

PROPIEDADES ELASTOPLÁSTICAS DE UN SUELO FRANCO ARENOSO DE SABANA DEL ESTADO MONAGAS

Hossne, G. A.

Universidad de Oriente, Núcleo Monagas
Departamento de Ingeniería Agrícola

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar los parámetros elastoplásticos del suelo: módulo de Young (E), módulo de corte (G), módulo volumétrico o compresibilidad (K) y la relación de Poisson (μ). La deformación de un suelo es producto del proceso de extracción del aire, agua de los poros y reacomodo de las partículas. Se utilizó el triaxial para evaluar los parámetros y el análisis de regresión para interpretar la varianza entre ellos. La elasticidad (E) se obtuvo $E = \sigma/\epsilon$. El valor óptimo de σ se determinó por la optimización de la curva tensión-deformación. La relación de Poisson (μ) con $\mu = \epsilon_1/\epsilon_2$. Entre los resultados: E entre 4.693,39 y 36.669,35 kPa y μ de 0,51. Se concluyó que estos suelos son incompresibles bajo condiciones plásticas; es decir, fácilmente deformables. Con la humedad, el módulo de Young y el torsional variaron inversamente y la relación de Poisson muy poco.

Palabras claves: Relación de Poisson, módulo de elasticidad, humedad.

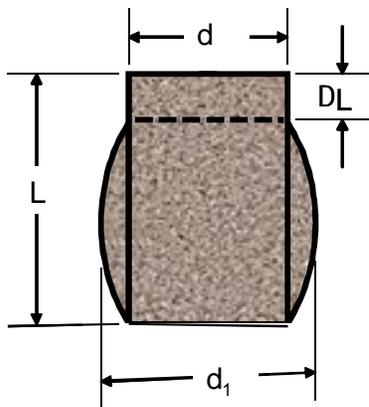
INTRODUCCIÓN

Muchos modelos dinámicos del comportamiento del suelo están usando sus propiedades elásticas, y cuando el suelo es representado rectilíneamente elástico, homogéneo, isotrópico y sin peso; las propiedades elásticas requeridas para responder totalmente por la conducta del material son: el módulo Young (E), módulo de corte (G), y la proporción de Poisson (μ) (Sorin et al., 2009). A veces se asume que el suelo se comporta linealmente elástico bajo cargas relativamente pequeñas. Un material parcialmente elástico obedece la ley de Hooke durante cargas, pero este material no obtendrá sus dimensiones iniciales al suspender las cargas de tensión aplicada. Estos materiales son ilineales e incluyen la mayoría de los suelos. Los suelos sometidos a pruebas del triaxial convencional con un dispositivo bajo la tensión lateral constante producen un módulo elástico tangente equivalente con el módulo de Young (Davison y Springman, 2000). Los suelos arenosos son considerados a menudo estructuralmente inertes debido a su complejidad débil y a la ausencia de propiedades de expansión-contracción; pero, la compactación frecuente y severa, observada en los campos agrícolas, aumenta la interrogante de los procesos y factores que controlan la compactación y su irreversibilidad (Bruand *et al.*, 2004). El módulo de Young (E), el módulo de corte (G) y la relación de Poisson (μ) del suelo son utilizados para estimar su resistencia y deformación. Se considera que E, G y μ (medida de la elasticidad de un material) de las capas granulares y de las capas de suelos, depende las capas sobre las que se apoyan, aumentando hasta alcanzar la capacidad de soporte. La relación de Poisson indica la maleabilidad de los materiales geológicos a deformarse (Smith, 1979). Generalmente, los materiales más rígidos tendrán las proporciones de más bajo Poisson que los materiales más suaves. La relación de Poisson puede variar de inicialmente 0 a aproximadamente 0,5. Conocer los materiales con los cuales se trabaja en la agricultura, en donde el suelo es fundamental, es muy importante, por lo que

el objetivo general de este trabajo fue la caracterización geotécnica (parámetros elastoplásticos) de los suelos de sabana franco arenosos caoliníticos. Los objetivos específicos consistieron en determinar para este suelo: (a) El módulo de Young (E), (b) El módulo de corte y (c) La relación de Poisson (μ).

MATERIALES Y MÉTODOS

La razón entre la extensión y contracción “ $\varepsilon_3/\varepsilon_1$ ”, fue establecida por el científico francés Siméon Denis Poisson, como “Relación de Poisson, “ μ “. En 1678 Robert Hooke publicó su ley, basado en un estudio de deformación en resortes, así se estableció la relación lineal entre la componente del esfuerzo y la componente de la deformación sin diferenciar claramente “fuerza” de “esfuerzo”. Siendo “ σ ” el esfuerzo normal, “ ε ” la elongación y “E” el coeficiente de proporcionalidad denominado “Módulo de Young”. Para materiales que tienen un comportamiento isótropo, el módulo de Young y el módulo de corte G están relacionados por la relación de Poisson (Veseth, 1988). La Figura 1 presenta las relaciones utilizadas en los cálculos. Se utilizó el análisis de regresión para interpretar la proporción de la variación entre los parámetros de las curvas de regresión. Desde el punto de vista de la significación, para determinar la diferencia entre las medias de los resultados se utilizó el análisis de varianza y la prueba de la mínima diferencia significativa (MDS) ($p \leq 0,05$).



$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_a} \quad G = \frac{E}{2(1+\mu)} \quad \varepsilon_l = \frac{d-d_1}{d}$$

$$K = \frac{E}{3(1+2\mu)} \quad \varepsilon_a = \frac{\Delta L}{L}$$

$$\mu = -\frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_l} = -\frac{\frac{d-d_1}{d}}{\frac{\Delta L}{L}} = \frac{d_1-d}{\Delta L}$$

Figura 1. Elemento de suelo en corte deformado en el triaxial y las relaciones formadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 2 presenta el esfuerzo desviador aplicado al suelo estudiado en función de la deformación producida. Se observa que la curva es muy similar al comportamiento de cualquier material sometido a este proceso: el comportamiento elástico, plástico y rotura. El suelo estudiado carece de arcillas expansibles; sin embargo, mostró cohesión capilar posiblemente debido al efecto combinado limo-caolinita, tal como lo encontraron Hossne y Salazar (2004) quienes demostraron que la contracción de estos suelos es debida a este efecto combinado.

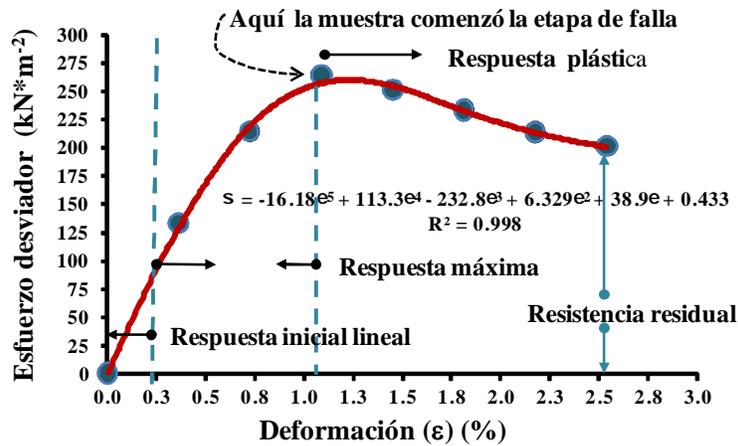


Figura 2. Relación del esfuerzo desviador o carga deformante versus la deformación

La Figura 3 muestra que la relación de Poisson no se perturbó con la deformación del suelo, manteniendo un valor constante en la trayectoria del proceso, y se alteró linealmente muy poco con respecto a la humedad. La Figura 4 presenta el comportamiento del módulo de Young en función de la humedad. Se observa que el módulo de Young varió exponencialmente, inversamente proporcional con la humedad. El módulo de Young (E), el módulo de corte (G) y la relación de Poisson (μ) del suelo son utilizados para estimar su resistencia y deformación. Los resultados obtenidos analizados estadísticamente con el análisis de varianza y la mínima diferencia significativa, presentaron una media de $14492 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ y el máximo valor de $17442 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ fue para el horizonte 30-60 cm, y para la presión de cámara de $120 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ se obtuvo el mayor valor de $15942 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ sin diferencia significativa con la presión de cámara de $180 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ ($15499 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$). Estos resultados eran de esperarse ya que la cohesión capilar aumenta con la profundidad y el módulo de Young es una característica intrínseca de un material. No se ha encontrado hasta la fecha información bibliográfica para estos suelos.

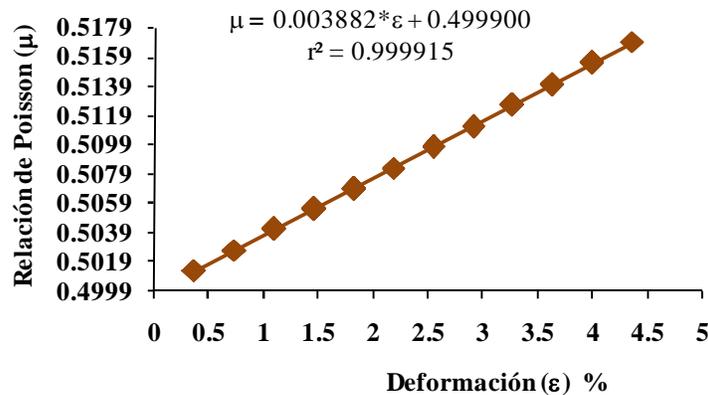


Figura 3. La relación de Poisson versus la deformación

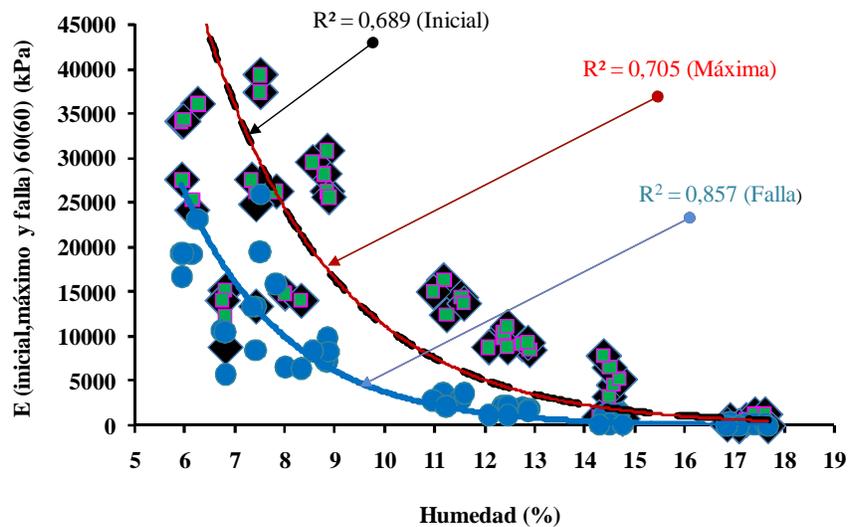


Figura 4. Módulo de elasticidad (E) en el proceso de deformación versus la humedad, en la fase inicial, valores máximos y en falla en el proceso de deformación de las muestras

El Cuadro 1 presenta la MDS para el módulo de Young mostrando que su mayor valor fue a la profundidad de 60 cm y las presiones de cámara de 120 y 180 $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$ sin diferencia significativa. En el Cuadro 2 se puede observar la MDS con respecto a las variables estudiadas, el valor mayor de Poisson fue a la profundidad de 30 cm y presión de cámara de 240 $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$.

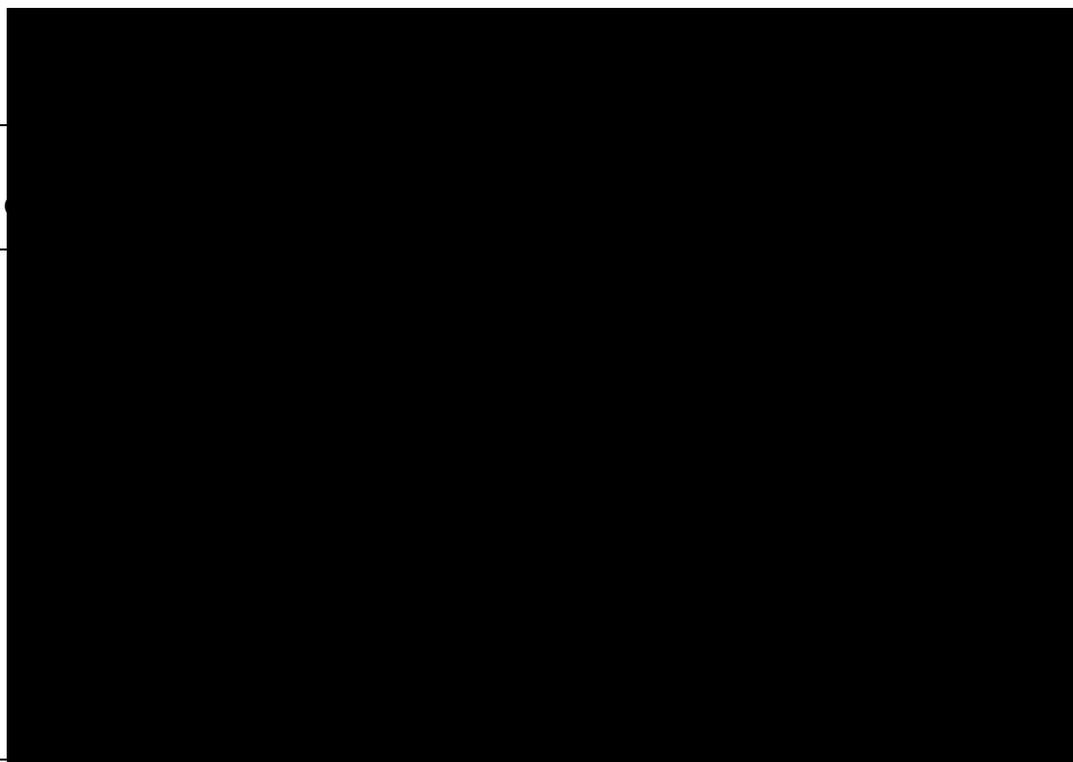
Cuadro 1. Promedios para el Módulo de Young máximo (E_{\max}) de un suelo de sabana del Estado Monagas. Prueba de la Mínima Diferencia Significativa (MDS) ($p \leq 0,05$). Letras diferentes indican promedios estadísticamente diferentes.

Horizonte	Profundidades (cm)		† σ_3	Presión de cámara (σ_3) ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$)	
	Media	Gruposhomogéneos		Media	Gruposhomogéneos
30	11542	B	60	13241	B
60	17442	A	120	15942	A
			180	15499	A
			240	13303	B

Cuadro 2. Promedios para la Relación de Poisson máxima (μ_{\max}) de un suelo de sabana del Estado Monagas. Prueba de la Mínima Diferencia Significativa (MDS) ($p \leq 0,05$). Letras diferentes indican promedios estadísticamente diferentes. †Presión de cámara (σ_3).

† σ_3 kN•m ⁻²	Horizonte de 0-30 cm		Horizonte de 30-60 cm	
	Media	Grupos homogéneos	Media	Grupos homogéneos
60	0,5002	D	0,5012	CD
120	0,5018	BCD	0,5008	CD
180	0,5034	B	0,5008	CD
240	0,5064	A	0,5022	BC

En el Cuadro 3 se muestran los valores máximos y mínimos obtenidos para el módulo de Young, relación de Poisson y el módulo de corte en función de la presión de cámara, profundidad y humedad.



El análisis estadístico se realizó para los diferentes resultados del módulo de Young (E_{\max} , E_{\min} y E_{ini}), la relación de Poisson (μ_{\max} , μ_{\min} y μ_{ini}) y el esfuerzo desviador (σ_{\max} , σ_{\min} y σ_{ini}), max, min e ini significaron valores máximos, mínimos e iniciales respectivamente. En la fase inicial sólo con la humedad gravimétrica mostró significancia con una media de 0,5021; en cambio, en las fases de carga máxima y falla si presentó significancia con respecto al efecto combinado profundidad*presión de cámara (PRO* σ_3). El mayor valor de la relación de Poisson máxima (μ_{\max}) de 0,5064 se obtuvo en el horizonte 0-30 cm y la presión de cámara de 240 kN•m⁻². La proporción de Poisson mayor de 0,5 no tienen sentido porque a una cierta tensión el material alcanzaría cero volumen, y cualquier tensión extensa daría al volumen "material negativo" (Veseth, 1988; Davison y Sprigman, 2000). Valores típicos de la relación de Poisson: para suelos arcillosos limosos en pruebas no drenadas es de 0,5, para suelos duros

o arcilloso limoso entre 0,2 y 0,4, para arenas medias sueltas 0,4 y para arenas densas entre 0,2 y 0,45 (Mullins et al., 1990; McKenzie et al., 2001).

CONCLUSIONES

El valor promedio de la relación de Poisson fue de 0,50, lo que implica que estos suelos son incompresibles bajo condiciones plásticas; es decir fácilmente deformables. Varió poco con la humedad. El módulo de Young que varió inversamente con la humedad registró un valor medio de $14.492 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$, y su valor mayor fue de $17.442 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ en el horizonte 30-60 cm. Lo mismo se logró con el módulo torsional. El módulo de Young (E), el módulo de corte (G) y la relación de Poisson (μ) del suelo son utilizados para estimar su resistencia y deformación. Las tensiones aplicadas, que causan fallas cortantes, son importantes en suelos bajo uso agrícola tal como en la ejecución de los implementos agrícolas, traficabilidad, erosión y el crecimiento radicular.

LITERATURA CITADA

- BRUAND, A., HARTMANN, C., RATANA-ANUPAP, S., SINDHUSEN, P., POSS, R. y HARDY, M., 2004. Composition, fabric, and porosity of an Arenic Haplustalf in Northeast Thailand: Relation to penetration resistance. *Soil Science Society of America Journal*, 68, 185-193.
- DAVISON, L. y SPRINGMAN S. 2000. Shear strength. Swiss Federal Technical Institute, Zurich. Technical Paper. University of the West of England, Bristol. 10 p.
- HOSSNE, G. A. y JUAN SALAZAR. 2004. Límites de consistencia y sus implicaciones agrícolas en un suelo Ultisol de sabana del estado Monagas, Venezuela. *Agronomía Costarricense* 28(1): 69-80.
- MCKENZIE, D.C., GREENHALGH, S.E., KOPPI, A.J., MACLEOD, D.A., y MCBRATNEY, A.B. 2001. Cotton root growth in a compacted Vertisol (Grey Vertisol) II. Correlation with image analysis parameters. *Australian Journal of Soil Research* 39. 1169-1181.
- MULLINS, C.E., MACLEOD, D.A., NORTHCOTE, K.H., TISDALL, J.M., y YOUNG, I.M. 1990. Hardsetting soils: Behaviour, occurrence and management. *Advances in Soil Science* 11. 37-108.
- SMITH, G. N. 1979. Elements of soil mechanics for civil and mining engineering. Fourth edition. Granada Publishing. 424 p.
- SORIN, Ș., VLĂDUȚ, V., UNGUREANU, N., PARASCHIV G, y VOICU, G. 2009. Development and experimental testing of a FEM model for the stress distribution analysis in agricultural soil due to artificial compaction. *Agriculturae Conspectus Scientifici* Volume 74 No. 1 : 21-29.
- VESETH, R. 1988. Traffic Compaction Affects Productivity. *Conservation Tillage Handbook Series. Chapter 2 - Systems and Equipment, No. 9.*