

Identificación de los suelos dispersivos y colapsables del valle del río Verde, en Rioverde S. L. P., México

Identification of collapsable and dispersive soils of Green river valley, in Rioverde S. L. P., Mexico

Gustavo Gallegos Fonseca^{1*}, Christian Michel Cuello¹, Milka Escalera Chávez¹ y Julio Cesar Leal Vaca²

Palabras clave

suelo;
dispersivo;
colapsable;
erosión;
tubificación;
identificación;

Sumario

En este trabajo se presenta un procedimiento para identificar a los suelos dispersivos mediante el procedimiento recomendado por el Departamento de Interior de Estados Unidos, el cual se complementa con los procedimientos sugeridos por B. M. Das (2001) para la identificación de suelos colapsables. No obstante se hace hincapié en la importancia de la información obtenida mediante la visita de campo, al lugar al cual se pretende clasificar.

Keywords

soils;
dispersive;
collapsible;
erosion;
piping;
identify;

Abstract

This research shows a procedure to identify dispersive soils by means of the recommended procedure of U. S. Department of Interior and complement with the suggested by B. M. Das (2001) to identification of collapsable soils. Nevertheless here insist on the importance of the information obtained at the place by mean of a field visit.

1. INTRODUCCIÓN

Los suelos loésicos cubren más del 10 % de la superficie terrestre *Jefferson et. al. (1999)*, y se localizan desde Europa del este hasta China, en Norteamérica también se localizan así como en Sudamérica. En África es posible localizar este tipo de suelo en Libia. Un loess es un depósito de suelo eólico del cuaternario, en donde es posible localizar partículas cuyos diámetros oscilan entre 20 y 60 μm , unidas por carbonatos y agua capilar, en la cual la estructura que adopta éste tipo de suelo es abierta. Dejando a esta estructura en condiciones de colapsar ante la presencia de agua o de la acción de cargas impuestas. En general los loess son suelos problemáticos para los propósitos ingenieriles, experimentando en muchas ocasiones reducción de volumen cuando experimenta colapso y son causantes de subsidencias en el terreno.

Por lo arriba señalado, existen sitios en los cuales se vienen presentando serios problemas en las obras de ingeniería, como consecuencia de la presencia de suelos loésicos, en especial se hace referencia a suelos que sufren fuertes asentamientos cuando se saturan parcial o totalmente, debido a que experimentan erosión y pérdida de su estructura cuando se saturan o sobrecargan, *Sotelo 2005*.

Dentro de los suelos loésicos o también llamados erodables se puede diferenciar dos comportamientos peculiares: el de los suelos dispersivos y el de los suelos erodables. Los primeros son suelos en los cuales su presencia de finos es significativa y en algunos casos contienen porcentajes de arcilla cuyo contenido de sales disueltas está entre el 40 y el 60 %. El segundo tipo de suelos contiene apreciable contenido de arenas finas, polvo de roca y depósitos aluviales cuya peculiaridad es que presentan una distribución de tamaños muy uniforme, NSR – 97. Además, los suelos dispersivos entran en suspensión espontáneamente al estar en presencia del agua, mientras que los suelos erodables, experimentan erosión apreciable al estar en contacto con el agua, formando arroyos o surcos.

De acuerdo con Redolfi (2007), los suelos con el comportamiento antes descrito, no son recomendables para elaborar rellenos o terraplenes, aunque presenten la capacidad de recibir grandes esfuerzos en estado seco, debido a que al momento de estar en presencia de agua pierden su estructura y experimentan cambios súbitos de volumen.

El valle del río Verde se localiza en la zona media del estado de San Luis Potosí, México, aquí es frecuente localizar serios problemas en las obras de ingeniería, debido a la existencia de suelos que defloculan, *Gallegos et. al. (2013)*. Aunque como es sabido estos suelos pueden ser detectados y caracterizados mediante ensayos químicos, sin embargo, con frecuencia los ingenieros no cuentan con el equipamiento de laboratorio suficiente para efectuar tales ensayos, por ello, aquí se presenta el análisis desarrollado a un suelo loésico, en primer lugar mediante el procedimiento sugerido por el “Bureau of Reclamation (1991)” del Departamento

* Corresponding author: gfonseca@uaslp.mx

¹ Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media de la U.A.S.L.P. Rioverde San Luis Potosí, México.

² Departamento de Ingeniería de la Universidad de Guanajuato, Guanajuato, México.

de Interior de Estados Unidos, utilizando los ensayos siguientes: el ensayo de Crumb, el ensayo Pinhole, el ensayo de doble hidrómetro, el ensayo de sales disueltas en el agua de poro (CEC) y el ensayo de porcentaje de sodio intercambiable (ESP); y en segundo lugar mediante los ensayos convencionales de geotecnia. Lo anterior obedece a que en las obras de ingeniería que cubren grandes extensiones es necesario desarrollar procedimientos geotécnicos rápidos que permitan identificar oportunamente a estos suelos.

Por otro lado, la dinámica actual de crecimiento que se presenta en algunas ciudades, requiere que se les dote de nuevos espacios para ampliar las zonas de reserva, áreas para crecimiento, zonas habitacionales, zonas industriales, etc. Por ello, se necesita ocupar nuevas áreas territoriales que no presenten condiciones desfavorables para desarrollar las instalaciones de servicios y el desarrollo de edificaciones.

En muchas partes del mundo se presentan problemas de erosión, infiltración, tubificación y subsidencias en las diferentes estructuras terreas desarrolladas por los ingenieros sobre suelos loésicos (dispersivos y colapsables), debido a ello, y al entendimiento que se ha alcanzado sobre estos suelos, es necesario conocer el probable comportamiento que estos suelos pueden experimentar a futuro. En los últimos años, como consecuencia del crecimiento de las áreas urbanas se han utilizado materiales para efectuar rellenos, terraplenes, así como el desplante de estructuras sobre este tipo de suelos, por lo cual las estructuras mencionadas han presentado los daños que arriba se señalan.

Es bien sabido que los suelos aluviales cohesivos, las arenas y los limos eólicos, de las regiones áridas comúnmente experimentan el colapso. Este tipo de suelos generalmente pierden su estructura cuando se hidratan. Sin embargo, no son los únicos suelos que pueden experimentar este comportamiento característico. Desde antaño se ha identificado a este tipo de suelos por medio de parámetros físicos como el contenido de humedad, el peso específico, los límites de consistencia, la densidad relativa y el ensayo del doble odómetro, según menciona R. Peck et al. (1982), sin embargo, también se han presentado algunos criterios para la identificación de los suelos colapsables, los cuales presentó B. Das 2001; como el de Clevenger 1958, Priklonski 1952, el de Gibbs 1961, Feda 1964 y Handy 1973. Debido a que en los últimos años ha aumentado el número de obras desarrolladas en las zonas áridas, se incrementó la recurrencia del fenómeno del colapso en los suelos, por lo que este problema está ganando interés entre los ingenieros.

En el valle del río Verde es frecuente observar suelos con las características típicas de los suelos dispersivos y colapsables, por ello, es necesario descartar la posibilidad de que se trate de estos suelos, mediante el desarrollo de ensayos físicos y analíticos, según recomienda el Manual de Referencia Técnico (2009) de Terrenos Dispersos y la Administración del Departamento de Industrias Primarias y Agua del estado de Tasmania, Australia.

2. DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS PARA CLASIFICAR LOS SUELOS QUE EXPERIMENTAN COLAPSO

Clasificación geotécnica

De acuerdo con lo que señala Rico R. y Hermilo del C. (1999); y el Highway Research Board (1970), la ingeniería geotécnica ha desarrollado ensayos y procedimientos que se

utilizan para identificar a los suelos que experimentan dispersión y colapso, como lo es el límite líquido y la relación de vacíos. Debido a que los suelos que en la naturaleza presentan relación de vacíos superior a la que exhiben cuando se encuentran con su contenido de agua correspondiente a su límite líquido, es común que sufrirán colapso. Así mismo, la relación entre el % de partículas menores que 0.005 mm y el índice de plasticidad es un buen índice para determinar la actividad de la arcilla y a la vez la susceptibilidad de experimentar colapso. Lo anterior obedece a que los suelos con abundante contenido de partículas menores de 0.005 mm e índice plástico reducido son susceptibles de experimentar el colapso. Así mismo, Jennings y Knight (1975) propusieron un procedimiento conocido como de doble odómetro, en el cual se ensaya un espécimen con la humedad natural y otro en estado saturado. Al comparar las dos curvas de compresibilidad obtenidas, la diferencia en la relación de vacíos de entre ambas curvas para una misma magnitud de presión representa el colapso del suelo en análisis. Así pues, para el análisis de un suelo es necesario conocer su contenido de humedad, peso específico, relación de vacíos, límite líquido, límite plástico, granulometría combinada, succión mátrica, succión osmótica, curva de compresibilidad, curva de resistencia y pruebas de carga, respectivamente. En lo que sigue se mencionan algunos criterios reportados en la ingeniería geotécnica para identificar a los suelos colapsables.

a. Criterio de Clevenger (1958) basado en los pesos específicos del suelo

Clevenger (1958), propuso un criterio apoyado en el peso específico seco del suelo en estudio; y estableció que un suelo que presenta un peso específico seco menor a 1.28 Ton/m³ (1.28 Mg/m³), es probable que experimente asentamientos. No obstante, si el peso específico seco es mayor de 1.44 Ton/m³ (1.44 Mg/m³), la magnitud del colapso puede ser menor. Así mismo, para pesos específicos intermedios los asentamientos pueden ser intermedios.

b. Criterio de Gibbs y Bara (1962) basado en el peso específico seco de campo y el límite líquido

El criterio de Gibbs y Bara (1962) se apoya en el peso específico seco y el límite líquido y permite identificar entre un suelo colapsable y otro no colapsable, según la posición que adopte el suelo en la carta de clasificación de suelos colapsables propuesta por los autores arriba citados.

c. Criterio de Handy (1973) basado en el I_c

Se basa esta relación entre el límite líquido (LL) y el grado de saturación del suelo (G_w), de modo que si esta relación es menor que uno, entonces el suelo se colapsa, pero si $I_c > 1$, el suelo no se colapsa. Sin embargo, cuando el I_c es mayor que 0.85, ya es indicativo de colapso.

$$I_c = \frac{\omega - PL}{G_w} < 1 \quad (1)$$

Donde: I_c .- Índice de colapso; ω .- Contenido de agua, en fracción; G_w .- Grado de saturación del suelo, en fracción; PL .- Límite Plástico, en fracción; PI .- Índice Plástico, en fracción.

d. Criterio basado en el Grado de saturación crítico $G_{w,crit}$

El colapso de los suelos es más frecuente en suelos parcialmente saturados, Amer Ali Al-Rawas (2000), de tal suerte que debajo de un valor crítico del $G_{w,crit}$, el colapso puede ocurrir. Para seleccionar el $G_{w,crit}$ Jennings y Knight (1975), propusieron una guía basada en la distribución granulométrica, la cual se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Guía para el colapso del suelo, basada en el grado de saturación, de Jennings y Knight (1975)

Suelo	Distribución de tamaño de partícula (mm)	Grado de saturación crítico (% $G_{w,crit}$)
Gravas finas	1 - 6	6 - 10
Arenas limosas finas	0.002 - 150	50 - 60
Limos arcillosos	0.0002 - 150	90 - 95

Según Reznik (1989), el Código Soviético de Construcción identifica como suelos colapsables a aquellos que presentan un grado de saturación inferior al 80 %, y el valor de su Índice de Colapso (IC) está entre los que se muestran en la tabla 2. El Índice de Colapso se define como:

$$IC = -\frac{e_L - e}{1 + e} \quad (2)$$

Donde: e_L .- Relación de vacíos en el límite líquido y e .- Relación de vacíos con su contenido de humedad natural.

Tabla 2. Límites para el indicador IC, valores para diferentes suelos loesicos, de Reznik (1989)

Índice de plasticidad del suelo (% IP)	Indicador IC
1 - 10	0.10
10 - 14	0.17
14 - 22	0.24

IC. Índice de colapso.

Cada uno de los criterios de identificación de suelos colapsables arriba citados deberán utilizarse acompañados de la experiencia, no obstante, la medición directa del colapso del suelo es imprescindible.

e. Criterio mediante el Potencial de colapso PC

Este procedimiento fue propuesto por Jennings y Knight (1975), en el cual se sugiere un procedimiento mediante el ensayo del doble oedómetro, para determinar el Potencial del Colapso, de un espécimen de suelo inalterado colocado en el anillo de consolidación. El espécimen es progresivamente cargado hasta la presión de 200 kPa, en esta presión, el espécimen se satura con agua y se monitorean las deformaciones que experimenta por 24 hrs; a partir de ahí se continua adicionando cargas hasta alcanzar la presión máxima a la cual se desea ensayar el suelo. De este modo el potencial de colapso (PC) se define como:

$$PC = \frac{\Delta H}{H_o} = \frac{\Delta e_c}{1 + e_o} \cdot 100 \quad (3)$$

Donde: ΔH .- Es el cambio de altura del espécimen debido a la saturación; H_o .- Altura original del espécimen; Δe_c .- Es el cambio de la relación de vacío cuando el espécimen se satura; e_o .- Relación de vacíos antes de la saturación.

Jennings y Knight (1975) sugirieron una clasificación de la severidad del problema de colapso basada en el potencial de colapso (PC), como se muestra en la tabla 3, en donde se muestra que los suelos con un PC superior a 1% se consideran como inestables. Por otro lado, de acuerdo con Amer Ali Al-Rawas (2000) y Lutenegeger y Hallberg (1988), en los Estados Unidos, los valores de PC superior a 2% se consideran indicativos de un suelo susceptible de colapso.

Tabla 3. Severidad Potencial de colapso de Jennings y Knight (1975)

% Potencial de Colapso	Severidad del problema
0 - 1	Sin problema
1 - 5	Problema moderado
5 - 10	Problema
10 - 20	Problema severo
> 20	Problema muy severo

Clasificación de suelos dispersivos propuesto por el Departamento de Interior de Estados Unidos

Cuando el propósito de la ingeniería es identificar la existencia de los suelos dispersivos según Paul C. Knodel (1991), del "Bureau of Reclamation" del Departamento de Interior de Estados Unidos, recomienda que se inicie con un reconocimiento en el sitio de interés, para observar si existen indicios de erosión, canales, pozos de alivio o si se presenta turbidez en el agua que cae sobre estos suelos, así como en el agua almacenada en depósitos construidos con suelos de esta naturaleza. Una peculiaridad de este tipo de suelos es la falta de vegetación en la superficie.

Los suelos dispersivos no pueden ser identificados únicamente de manera visual, por lo que se recurre a otros ensayos como el ensayo de Crumb, el ensayo de doble hidrómetro, el ensayo de Pinhole y el ensayo químico; para la identificación de las sales disueltas en el agua de poro, como el ESP (Exchangeable Sodium Percentage) o SAR (Sodium Absorption Ratio). Los ensayos antes mencionados son frecuentemente utilizados para la identificación de suelos dispersivos en Estados Unidos, Australia, Sudáfrica y Zimbabue. A continuación se describen los métodos para identificar a los suelos que defloculan en agua:

a. Ensayo de Crumb

El ensayo de Crumb fue desarrollado por Emerson (1967), para identificar el comportamiento de los suelos dispersivos en campo, actualmente es utilizado para desarrollar este ensayo en laboratorio. El ensayo consiste en preparar una muestra cúbica de suelo de 15 mm por lado, con su contenido de agua natural o también puede ser utilizado un grumo de suelo de igual volumen con su contenido de agua natural. Este espécimen se coloca cuidadosamente en un recipiente que contenga 250 ml de agua destilada. Como el espécimen comienza a hidratarse, las partículas coloidales comienzan a deflocularse y a quedar en suspensión. Los resultados son

interpretados en intervalos de tiempo y se pueden registrar cuatro grado de reacción: 1.- Ninguna reacción; 2.- Ligera reacción; 3.- Reacción moderada y 4.- Reacción fuerte (aquí los coloides cubren totalmente el fondo del recipiente). De esta forma es posible evaluar el potencial de dispersión del suelo.

b. Ensayo de Pinhole

El ensayo de Pinhole se aplica para evaluar si una muestra de suelo alterado o inalterado experimenta dispersión. En éste ensayo se hace circular agua a través de un orificio pequeño practicado a la muestra de suelo. Este flujo de agua simula

la infiltración de agua en el suelo al cual puede estar sometido en la naturaleza a través de poros, orificios, grietas, canales; en terraplenes o en el corazón de presas. El orificio por el cual se hace circular el agua es de 1.0 mm de diámetro, practicado a un espécimen cilíndrico de suelo de 25.0 mm de longitud por 35.0 mm de diámetro. El líquido que se hace circular a través de este orificio es agua destilada con una carga hidráulica de 50, 180 y 380 mm, en donde se registra la velocidad alcanzada durante la infiltración que puede ser de 30 a 60 cm/seg, así como la turbidez que experimente el agua. De acuerdo con Sherard et. al. (1976^a) este ensayo en la actualidad es ampliamente usado. Para desarrollar este ensayo se recomienda contar con

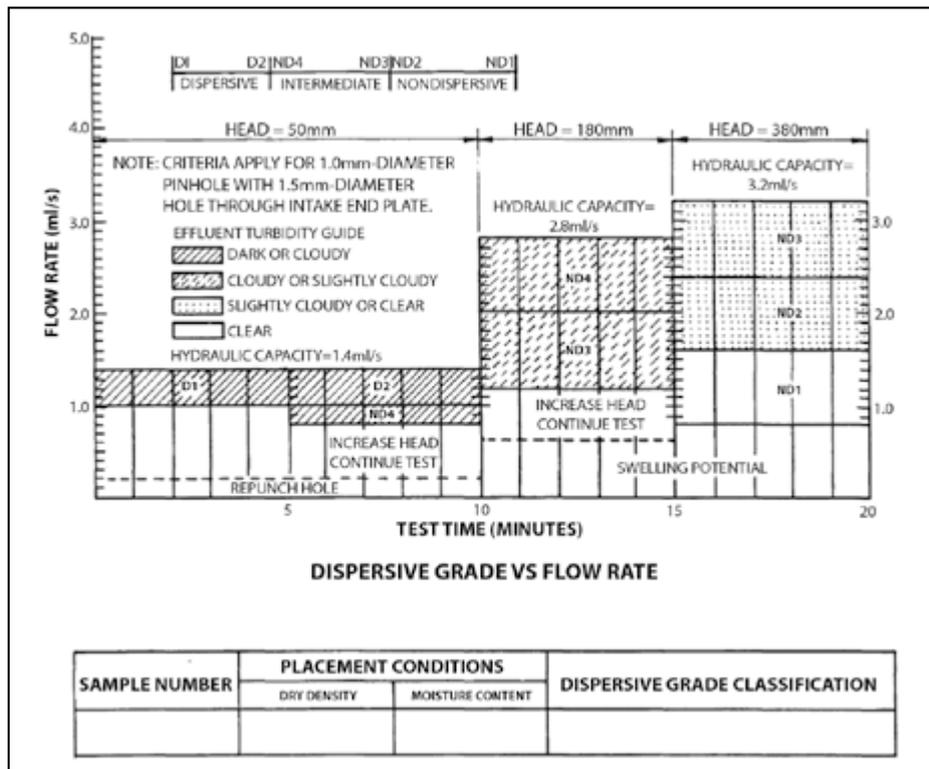


Figura 1. Grado de dispersión del suelo (tomada del "Bureau of Reclamation 1991" del Departamento de Interior de Estados Unidos).

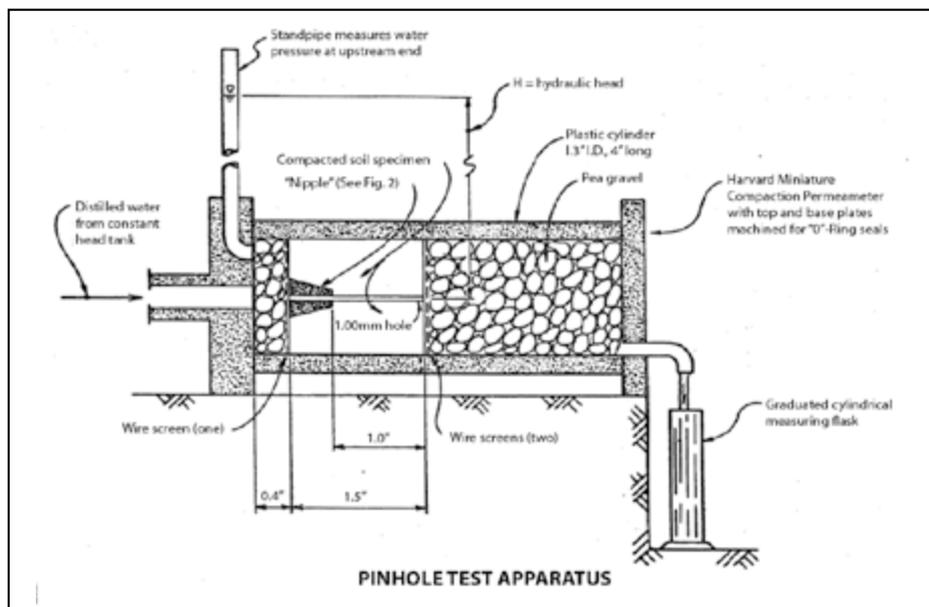


Figura 2. Aparato para desarrollar el ensayo Pinhole (tomada de Lorn P., 1987).

muestras de suelo, preferentemente con su contenido de agua natural, debido a que la pérdida de esta puede modificar los resultados en algunos tipos de suelos. Se recomienda que las muestras de suelo no contengan partículas superiores a 2 mm, de ser necesario se recomienda removerlas (ver Determining Dispersibility of Clayey Soils by the Pinhole Test Method del Bureau of Reclamation, 1990). Acciardi (1984), desarrolló un método cuantitativo para identificar los diferentes grados de dispersibilidad tal y como se muestra en la figura 1.

c. Ensayo del doble hidrómetro

El ensayo de doble hidrómetro fue desarrollado por el SCS (Soil Conservation Service) y fue uno de los primeros métodos desarrollados para evaluar la dispersión de suelos arcillosos. El procedimiento que se utiliza actualmente fue propuesto por Volks (1937). El ensayo se debe realizar con muestras de suelo con su contenido de agua natural.

La granulometría se determina en primer lugar utilizando el procedimiento estándar del hidrómetro, en el cual el espécimen de suelo es dispersado en agua destilada mediante una agitación mecánica muy intensa y adicionándole previamente un dispersante químico. De forma paralela se desarrolla un ensayo del hidrómetro a otra muestra del mismo suelo, pero sin agitación mecánica y sin dispersante químico. El porcentaje de dispersión es la relación entre el porcentaje de partículas menores a 0.005 mm, obtenido mediante el ensayo del doble hidrómetro, sin defloculante, contra el porcentaje de partículas menores a 0.005 mm obtenido mediante el ensayo estándar de doble hidrómetro, expresado en porcentaje. El criterio para evaluar el grado de dispersión es el que se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Criterios para evaluar el grado de dispersión

% de Dispersión	Grado de Dispersión
<30	No dispersivo
30 a 50	Intermedio
>50	Dispersivo

Para asegurar la representatividad del ensayo se recomienda desarrollar un número importante de ensayos, debido a que pueden variar en gran medida los resultados aún en distancias muy cortas en los bancos de material, en trazos de canales o terraplenes. Los suelos que son dispersivos generalmente exhiben un porcentaje de dispersión superior al 30 %, cuando se practica este ensayo, según refiere (Sherard y Decker, 1977).

d. Ensayos químicos

Desde 1960 fue identificado en Australia, el Porcentaje de Sodio Intercambiable (ESP), como un factor que contribuye al comportamiento dispersivo de las arcillas (Aitchison y Wood, 1965; Ingles y Wood, 1964a; Rallings, 1966) cuyo parámetro básico es el ESP (Exchangeable Sodium Percentage).

$$ESP = \frac{\text{Exchangeable sodium}}{\text{CEC Catione Exchange Capacity}} \times 100 = \frac{Na^+}{Na^+ + Mg^{2+} + K^+ + Ca^{2+}} \times 100$$

Los suelos con un $ESP \geq 10$ que presentan lixiviados o contienen sales, se clasifican como dispersivos. Los criterios para clasificar los suelos dispersivos en base al ESP son los que se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Criterios para clasificar los suelos dispersivos de acuerdo con el ESP

ESP	Grado de dispersión
< 7	No dispersivo
De 7 a 10	Intermedio
>10	Dispersivo

Otro parámetro comúnmente utilizado para evaluar la dispersión provocada por el sodio presente en las sales disueltas en el agua de poro, es el SAR (Sodio Absortion Ration).

$$SAR = \frac{Na}{[0.5(Ca + Mg)]^{0.5}} \text{ con unidades de meq/L}$$

El método del SAR es aplicable si no hay presencia de sal libre. El uso del SAR está basado en el hecho de que el suelo en la naturaleza se encuentra en equilibrio con su ambiente. Existe una relación entre la concentración electrolítica del agua de poro del suelo y los iones intercambiables de la capa absorbida de arcilla. Investigadores australianos demostraron que todos los suelos son dispersivos si el SAR es > 2 . Lo anterior muestra concordancia en suelos con un TDS (Total Dissolved Salts) entre 0.5 y 3 meq/L, pero no para suelos que queden fuera de este rango, ver figura 3 de Clark (1986). El método actual para evaluar la influencia química en el comportamiento dispersivo del suelo, en los U. S., es el que se presenta en la figura 4.

$$\text{Percent Sodium} = \frac{Na(100)}{TDS} \text{ donde } TDS = Na + Ca + Mg + K$$

Sus unidades se dan en meq/L

Para obtener el extracto de saturación, el suelo se mezcla con agua destilada hasta obtener una pasta de suelo saturada con su contenido de agua cercano a su Límite Líquido. La pasta se deja reposar hasta que se equilibra la humedad en las sales del agua de poro y el intercambio catiónico (CEC). El agua de poro extraída de esta pasta es ensayada para determinar la cantidad de cationes de calcio, magnesio, sodio y potasio, en miliequivalentes por litro (meq/L). De aquí se determina el porcentaje de sodio (Percent Sodium) y el TDS (Total Dissolvant Salts) siguiendo el procedimiento establecido por el Departamento de Publicaciones de Agricultura de Estados Unidos.

Aunque la carta de la figura 4 ha dado buenos resultados en Estados Unidos, los resultados estadísticos han mostrado que este método no concuerda con los resultados de los ensayos físicos (Pinhole) para cinco o seis grupos de suelos investigados como lo señala Craft y Acciardi (1984). El uso de esta figura ha sido satisfactoria en donde los resultados preliminares de cierta área mostraron buena correlación con el ensayo Pinhole.

La figura 5 no es confiable con los suelos de Sudáfrica y Zimbabue (Clark, 1986). El procedimiento desarrollado para evaluar el efecto de la sales disueltas en el agua

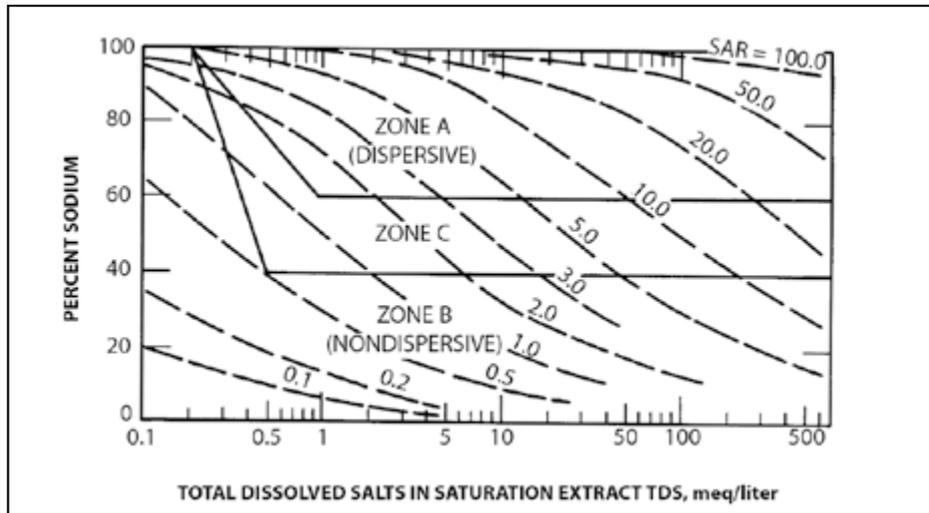


Figura 3. SAR sobrepuesto en la carta de TDS (tomada del "Bureau of Reclamation 1991" del Departamento de Interior de Estados Unidos).

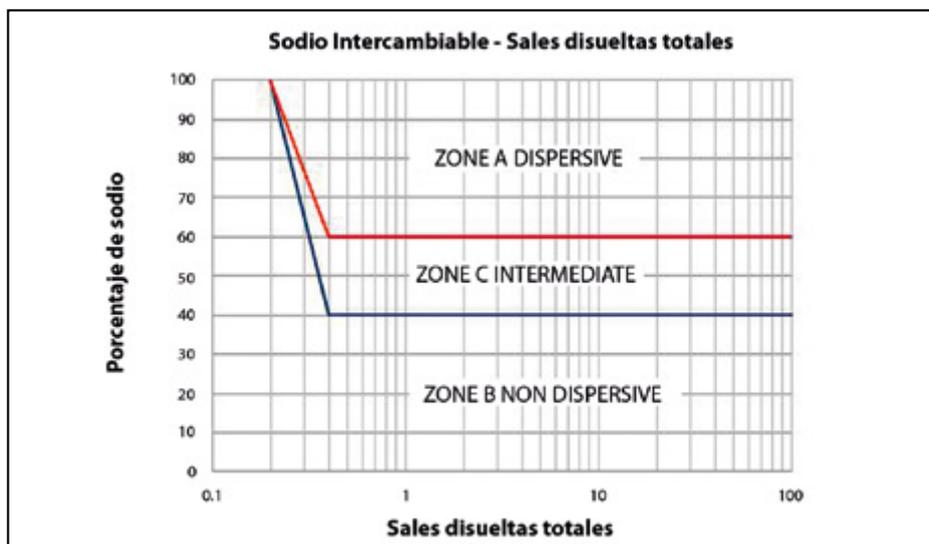


Figura 4. Potencial dispersivo vs TDS (tomada del "Bureau of Reclamation 1991" del Departamento de Interior de Estados Unidos).

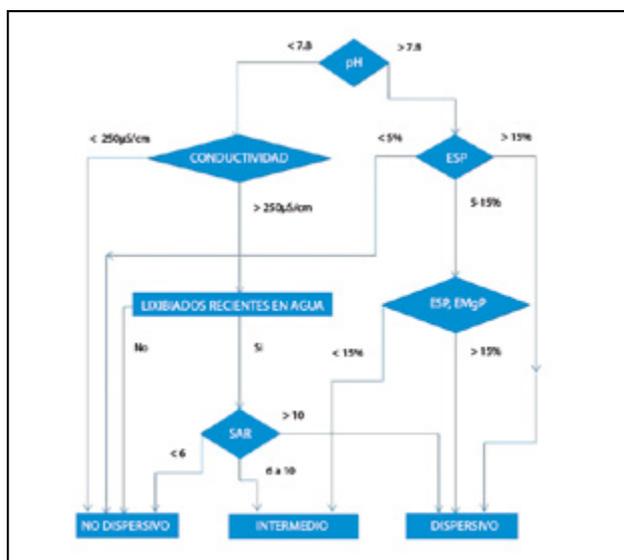


Figura 5. Potencial dispersivo evaluado a partir del análisis de sales disueltas en el agua de poro (tomada del "Bureau of Reclamation 1991" del Departamento de Interior de Estados Unidos).

de poro con potencial dispersivo se muestra en la figura 5, según Elges (1985). Este método no está ampliamente usado en los Estados Unidos y no existen estudios correlativos que se hayan realizado. Para obtener muestras de suelos dispersivos en campo se recomienda asegurar que no pierda humedad, por lo que deben almacenarse en contenedores herméticos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Con la finalidad de hacer un análisis comparativo entre los resultados obtenidos mediante los procedimientos de identificación de los suelos dispersivos propuestos por Paul C. Novel (1991), del Departamento de Interior de Estados Unidos y los presentados por B. M. Das (2001). Para ello se seleccionó una zona localizada en la margen izquierda del río Verde, en donde el plan de desarrollo de la zona conurbada de Rioverde y Ciudad Fernández S. L. P. México, tiene contemplado el desarrollo de la zona industrial. El presente trabajo se desarrolló en cuatro etapas, la primera consistió en una visita de campo para definir la superficie a estudiar

y a la vez para recabar información del lugar, en la segunda se obtuvo un muestreo, en la tercera etapa se efectuaron ensayos físico-químicos y geotécnicos. En la cuarta etapa se efectuó una valoración del grado de dispersión y colapso del suelo, haciendo uso de algunos criterios reportados en la literatura que se apoyan en los resultados obtenidos a partir de ensayos físicos, químicos y geotécnicos. Finalmente se emitieron los comentarios obtenidos de la investigación.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

Primera etapa.- Selección de la superficie propuesta

El valle del río Verde alberga a varios poblados, el más representativo de esta zona es la ciudad de Rioverde, la que se ubica en la parte media del estado. Las coordenadas geográficas del centro de Rioverde son $21^{\circ} 56' 22''$ de latitud norte y $99^{\circ} 59' 38''$ de longitud oeste, con una altura de 980 m.s.n.m. Su distancia aproximada a la capital del estado es de 131 km. La superficie seleccionada se extiende en dirección N - S desde las coordenadas $21^{\circ} 58' 14.29''$ de latitud norte y $99^{\circ} 58' 22.94''$ de longitud oeste, por el norte, y la coordenada $21^{\circ} 55' 1.81''$ de latitud norte y $99^{\circ} 56' 51.42''$ de longitud oeste, por el sur; a la vez en dirección E - W desde las coordenadas $21^{\circ} 56' 9.08''$ de latitud norte y $99^{\circ} 56' 36.96''$ de longitud oeste, por el este, hasta la coordenadas $21^{\circ} 57' 33.49''$ de latitud norte y $99^{\circ} 58' 47.30''$ de longitud oeste, por el oeste. A su vez el sitio en estudio se localiza a 5 km al noreste de la ciudad de Rioverde, entre la carretera federal 70 y la carretera estatal 69, el cual se muestra en la figuras 6 y 7.

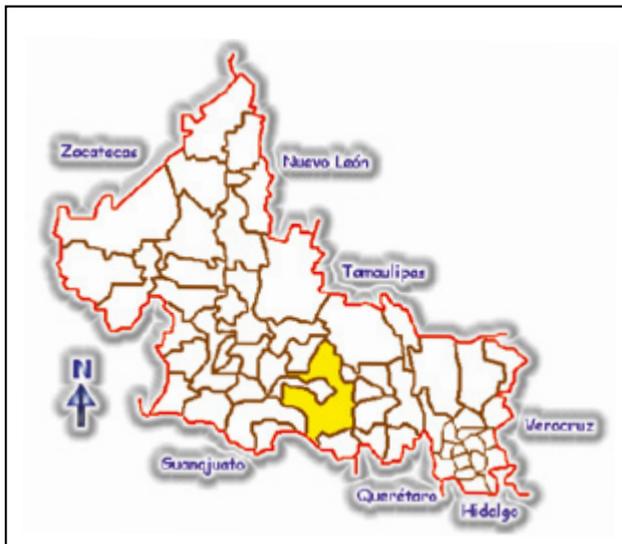


Figura 6. Localización de Rioverde, en el estado de S. L. P., México.

Mediante la visita al sitio se observó que en la zona la vegetación que arropa al suelo es escasa y en algunos lugares el suelo se encuentra expuesto, su color va del negro a gris, con pendientes inferiores al 10 %. Así mismo, en aquellos sitios inclinados en los que su pendiente es más pronunciada se aprecia la formación de canales en la superficie, causados por la erosión y disolución del suelo al escurrir agua sobre la superficie (erosión), por otro lado, se identificó una serie de orificios verticales, también conocidos como pozos de alivio, en donde es común identificar

la presencia de tubificación en el subsuelo. Además, en la zona se localizaron varios pozos de extracción de agua en los que su nivel estático oscila entre los 7 y 11 m de profundidad. Así mismo, en la parte media de esta zona se localizó una serie de cavernas a profundidades inferiores a los 5.0 m. La vegetación típica de la zona es el pasto, el mezquite, huizache, y en los sitios con mucha humedad, el Tule. En la zona en estudio, los usos de suelo son agrícola, industrial, comercial y habitacional. En la cual la superficie construida es inferior al 5 %.



Figura 7. Localización de la zona de estudio.

Segunda etapa.- Recuperación de las muestras

Una vez identificada la zona de estudio se obtuvo la topografía e hidrografía del sitio. Con esta información se elaboró un modelo espacial de la zona, el cual se muestra en la figura 8, por medio de este modelo se situó a los sitios que presentaron la mayor y menor elevación, de esta manera se localizó a un sitio cercano a la Unidad Deportiva Municipal de Rioverde y otro en la colonia La Ilusión. Una vez seleccionados estos dos sitios se procedió a realizar un Pozo a Cielo Abierto (PCA) en cada uno de ellos. De cada PCA se obtuvo su perfil del suelo, observándose que en ambos se trata de un suelo joven ya que el primer estrato (Horizonte A) es de apenas 0.27 m y el segundo (Horizonte B) es de 3.65 m. El primer estrato es un suelo de color negro a gris del tipo ML (limo inorgánico de baja compresibilidad) y le subyace un estrato de suelo de color gris que

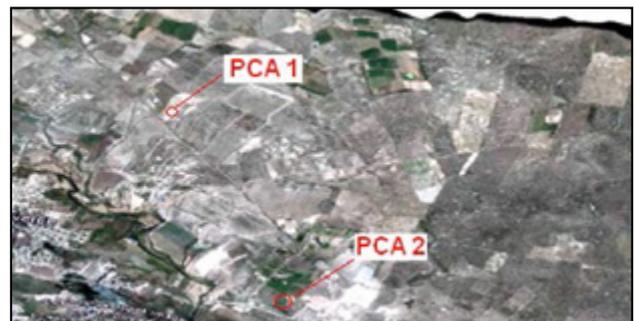


Figura 8. Modelo de elevación de la zona propuesta para un parque industrial.

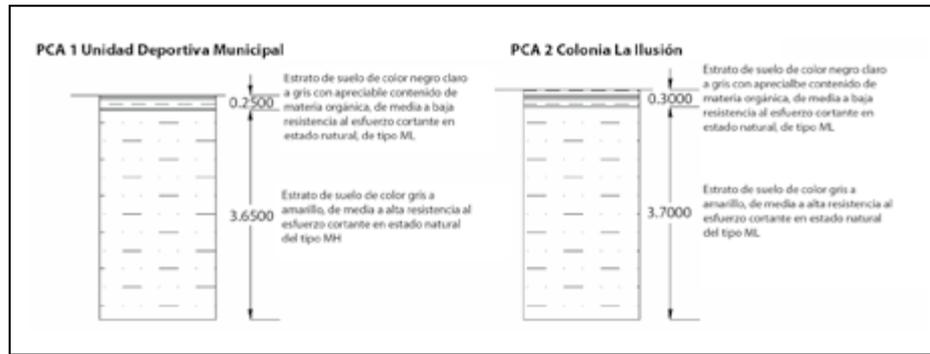


Figura 9. Perfiles estratigráficos encontrados en la zona de estudio.

Tabla 6. Caracterización geotécnica de los estratos de suelo de la Unidad Deportiva y Colonia La Ilusión

Ubicación	Capa	% Grava	% Arena	% Finos	% Lim Liq	% Lim Plas	% Ind Plast	% w	g_m Ton/m ³	SUCS
Unidad Deportiva Municipal	1	0.19	6.88	92.98	53.00	N. P.	N. P.			ML
	2	0.00	2.56	97.45	63.29	39.56	23.72	33.11	1.66	MH
Colonia La Ilusión	1	0.26	15.90	83.84	48.33	35.44	12.89			ML
	2	0.51	14.95	84.53	44.95	32.42	12.53	19.52	1.67	ML

Fuente: Elaboración propia.

puede ser ML o MH (limo inorgánico de baja compresibilidad o limo inorgánico de alta compresibilidad). El perfil de suelo obtenido en el PCA 1, de la Unidad Deportiva Municipal y PCA 2, en la colonia La Ilusión, se presenta en la figura 9.

Tercera etapa.- Desarrollo de los ensayos de laboratorio

Una vez que se recuperaron las muestras de ambos sitios y que fueron transportadas al laboratorio, se les determinaron los ensayos geotécnicos, físicos y químicos; la caracterización geotécnica de los estratos de suelo encontrado, se muestra en la tabla 6. También se muestra la distribución del contenido de agua, en ambos sitios, desde

la superficie y hasta la profundidad de 4.0 m, tal como se aprecia en la figura 10.

A partir de la figura 10 se observó que el suelo de la Unidad Deportiva presentó mayores contenidos de agua, desde la superficie hasta la máxima profundidad explorada, lo que se puede atribuir a una mayor presencia de finos en la matriz de suelo.

Doble Hidrómetro

Con la intención de valorar el grado de dispersión de los suelos arcillosos recuperados en la Unidad Deportiva Municipal y la colonia La Ilusión, se realizó un análisis granulométrico combinado, siguiendo el procedimiento estándar del método del hidrómetro, a la vez se realizó un ensayo granulométrico combinado sin utilizar el agitado por mallas ni dispersante, los resultados se muestran en la figura 11.

A partir de la figura 11, se determinaron los valores de A y B, necesarios para obtener el grado de dispersión mediante la relación de A/B, tal y como se muestra en la tabla 7.

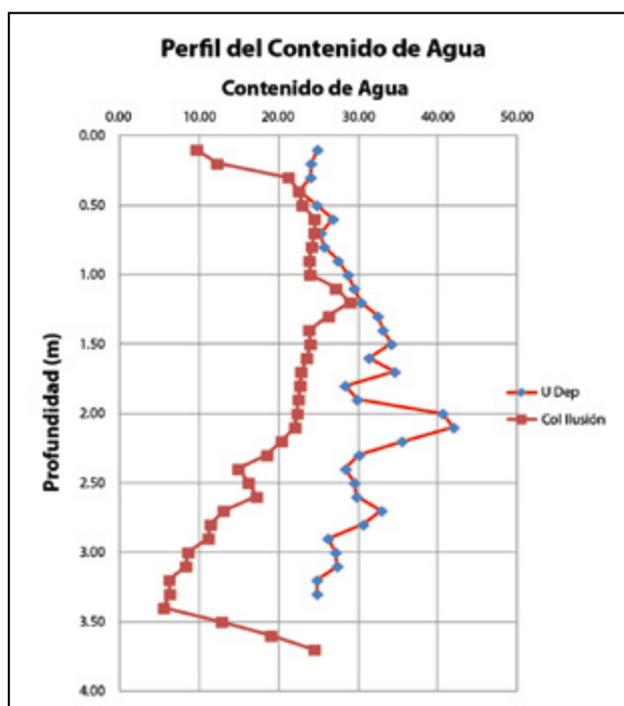


Figura 10. Perfil del contenido de agua del suelo.

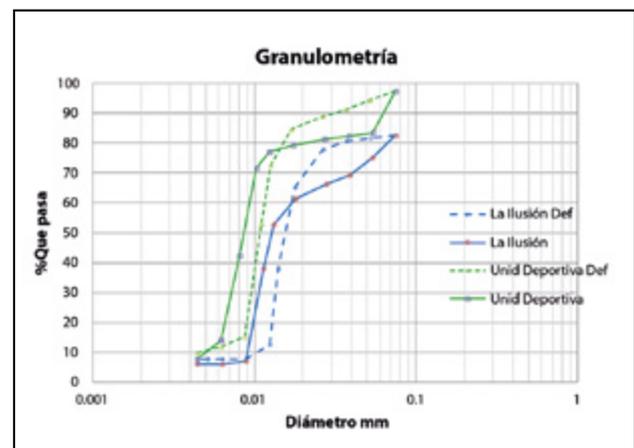


Figura 11. Análisis granulométrico combinado.

Tabla 7. Resultados del grado de dispersión

Muestra	A	B	A/B
La Ilusión	6.00	7.66	78.28
Unid Dep Mpal	9.60	10.60	90.57

De acuerdo con el procedimiento propuesto por el Soil Conservation Service (SCS), los suelos de la colonia La Ilusión y de la Unidad Deportiva Municipal resultaron ser dispersivos, ya que en ambos el porcentaje de dispersión resultó ser superior a 50.

Ensayo de Crumb

Para valorar la tendencia del suelo a deflocular o para observar la facilidad con la cual la arcilla se suspende en el agua, se desarrolló el ensayo de Crumb, como se observa en la figura 12, y los resultados se muestran en la tabla 8.



Figura 12. Ensayo de Crumb.

Tabla 8. Resultados del ensayo de Crumb

Muestra	Colonia La Ilusión	Uni Dep Mun
1	Grado 1	Grado 2
2	Grado 1	Grado 2
3	Grado 1	Grado 2

En la tabla 8 se muestran los resultados obtenidos durante el desarrollo del ensayo de Crumb, realizado a los suelos de la Unidad Deportiva Municipal y de la Colonia La Ilusión. En el caso del suelo de la Colonia La Ilusión, su comportamiento es de Grado 1 (ninguna reacción), debido a que el suelo no se suspendió en el agua, sólo perdió su estructura, mientras que el suelo de la Unidad Deportiva Municipal es de Grado 2 (reacción ligera), en donde sí se presentó una ligera suspensión del suelo en el agua; por lo anterior es más susceptible de experimentar erosión el suelo de la Unidad Deportiva Municipal, sin embargo, es necesario observar los resultados de los ensayos complementarios.

Ensayo de Pinhole

Para evaluar la dispersibilidad de los suelos recuperados en la Unidad Deportiva Municipal y la Colonia La Ilusión, mediante el flujo de agua que pasa a través de un orificio practicado a una muestra de suelo, con la finalidad de verificar que se presenta turbidez en el agua para una

determinada carga hidráulica, variando la velocidad de flujo desde 30 a 160 cm/seg, se ha utilizado el procedimiento propuesto por Sherard *et. al.* (1976a), el cual fue posteriormente modificado por el “Bureau of Reclamation (1991)”.

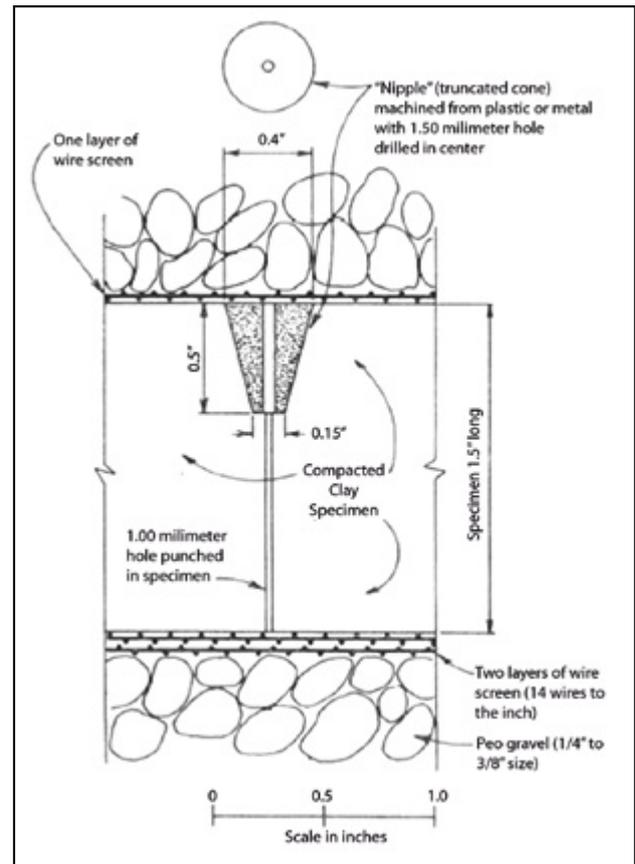


Figura 13. Ensayo de Pinhole (tomada de Lorn P, 1987).

Tabla 9. Resultados del ensayo Pinhole

No	Unidad Deportiva Mun	Colonia La Ilusión
1	ND3	ND2
2	ND3	ND3
3	ND3 y ND4	ND3
Resultado	Leve a moderado	No dispersivo- Dispersivo de leve a moderado

Con base en la tabla 9, se observó que el suelo de la Unidad Deportiva Municipal presentó un grado de dispersión de leve a moderado, es decir intermedio y de igual forma lo experimentó el suelo obtenido en la Colonia La Ilusión. Así, se puede decir que ambos suelos presentan una propensión a la dispersión en agua, de grado intermedio.

Ensayos Químicos

También se desarrollaron ensayos químicos con la finalidad de conocer las características que presenta el agua de poro. Para ello se desarrolló el ensayo del Ph y se determinó el contenido de sales disueltas. Los resultados se presentan en la tabla 10.

A partir de la información presentada en la tabla 10, las CEC (Capacity Exchangeables Cations) determinadas a las muestras de suelo de la Unidad Deportiva Municipal y colonia La Ilusión es de 31.66 y 29.00 y meq/L. Así mismo, el ESP (Exchangeable Sodium Percentage) es de 9.44 y

Tabla 10. Resultado del análisis químico de las muestras de suelo

Análisis físico-Químico			
Unidad Deportiva Municipal		Colonia La Ilusión	
Parámetro	Resultado	Parámetro	Resultado
% Mat Orgánica	0.00	% Mat Orgánica	0.00
% CaCO ₃	64.54	% CaCO ₃	64.05
Ph	7.34	Ph	7.25
Cond. Elec. Milihom/cm	2.71	Cond. Elec. Milihom/cm	3.03
Sodio (Na) meq/lit	2.50	Sodio (Na) meq/lit	2.99
Potasio (K) meq/lit	0.67	Potasio (K) meq/lit	0.95
Calcio (Ca) meq/lit	22.89	Calcio (Ca) meq/lit	23.37
Magnesio (Mg) meq/lit	3.00	Magnesio (Mg) meq/lit	4.35
Carbonatos (CO ₃) meq/lit	0.00	Carbonatos (CO ₃) meq/lit	0.00
Bicarbonatos (HCO ₃) meq/lit	5.28	Bicarbonatos (HCO ₃) meq/lit	6.04
Cloruros (Cl) meq/lit	1.56	Cloruros (Cl) meq/lit	2.68
Sulfatos (SO ₄) meq/lit	22.39	Sulfatos (SO ₄) meq/lit	23.95
Nitratos (NO ₃) meq/lit	0.092	Nitratos (NO ₃) meq/lit	0.18
CEC (Capacidad de intercambio Catiónico)	29.06	CEC (Capacidad de intercambio Catiónico)	31.66
ESP (Porcentaje de Sodio Intercambiable)	8.60	ESP (Porcentaje de Sodio Intercambiable)	9.44
SAR (Razón de Absorción de Sodio)	0.695	SAR (Razón de Absorción de Sodio)	0.803

Tabla 11. Clasificación de los suelos dispersivos analizados

No	Ensayo	Resultados	
		Unidad Deportiva Municipal	Colonia La Ilusión
1	Doble Hidrómetro	Dispersivo	Dispersivo
2	Ensayo de Crumb	Dispersivo (ligera)	No Dispersivo
3	Ensayo de Pinhole	Dispersivo (intermedio)	Dispersivo (intermedio)
4	ESP (Exchangeable Sodium Percent)	Dispersivo (intermedio)	Dispersivo (intermedio)
5	SAR (Sodium Absortion Ratio)	No dispersivo	No dispersivo
Clasificación		Dispersivo (intermedio)	Dispersivo (intermedio)

8.6 (Suelos sódicos), finalmente la SAR (Sodium Absortion Ration) es de 0.803 y 0.695 meq/L (suelo no sódico), para las muestras de suelo analizadas.

La clasificación de los suelos analizados son las que se muestran en la tabla 11.

De acuerdo con el criterio de **Clevenger (1958)**, los suelos cuyo peso específico es menor a 1.28 Ton/m³, es probable que experimente asentamientos, en la tabla 12 se muestran los pesos específicos obtenidos en los sitios de muestreo.

Tabla 12. Peso específico seco del suelo de la Unidad Deportiva y Colonia La Ilusión

Capa	Peso Específico Seco Ton/m ³	
	Unidad Deportiva Municipal	Colonia La Ilusión
2ª	1.27	1.30

En la tabla 12 se muestra que los pesos específicos de estos suelos están justo en la frontera inferior, de modo que se puede considerar que ambos suelos son susceptibles de experimentar colapso.

Por otro lado, a partir de los ensayos practicados a los suelos localizados en la Unidad Deportiva Municipal y

Colonia La Ilusión, se determinó que su ubicación dentro de la carta de clasificación de suelos colapsables de **Gibbs y Bara (1962)**, es la que se muestra en la figura 14.

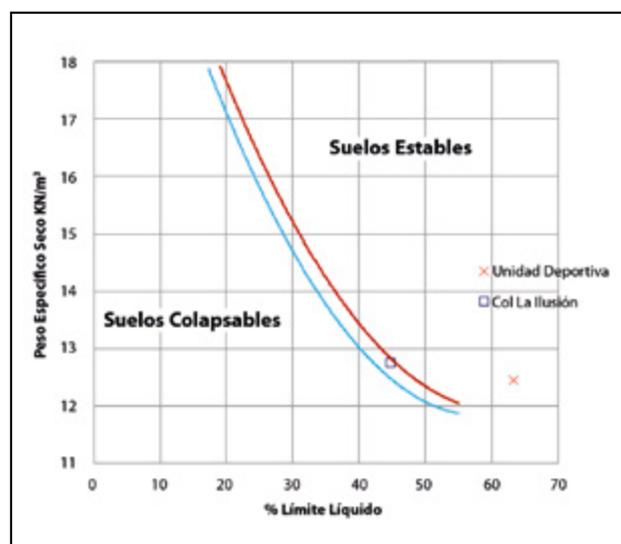


Figura 14. Clasificación de suelos colapsables, según Gibbs y Bara (1962).

Con la figura 14, se puede advertir que el suelo de la Colonia La Ilusión está más próximo al colapso que el de la Unidad Deportiva Municipal.

Así mismo, a partir del criterio de **Handy (1973)** es posible identificar a un suelo colapsable o no, si su I_c es menor que 1.0, los resultados de la estimación del I_c , se muestra en la tabla 13.

Tabla 13. Índice de Colapso del suelo de la Unidad Deportiva y Colonia La Ilusión

Capa	Índice de Colapso del Suelo I_c	
	Unidad Deportiva Municipal	Colonia La Ilusión
2ª	0.379	0.893

Como puede apreciarse en la tabla 13, ambas muestras de suelo presentan un I_c inferior a 1.0, por lo cual de acuerdo con este criterio de Handy (1973), es posible esperar el colapso de ambos suelos. Sin embargo, el suelo de la Unidad Deportiva tiene mayores posibilidades de experimentar el colapso.

Además, en relación al criterio basado en el **grado de saturación crítico $G_{w\text{crit}}$** , se requiere para ello en primer lugar determinar el rango de tamaños presentes en la muestra de suelo. Esta información se presenta en la tabla 14.

Tabla 14. Diámetro de las partículas de suelo

Capa	Diámetro de la partícula en mm	
	Unidad Deportiva Municipal (mm)	Colonia La Ilusión (mm)
2ª	0.0027 - 4.75	0.0035 - 19.00

Según las consideraciones de Jennings y Kniht (1975), se clasificaría a este suelo como una Arena Limosa - Arcillosa fina, en la cual su $G_{w\text{crit}}$ puede variar de 50 a 60 %, no obstante el G_w de la Unidad Deportiva es mayor ($G_w = 68.19\%$), y el G_w de la Colonia La Ilusión es inferior ($G_w = 44.70\%$), de modo que el suelo de la Colonia La Ilusión tiene mayor posibilidad de experimentar colapso. Así mismo, de acuerdo al Código Soviético de Construcción, el I_c para estos suelos oscila entre el 0.17 y 0.24 para la Colonia La Ilusión y la Unidad Deportiva Municipal, respectivamente.

En lo que respecta al criterio mediante el **Potencial de Colapso (PC)**, no fue posible obtener tal parámetro, no obstante, se pudo determinar que la presión de pre-consolidación para ambos suelos es de 2.20 kg/cm², en estado natural y de 1.20 kg/cm², en estado saturado, en la figura 15, se muestra la curva de compresibilidad del suelo de la

Colonia La Ilusión, con su contenido de agua natural y en estado saturado.

En la figura 15 se puede apreciar que el suelo de la Colonia La Ilusión se deformará al recibir un esfuerzo de 2.20 kg/cm², sólo 2.03 cm; mientras que este mismo suelo bajo la misma presión aplicada pero en estado saturado puede experimentar una deformación de hasta 14.47 cm.

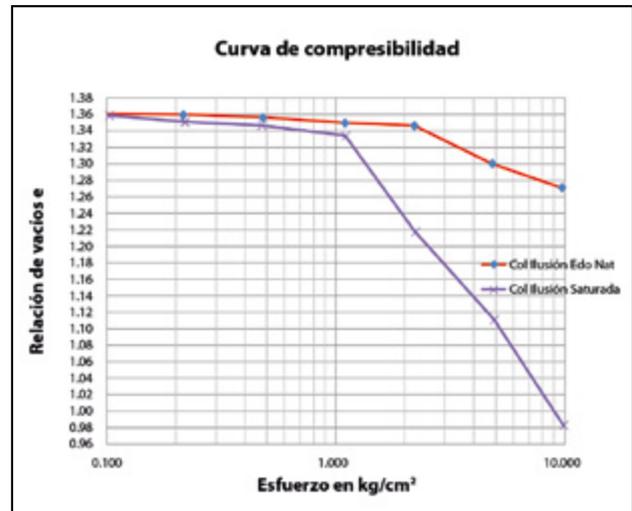


Figura 15. Curvas de compresibilidad del suelo.

Con la finalidad de presentar la conclusión a la que se llegó haciendo uso de los procedimientos recomendados por B. M. Das (2001), para valorar la posibilidad de colapso se presenta su análisis en la tabla 15, en donde se determinó que ambos suelos analizados son susceptibles de colapso.

CONCLUSIONES

Una vez realizada la identificación de los suelos de la Unidad Deportiva Municipal y el de la Colonia La Ilusión mediante la propuesta del U. S. Department of Interior y los criterios propuestos por B. M. Das (2001); se puede apreciar que ambos procedimientos permiten tener un mejor discernimiento acerca de la posibilidad de que los suelos loésicos puedan exhibir defloculación al estar en presencia de agua o que éstos puedan experimentar el colapso al momento en el que el suelo se satura o se le aplican nuevas cargas. A continuación se presentan algunas conclusiones:

1. La visita de campo permitió identificar en el suelo su probable comportamiento dispersivo.

Tabla 15. Análisis de la posibilidad de colapso del suelo

No	Criterio	Resultados	
		Unidad Deportiva Municipal	Colonia La Ilusión
1	Criterio de Clevenger (1958) basado en los pesos específicos del suelo	Colapsable	Colapsable
2	Criterio de Gibbs y Bara (1962) basado en el peso específico seco de campo y el límite líquido	Estable	Estable
3	Criterio de Handy (1973) basado en el I_c	Colapsable	Colapsable
4	Criterio basado en el Grado de saturación crítico G_w crit	Estable	Colapsable
5	Criterio mediante el Potencial de colapso PC	Colapsable	Colapsable
Clasificación		Colapsable	Colapsable

2. Mediante los ensayos recomendados por el Departamento de Interior de Estados Unidos, fue posible identificar que ambas muestras de suelo son suelos con grado de dispersivo intermedio y por tanto debe evitarse su hidratación.
3. Así mismo, mediante los criterios geotécnicos fue posible saber que ambas muestras son colapsables, es decir pueden reducir su volumen al saturarse.
4. Es recomendable utilizar los criterios del Departamento de Interior de Estados Unidos así como los procedimientos geotécnicos recomendados para identificar a los suelos que defloculan y colapsan.
5. El uso extensivo de estos suelos en las obras de ingeniería implica la necesidad de evitar su hidratación, pre-consolidarlos, sustituirlos, estabilizarlos, arroparlos, utilizar cimentaciones profundas, etc., para que su comportamiento sea favorable.

BIBLIOGRAFÍA

- A. Rico R. y H. del Castillo. (1999). *La Ingeniería de los Suelos en las Vías Terrestres*. Editorial Limusa.
- Acciardi, R. G. (1984). Improvements to USBR Pinhole Test Equipment Design and Test Result Evaluation. Fourth Annual USCOLD Lecture, Dam Safety and Rehabilitation, Denver, CO, January.
- Aitchison, G. D., and C. C. Wood. (1965). Some Interactions of compaction, permeability, and post-construction deflocculation affecting the probability of piping failures in small dams. Proceedings, 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Montreal, Canada, International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, vol. II, p. 442, 1965.
- Amer Ali Al-Rawas. (2000). State-of-the-Art Review of Collapsible Soils. Department of Civil Engineering, College of Engineering, Sultan Qaboos University, P.O. Box 33 Al-Khod 123, Sultanate of Oman.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (1997) Normas colombianas de Construcción Sismo Resistente NSR 97.
- Braja M. Das. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. International Thomson Editores S.A. de C.V.
- Cleverger W. (1958). Experiences with loess as foundation material. Transaction, American society of Civil Engineering, vol 123 pp 151-170.
- Craft D. and R. G. Acciardi. (1984). Failure of Pore-Water Analyses for Dispersion. Journal, Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol. 110, No 4, April.
- Elges, H. F. W. K. (1985). Problem Soils in South Africa -State of the Art. The Civil Engineer in South Africa, Vol. 27, No.7, pp. 347-349 and 351-353, July.
- Emerson, W. W. (1967). A Dassification of Soil Aggregates Based on Their Coherence in Water. Australian Journal of Soil Research 5, pp. 47-57.
- Emilio R. Redolfi. (2007). Suelos colapsables. Grupo geotécnico Córdoba Argentina.
- Feda J. (1964). Colloidal Activity, Shrinking and Swelling of Some Clays, Proceeding, Soil Mechanics Seminar, Loda, Illinois, pp. 531-546.
- G. Gallegos F., M. Escalera Ch., L. Borselli y F. Cervantes R. (2013). Suelos dispersivos del valle del río Verde. Revista Ideas Concyteg, Guanajuato, México.
- Gibbs H. J. (1961). Properties with divide loess and dense uncement of the soils. Earth Laboratory Report EM-658, Bureau of Reclamation, U. S. Department of Interior, Washington D. C.
- Gibbs H. J. and Bara J. P. (1962). Predicting surface subsidence from basic soil test. ASTM STP 322: 277-283.
- Handy R. L. (1973). Collapsible Loess in Iowa, proceeding, Soil Science Society of America, Vol. 37, pp 281-284.
- Handy R. L. (1973). Collapsible Loess in Iowa, Proceedings, Soil Science Society of America, Vol 37 pp 281-284.
- Highway Research Board. (1970). Scourat the Bridge Waterways. NCHRP Synthesis 5. National Research Council. Washington, D. C.
- Ian F. Jefferson, Alena Klukanov, Dimcho Evstatiev, Roumyana Angelova and Ian J. Smalley. (1999). Improving Metastable Loess Ground.
- Ingles, O. G., and C. C. Wood. (1964a). The Contribution of Soil and Water Cations to Deflocculation Phenomena in Earth Dams," Proceedings, 37th Congress of Australian and New Zealand Assoc. for the Advancement of Sciences, Canberra, Australia, January.
- Ingles, O. G., and C. C. Wood. (1964b). The Recognition of Failure in Earth Dams by Aerial Survey," Australian Journal of Soil Research, vol. 26, No. 11.
- Jennings J. E. and Knigth K. (1975). A Guide to Construction on or with Materials Exhibiting Additional Settlement Due to Collapse of Grain Structure, Proceeding, Sixth Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Johannesburg, pp. 99-105.
- Lorn P. Dunnigan. (1987). Portable pinhole test apparatus. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Engineering Division, Soil Mechanics Note No. 12.
- Lutenegeger, A. J. and Hallberg, G. R. (1988). Stability of loess. Engineering Geology, 25: 247-261.
- Oarle, M. R. E. (1986). Mechanics, Identification, Testing, and Use of Dispersive Soil in Zimbabwe," September 1986.
- Paul C. Knodel. (1991). Characteristics and Problems of Dispersive Clay Soils. United States Department of the Interior. Bureau of Reclamation.
- Priklonski V. A. (1952). Gruntovedenia-Vtoraid Chast Gosgeolzdat, Moscow.
- R. Peck et. al. (1982). Ingeniería de Cimentaciones. Editorial Limusa, D.F. México.
- R. R. Sotelo. (2005). Determinación de correlaciones entre geomorfología y vegetación con suelos expansivos y suelos dispersivos, empleando procesamiento digital de imágenes. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas.
- Rallings, R. A. (1966). An Investigation into the Causes of Failure of Farm Dams in the Brigalow Belt of Central Queensland. Water Research Foundation of Australia. Bulletin No. 10. December.
- Reznik y M. (1989). Discussion of "determination of collapse potential of soils" by A. J. Lutenegeger and R. T. Saber. Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, 12: 248-249.
- Sherard L., L. P. Dunnigan, and R. S. Decker. (1976a). "Pinhole Test for Identifying Dispersive Soils," Journal, Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol. 102, No. GT1, pp. 69-85, January
- Sherard, L., and R. S. Decker. (1977). Dispersive Clays. Related Piping, and Erosion in Geotechnical Projects," STP 623, ASTM, Philadelphia, PA.
- Technical Reference Manual of Dispersive Soils and their Administration. (2009). Department of Primary Industries and Water from estate of Tasmania, Australia.
- Volk, G. M. (1937). Method of Determination of the Degree of Dispersion of the Day Fraction of Soils. Proceedings, Soil Science Society of America, vol. 2, p. 561.