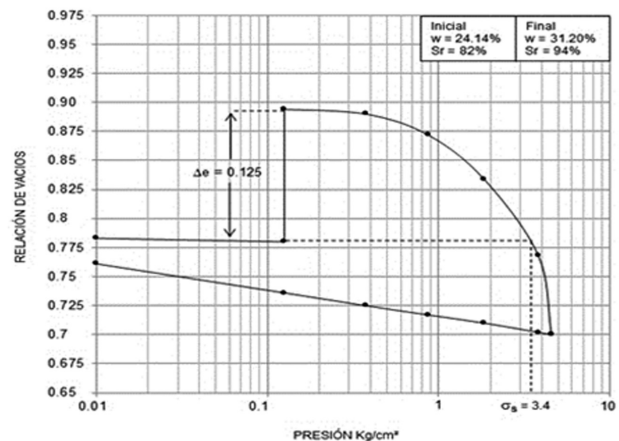


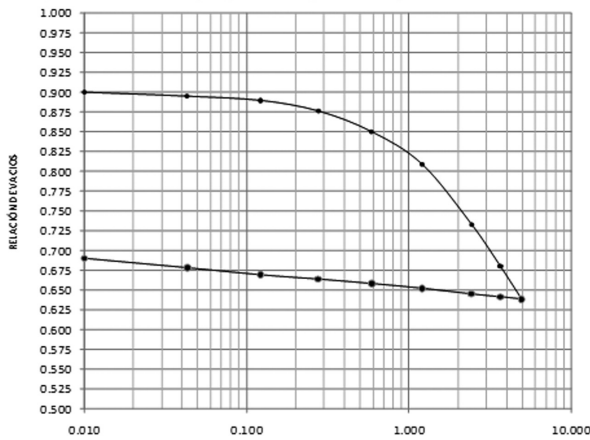
Figura 5. Resultado del ensayo de consolidación-expansión, sondeo (A-268).

Ensayo doble en el consolidómetro (doble edómetro)

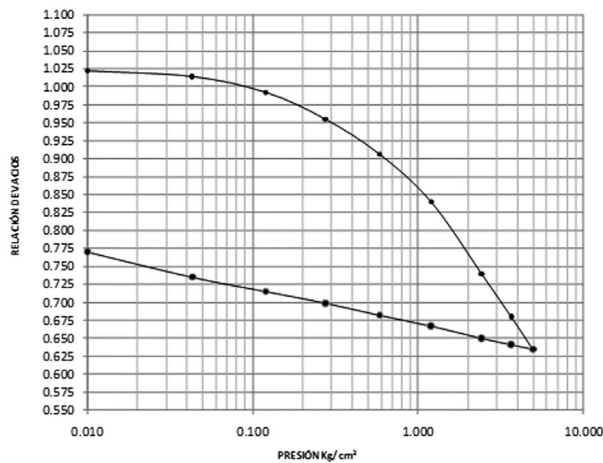
Se presentan los parámetros geotécnicos de las muestras ensayadas en el consolidómetro del sondeo A-268 (Zeevaert, L., 1982). Se ensayaron dos muestras inalteradas obtenidas a la profundidad de $h = 2.5 \text{ m}$.

La muestra No.1, se realizó con $w=21.66\%$, $wL=74\%$ y $Sr=65\%$ y la muestra No. 2, con $w=31.89\%$ y $Sr=81\%$. Se presenta los resultados de ambas muestras: la muestra 1, se realizó con $w=21.66\%$ y $Sr=65\%$ y la muestra 2 No.2, con $w=31.89\%$ y $Sr=81\%$. Se presenta entre ambas muestras, diferencias en el contenido de agua de $\Delta_w 10.23\%$ y $\Delta_{sr} 16\%$. Al realizar los ensayos en el consolidómetro, se mantiene constante el contenido de agua de cada muestra durante todo el ensaye. Los resultados de los dos ensayos se muestran en la Figura 6.

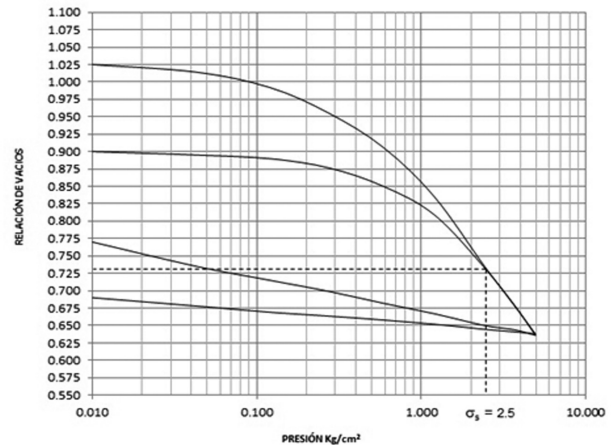
En este ensayo el resultado de la presión de expansión es de $\sigma_s = 2.5 \text{ kg/cm}^2$. Se puede concluir que el ensayo doble en el consolidómetro, influye la elaboración de dos muestras del mismo sondeo, para diferentes contenidos de agua. El porcentaje de contenido de agua menor, representa la época de estiaje y el mayor la época de lluvias.



(1)



(2)



(3)

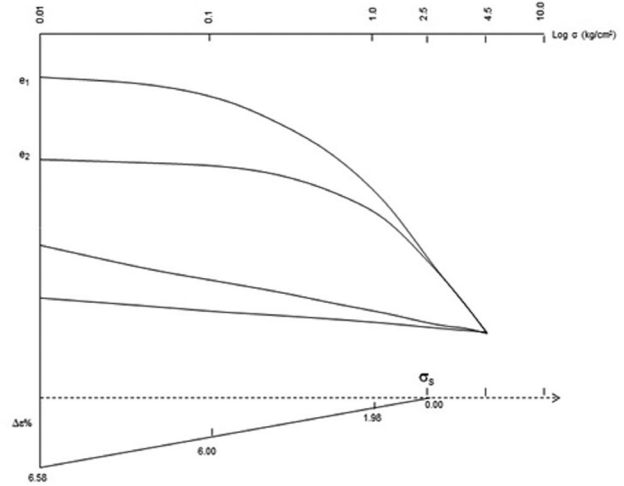


Figura 6. Determinación de la presión de expansión con el doble ensayo en el consolidómetro (doble edómetro).

Mapas de riesgos

Parque Caña Hueca, sitio 1

A partir de los mapas de contorno determinados para el: contenido de agua, grado de saturación y expansión. Se restaron los valores de los parámetros geotécnicos, en el plano bidimensional, para las épocas de lluvias y estiaje. Con esta información se realizó la estimación y se construyeron los mapas de riesgos para cada parámetro geotécnico.

Contenido de agua

Se presentan los mapas de riesgos geotécnicos para el contenido de agua a las profundidades estimadas (Figura 7). Para $h=0.25$ m de profundidad, se

observa que predomina el riesgo alto. Para $h=1$ m predomina el riesgo alto; en las zonas sur-oeste del mapa se observan áreas de dimensiones pequeñas con riesgos medio y bajo. Para $h=3$ m de profundidad, predominan los riesgos alto y medio, el mapa presenta áreas con un 25% de riesgo bajo. Para $h=5$ m de profundidad, predominan el riesgo medio y bajo, el mapa presenta áreas con un 15% de riesgo alto.

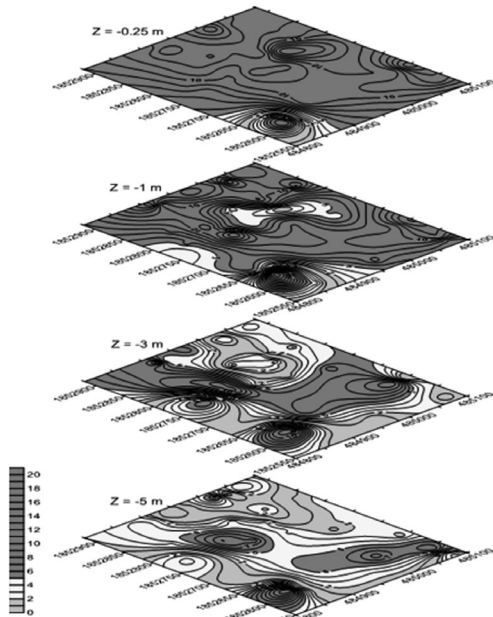


Figura 7. Perspectivas de mapas de riesgo para el contenido de agua.

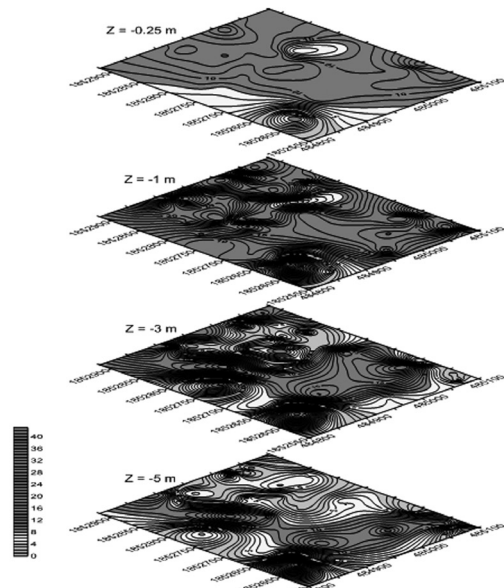


Figura 8. Perspectivas de mapas de riesgos para el grado de saturación

Grado de saturación

Se presentan los mapas de riesgos geotécnicos para el grado de saturación a las profundidades estimadas (figura 8). Para $h=0.25$ m de profundidad, predomina el riesgo alto, el mapa presenta áreas con un 15% de riesgo medio y bajo. Para $h=1$ m de profundidad, predomina el riesgo alto, el mapa presenta áreas con un 15% de riesgos medio y bajo. Para $h=3$ m de profundidad, predomina el riesgo alto y medio, el mapa presenta áreas con un 20% de riesgo bajo. Para $h=5$ m de profundidad, predominan los riesgos medio y bajo, el mapa presenta áreas con un 20% de riesgo alto.

Se superponen los mapas de riesgos geotécnicos para el grado de saturación a las profundidades estimadas (Figura 8). Para observar la variación y el comportamiento del grado de saturación a diferentes profundidades. Este parámetro geotécnico presenta una correlación directa con el contenido de agua del suelo.

Expansión

Se presentan los mapas de riesgos geotécnicos para la expansión (Figura 9). Para $h=0.25$ m de profundidad, predomina el riesgo alto, el mapa presen-

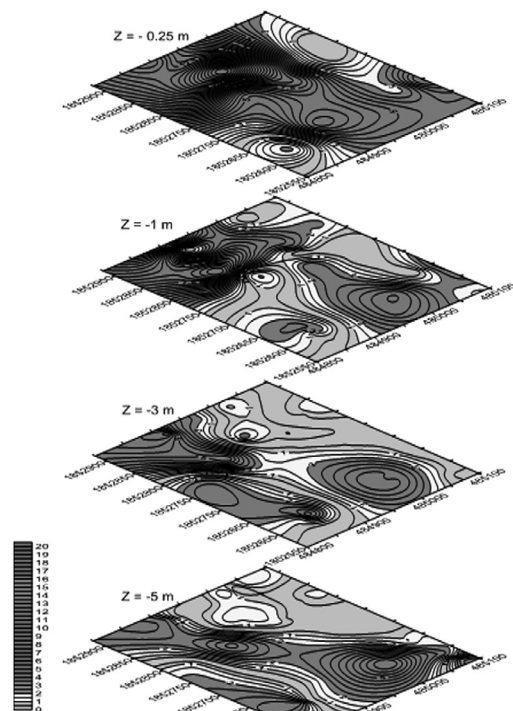


Figura 9. Perspectivas de mapas de riesgo para la expansión.

ta áreas con un 10% de riesgo medio y bajo. Para $h=1$ m de profundidad, predomina el riesgo alto y el mapa presenta áreas con un 50% de riesgos medio y bajo. Para $h=3$ m de profundidad, predomina los riesgos medio a bajo, el mapa presenta áreas con un 40% de riesgo alto. Para $h=5$ m de profundidad, predominan las áreas con riesgos bajo y medio, el mapa presenta áreas con un 30% de riesgo alto. En los mapas de los tres parámetros geotécnicos se observa que existe correlación en los tipos de riesgos. Sin embargo, los mapas de riesgos de expansión son los que predominan en el análisis geotécnico.

CLASIFICACIÓN DE RIESGOS

- Zona geotécnica A

Esta zona urbana está conformada por estratos de arcillas expansivas. La clasificación de los tipos de riesgos geotécnicos, se realizó en función de las propiedades índice, potencial y presión de expansión. Se correlacionaron los resultados obtenidos de los métodos indirectos, directos y del análisis geoestadístico. Al realizar la correlación de los métodos expuestos, los resultados son compatibles y confiables. Con esta información se propone el criterio para identificar y clasificar los tipos de riesgos geotécnicos para arcillas expansivas. En la Tabla 1, se presenta la clasificación de riesgos geotécnicos (Ordóñez, 2013).

MITIGACIÓN DE RIESGOS

Se presentan las alternativas geotécnicas para la mitigación de riesgos, para las zonas urbanas ubicadas en la zona geotécnica A.

Tabla 1. Criterio para identificar y clasificar, tipos de riesgos geotécnicos en arcillas expansivas (Ordóñez, 2013).

Clasificación de riesgo geotécnico	Parámetros geotécnicos (Δ_w , %)	Parámetros geotécnicos (Δ_{Sr} , %)	Parámetros geotécnicos (Δ_{Ev} , %)
Bajo	0-2%	0-4%	0-1%
Medio	2-5%	4-8%	1-2%
Alto	>5%	>8%	>2%

Existen diferentes alternativas para la mitigación de riesgos geotécnicos en cimentaciones y pavimentos construidos sobre estratos de arcillas expansivas. Se ha empleado la cal hidra y el cemento para la es-

tabilización de suelos expansivos (Ordóñez, J. 2002). El problema de esta solución radica en el proceso constructivo que resulta complejo y costoso.

Estabilizar suelos con geomateriales naturales, como son: mezcla de arcilla expansivas con arenas y caliche (Ordóñez, 1994) y, recientemente, mezclar arcillas expansivas con granzón (material producto de trituración de la roca caliza para fabricar agregados) son alternativas muy confiables. Este procedimiento es más económico y el proceso constructivo, en la práctica, resulta más fácil mezclar geomateriales naturales con arcilla expansiva. En la investigación experimental, se ensayaron mezclas de estos geomateriales en proporciones: 1:1, 1:2 y 1:3. Se presentan los resultados de las propiedades índice y mecánicas de los geomateriales naturales y estabilizados (Tabla 2)

Con los resultados de los ensayos experimentales, se concluye que la alternativa más confiable para mitigar los riesgos geotécnicos en los estratos de arcillas expansivas, es utilizar el geomaterial estabilizado con arcilla-granzón en proporción 1:1. Al emplear el geomaterial estabilizado, la expansión vertical $E_v < 0.85\%$ y la cohesión del suelo en la prueba triaxial rápida registra valores de $C_{uu} = 1.6 \text{ kg/cm}^2$ (160 kPa). Con la magnitud de estos parámetros en el diseño geotécnico los riesgos son inexistentes. El problema está en definir el espesor de la capa del geomaterial a emplear y está en función de la zona activa.

Tabla 2. Propiedades índice y mecánicas de los materiales en estado natural y geoestabilizado (Ordóñez, 2013)

Tipo de geomaterial	w (%)	w _L (%)	F (%)	%	CBR (%)	E _v (%)
Arcilla expansiva	38	70	99	1341	6.4	8.81
Granzón	8	0	0	1806	97	0
Geomaterial estabilizado	13	26	30	1504	80	0.85

MAPAS DE MITIGACIÓN DE RIESGOS GEOTÉCNICOS

Se realizó el análisis geoestadístico del geomaterial estabilizado. Se realiza el análisis estructural y la estimación para la expansión, porque es el parámetro que influye directamente en el diseño geotécnico. Se emplearon las propiedades índice que pueden generar la máxima expansión de la mezcla: el menor

contenido de agua, el límite líquido mayor y el peso volumétrico seco obtenido del ensayo CBR (tabla 3). La expansión obtenida del ensayo CBR, es la máxima posible. Al realizar la estimación se determinaron los mapas de contorno, desviación estándar y el mapa de riesgo para: h=1, 3 y 5 m de profundidad. Al realizar la caracterización de las arcillas expansivas, las expansiones máximas se generan en el estrato de 0.25 a 3 m de profundidad (Figuras: 11,12 y 13). Los resultados indican que la expansión varía de 0.05 a 0.25%. Este valor es menor al obtenido en el ensayo CBR, que registró una expansión libre máxima de 0.85% y menor a las especificaciones para el diseño geotécnico en edificaciones y pavimentos. El ingeniero especialista en geotecnia definirá el espesor del estrato a estabilizar, en función del espesor de la zona activa, del potencial y la presión de expansión del suelo.

RECOMENDACIONES PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO DE CIMENTACIONES EN SUELOS EXPANSIVOS

En ingeniería se conocen tres tipos de cimentaciones superficiales: zapatas aisladas, corridas y losa

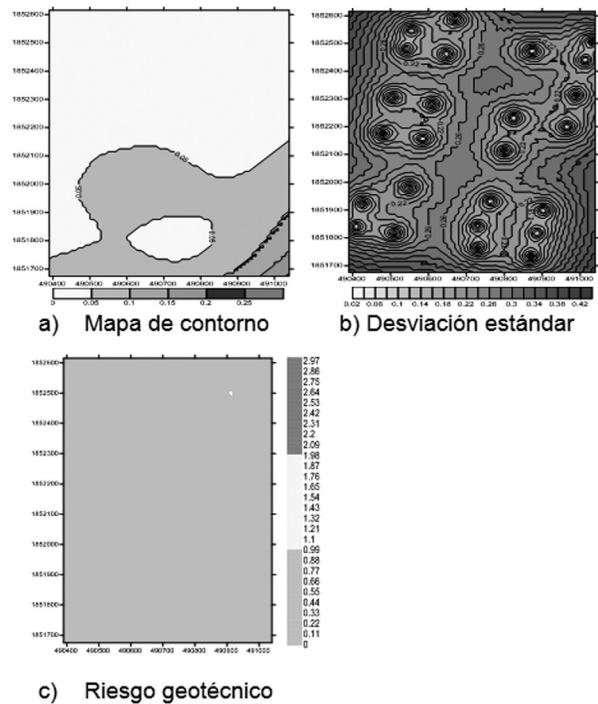


Figura 12. Mapas de contorno, desviación estándar y riesgo geotécnico, para h=3 m de profundidad.

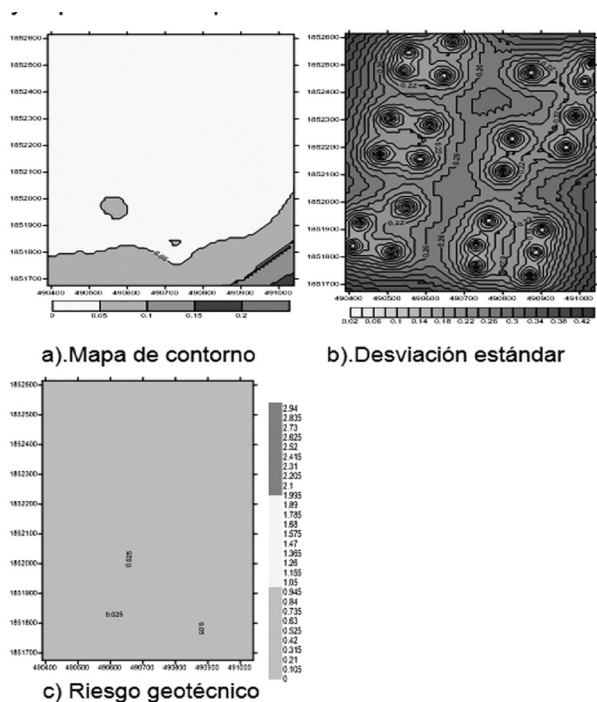


Figura 11. Mapas de contorno, Desviación estándar y Riesgo geotécnico, h=1 m de profundidad.

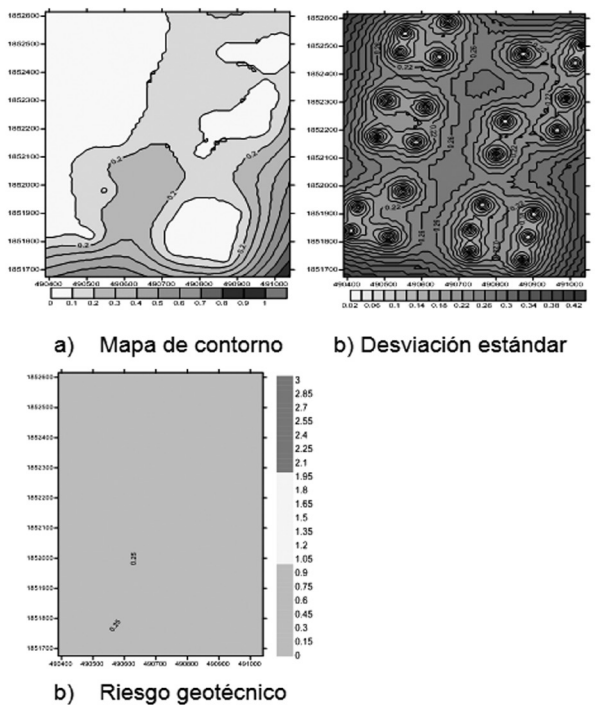


Figura 13. Mapas de contorno, desviación estándar y riesgo geotécnico, para h=5 m de profundidad.

de cimentación (o la combinación de estas). En el diseño geotécnico deben determinarse las propiedades índice y mecánicas de los estratos de arcillas para determinar: la zona activa, el potencial y la presión de expansión. Los resultados de la investigación experimental indican que debe estabilizarse la zona activa, hasta la profundidad que mitiga el riesgo geotécnico y estructural del proyecto. Se recomienda emplear el geomaterial estabilizado propuesto, para garantizar la estabilidad de la estructura.

Los mapas de riesgos estimados con los resultados de los ensayos experimentales, indican que puede mitigarse el riesgo geotécnico y garantizar la estabilidad de la estructura. Con la información obtenida y la propuesta del proyecto ejecutivo, el ingeniero de diseño puede recomendar el tipo y profundidad de desplante de las cimentaciones superficiales.

Aplicación práctica

Se presenta la propuesta de losa cimentación de concreto reforzado y trabes de cimentación invertidas en las dos direcciones (X, Y), construida sobre el geomaterial estabilizado: arcilla: granzón 1:1. La losa-cimentación se construyó, para la reparación de la cancha de Frontom y Padeltenis, ubicada en el Parque de Caña Hueca. Con los resultados de los trabajos de campo y laboratorio se determinaron las propiedades índice y mecánicas de los estratos de arcillas expansivas. La profundidad de la zona activa del predio se ubica a 3 a 5 m, de profundidad (figura 14). Con el método de Weston se determinó la expansión $E_v(\%)$, con los parámetros siguientes: $wL=69\%$, contenido de agua para época de estiaje: $w=20\%$ y de lluvias hasta de $w=35\%$ y con la presión del esfuerzo vertical del suelo: $\sigma_v(\text{kPa})$, en la tabla 3, se presentan los resultados.

El geomaterial estabilizado, se construyó hasta $H=2.5$, considerando la profundidad de desplante de la losa y las trabes de cimentación y se compacto en capas de 25 cm al 95% de su PVSM_{ax}. (Figura 16). Se propuso una separación de: $e_L \approx 10$ cm, entre losa de concreto y el estrato de arcilla para evitar la presión de expansión de la arcilla hacia la losa-cimentación. Esta propuesta de cimentación en arcillas de características expansivas, genera seguridad y economía en el diseño y construcción de cimentaciones.

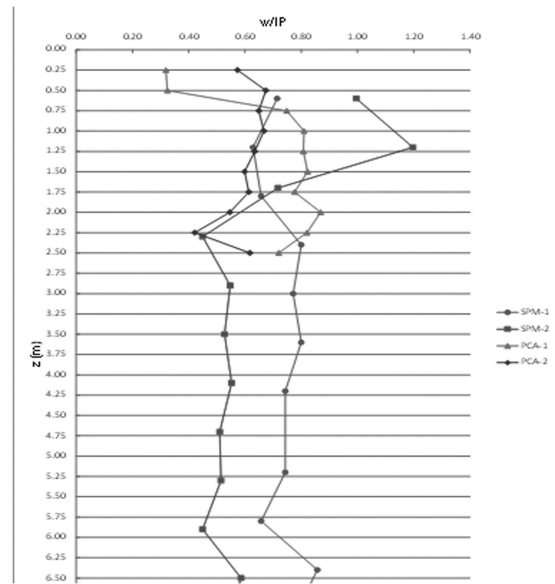
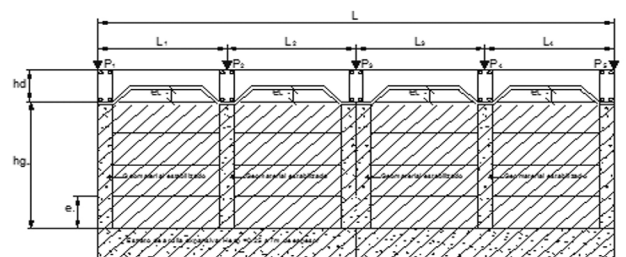


Figura 14. Determinación de la zona activa

Tabla 3. Variación de las expansiones con la profundidad

Prof. (m)	Lím. Líquido WL_w	α_v p	w_i (%)	E_v (%)
0.25	69	4.25	20	10.18
1	69	17	20	5.96
2	69	34	20	4.56
3	69	51	20	3.90
4	69	68	20	3.49
5	69	85	20	3.20
7	69	119	20	2.81



Simbología

P_1 a P_5 = Cargas axiales de la estructura en kg
 L_1 a L_5 = Distancias entre trabes de cimentación en cm
 h_0 = 100 cm
 h_1 = Espesor de geomaterial estabilizado de 150 cm
 e = Espesor de capa compactada de geomaterial estabilizado de 25 cm
 e_L = Espacio libre entre trabes y terreno natural de 10 cm

Arcilla expansiva
 Geomaterial estabilizado

Figura 16. Propuesta de diseño y construcción de losa de cimentación de concreto reforzado sobre geomaterial estabilizado.

CONCLUSIONES

La ciudad de Tuxtla Gutiérrez, está expuesta a tres tipos de riesgos: hidrológicos, sísmicos y geotécnicos. La Facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas, ha desarrollado trabajos de investigación en estas tres áreas de la ingeniería civil. La investigación sobre la caracterización del subsuelo y análisis de riesgos geotécnicos en la ciudad. Como resultado del trabajo experimental, se han propuesto métodos y criterios para identificar y clasificar riesgos geotécnicos en suelos expansivos y alternativas para su mitigación. Este procedimiento puede aplicarse al diseño y construcciones de: edificaciones y pavimentos en la ciudad.

Se presentan los resultados de la investigación y la aplicación a un caso práctico, que consiste en estabilizar suelos expansivos, al mezclar arcillas y gránulos en proporción 1:1. El geomaterial estabilizado disminuye la expansión $E < 1\%$, y elimina el riesgo geotécnico de las expansiones. Este procedimiento se aplicó en la reconstrucción de la obra: cancha de Fronton y Padeltenis, ubicado en el Parque Caña Hueca. La obra después de tres años de reconstrucción no registra fisuras en la losa de cimentación y garantiza la seguridad estructural del proyecto.

ANEXO 1

Tabla A.1. Propiedades índice de las arcillas expansivas del sitio 1 Parque Caña Hueca.

Clave de sondeo	Datos	w (%)	w _L (%)	PI (%)	Ac	% < 2m
A001	1	20.4	77	51	1.055	60
A002	2	21.17	54	40	0.727	60
A003	3	22	68	49	0.509	60
A004	4	27.67	59	23	0.727	60
A005	5	25.67	67	48	0.873	60
A006	6	21.83	69	44	0.8	60
A007	7	17.83	66	45	0.745	60
A008	8	19.33	59	43	0.782	60
A009	9	20.17	65	45	0.818	60
A010	10	21.83	68	16	0.836	60

REFERENCIAS

1. Auvinet, G., Juárez, M., Méndez, E. y Chávez, E. (2002). Contribución a la zonificación geotécnica de la zona poniente del Valle de México, Memoria, XXI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, SMMS, Querétaro, Qro.
2. Dakshanamurthy, V. y Raman, V., (1973). "A simple method of identifying on expansive soil". International Conference on Expansive Clays Soil, Haifa Israel Vol.1, pp.17-25.
3. 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, pp.166-167.
4. Ordóñez, 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.
5. Ordóñez, J. (2008). Zonificación Geotécnica de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez. Facultad de Ingeniería de la UNACH. Chiapas, México.
6. Ordóñez, J. (2013). Criterio para identificar y clasificar los tipos de riesgos geotécnicos en arcillas expansivas (Ordóñez, 2013).
7. Ordóñez, J. (2014). Caracterización del subsuelo y análisis de riesgos geotécnicos en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.- Tesis doctoral. Instituto de Ingeniería, UNAM.
8. Raman, V. (1967). Identification of expansive soils from the plasticity index and the shrinkage index data. Indian, Calcuta 11(1), pp. 17-22.
9. Vijayvergiya, V.N. y Ghazzaly, O.I., (1973). "Prediction of swelling potential for natural clays". Proceedings of the 3th International Conference on Expansive Soils. Haifa, Israel. Vol. I, pp. 227-236.
10. Weston, D.J., (1980). "Expansive roadbed treatment for Southern Africa". Proceedings of the 4th International Conference on Expansive Soils. Denver, Colorado, USA. Vol. I, pp.339-360.
11. Zeevaert, L., (1982). "Foundation Engineering for Difficult Subsoil Conditions", Second Edition. Van Nostrand-Reynhold Company, New York, N.Y., USA.