


2015-09-03

Propiedades Geotécnicas de la Turba Intervenida Antrópicamente

Juan Pablo Osorio

Technological University Dublin, juan.osorio@tudublin.ie

Follow this and additional works at: <https://arrow.tudublin.ie/engschcivcon>

 Part of the [Civil Engineering Commons](#), [Geological Engineering Commons](#), and the [Geotechnical Engineering Commons](#)

Recommended Citation

Osorio, J. P. (2015). Propiedades Geotécnicas de la Turba Intervenida Antrópicamente. In G. Bayona, C. P. Lalinde, M. I. Marín Cerón, A. Ochoa, A. Pardo Trujillo, & J. D. Sanabria Gómez (Eds.), *Memorias XV Congreso Colombiano de Geología* (pp. 673–680). Bucaramanga, Colombia: Sociedad Colombiana de Geología

This Conference Paper is brought to you for free and open access by the School of Civil and Structural Engineering at ARROW@TU Dublin. It has been accepted for inclusion in Conference papers by an authorized administrator of ARROW@TU Dublin. For more information, please contact yvonne.desmond@tudublin.ie, arrow.admin@tudublin.ie, brian.widdis@tudublin.ie.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-Share Alike 3.0 License](#)



147. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE LA TURBA INTERVENIDA ANTRÓPICAMENTE

*Osorio, Juan Pablo*¹

1. GeoResearch International – GeoR, Escuela Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia UdeA; Calle 70 No. 52-21, Medellín, Colombia. Correo electrónico de correspondencia: juan.osorio@udea.edu.co

RESUMEN

La intervención antrópica en turberas genera cambios significativos en las propiedades geotécnicas de un material orgánico, altamente compresible y con baja resistencia al esfuerzo cortante. Existen diferentes formas de intervención, dependiendo de las tradiciones de cada lugar. Sin embargo, los procesos de intervención más comunes son la precarga por medio de terraplenes y el drenaje, las cuales generan una reducción en el contenido de humedad, la compresibilidad y la permeabilidad, así como un incremento en la resistencia al esfuerzo cortante. En el presente artículo, se discute el efecto de la intervención antrópica en las propiedades geotécnicas de las turbas, a partir de diferentes investigaciones reportadas en la literatura.

INTRODUCCIÓN

La turba es un material que se forma producto de la acumulación de los restos de vegetación muerta en diferentes etapas de descomposición, y esta acumulación ocurre donde haya una reserva de agua que promueva el crecimiento y la preservación de los restos (Farrell, 2012). Aunque la turba tiende a acumularse sin importar la altitud o latitud, según Hobbs (1986), ésta tiende a presentarse con mayor frecuencia en los lugares del mundo donde el clima es comparativamente frío y húmedo; es así como los cinco países en donde se presenta mayor acumulación de turba con respecto a su área superficial son: (1) Finlandia con un 33%, (2) Canadá con un 18.4%, (3) la República de Irlanda con un 17.2%, (4) Suecia con un 17.1% y (5) Indonesia con un 13.7%.

En general, los suelos con altos contenidos de materia orgánica, y en particular la turba, son considerados en la geotecnia como problemáticos; esto debido a su alta compresibilidad y baja resistencia al esfuerzo cortante. El comportamiento ingenieril de las turbas depende en gran medida de su morfología, la cual debe ser adecuadamente reflejada en la descripción y clasificación del suelo, para así incluirla en la interpretación de los parámetros geotécnicos. Adicionalmente, la intervención antrópica de la turba altera de manera significativa dichas propiedades geotécnicas. En este artículo, discute el efecto de la intervención antrópica en las propiedades geotécnicas de las turbas, a partir de diferentes investigaciones reportadas en la literatura.



PROCESO DE FORMACIÓN

Los depósitos de turba están compuestos de restos de plantas parcialmente descompuestas y fragmentadas que se han acumulado bajo agua (Mesri & Ajlouni, 2007). En estos depósitos, dos capas se pueden identificar de forma clara:

- i. La capa superior, conocida como acrotelmo, cuyo espesor varía entre 10 cm y 60 cm (Hobbs, 1986).
- ii. La capa inferior, llamada catotelmo, que se encuentra localizada bajo el nivel freático, de forma permanente.

En el acrotelmo, el agua contiene suficiente oxígeno producto de la precipitación, flujo sub-superficial y la atmósfera, para soportar microbiota aeróbica, la cual mantiene un proceso de descomposición aeróbica. A medida que las concentraciones de oxígeno se reducen con la profundidad en el catotelmo, la población de microbiota aeróbica también se reduce, y, de manera inversa, la población de microbiota anaeróbica se incrementa. Al tener una actividad metabólica más lenta, la microbiota anaeróbica tiene procesos de descomposición más lentos, lo que conlleva a la acumulación de material vegetal parcialmente descompuesto en forma de turba (Osorio, Farrell, O'Kelly, & Casey, 2008).

PROPIEDADES GEOTÉCNICAS E INTERVENCIÓN ANTRÓPICA

La turba es un material altamente heterogéneo y anisotrópico, cuyas propiedades geotécnicas son extremadamente variables en pequeñas distancias, debido a que ésta se forma a partir de diferentes especies de plantas y a que los procesos de descomposición no son uniformes en toda la masa de la turbera. Sin embargo, las propiedades geotécnicas de la turba están íntimamente ligadas entre sí.

Las diferentes formas de intervención antrópica en las turberas, alteran de manera significativa las propiedades geotécnicas del material. En Irlanda, por ejemplo, existen registros de la extracción de turba para ser utilizada como combustible desde mediados del siglo XVII, aunque se sabe que esto ha sido una práctica común desde finales de la edad de bronce (Osorio et al., 2008). Adicionalmente, y también a partir del siglo XVII, el desarrollo de la red de vías sobre turberas en Irlanda recibió un gran impulso, lo que permitió un mejor acceso a las turberas y facilitó la extracción del material.

En Colombia, Benavides & León Castaño (2014) reportan que los mayores impactos de la perturbación humana en las turberas altoandinas, se presenta a través de dos mecanismos:

- i. Pastoreo de ganado, que consiste en el efecto del pisoteo, compactación y fertilización por heces y,



XV CONGRESO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA, 2015
"Innovar en Sinergia con el Medio Ambiente"
Bucaramanga, Colombia
Agosto 31 – Septiembre 5, 2015

- ii. Escorrentía de agricultura, que consiste en la fertilización por escorrentía de campos agrícolas con un manejo intensivo, principalmente de fertilizantes con alto contenido de nitrógeno y fosforo.

A nivel mundial, es común el uso de diferentes técnicas de mejoramiento de suelos para la construcción de vías sobre turberas. Algunas de las técnicas más utilizadas son la precarga con terraplenes (Hanrahan & Rogers, 1981; Munro & MacCulloch, 2006), la consolidación por vacíos (Osorio, Farrell, & O'Kelly, 2010; Shiono et al., 2001) y la estabilización con mezclas químicas (Åhnberg, Bengtsson, & Holm, 2001; Hebib & Farrell, 2003). Hebib (2001) presentó un estudio sobre la posibilidad de utilizar aditivos químicos para estabilizar turbas, encontrado que a pesar de funcionar bien técnicamente, es una solución que no es viable desde el punto de vista económico. Por otro lado, el drenaje y la precarga de la turba causan una consolidación significativa del depósito, y podrían llegar a inducir falla por esfuerzo cortante de este.

Adicionalmente, el drenaje causa una disminución en el nivel freático, incrementando el espesor del acrotelmo, lo que conlleva a que zonas que anteriormente se encontraban sumergidas y en estado anaeróbico, ganen oxígeno y se vuelvan a repoblar con microbiota aeróbica, lo que, en última instancia, incrementa la velocidad del proceso de descomposición, y tiene un efecto significativo en las propiedades geotécnicas, tanto del acrotelmo como del catotelmo. Diversos cambios ocurren en el acrotelmo, incluyendo:

- i. Aumento del nivel de humificación, a medida que aumenta la tasa de descomposición.
- ii. Contracción volumétrica debido al secado al aire de la turba.
- iii. Reducción de la relación de vacíos, el contenido de humedad y la permeabilidad; al tiempo que el peso unitario, el esfuerzo efectivo y la resistencia al corte aumentan.

Simultáneamente, la turba restante en el catotelmo, se ve sometida a un incremento en el estado de esfuerzos efectivos, lo que produce un asentamiento y podría generar una falla por resistencia al esfuerzo cortante. El asentamiento lleva a la turba en el acrotelmo a sumergirse nuevamente bajo el nivel freático, por consiguiente, el estado de cargas está cambiando de manera continua (Cuddy, 1988). La turba que se ha secado sufre un cambio permanente debido a la oxidación, y no es capaz de recuperar la humedad perdida al ser sumergida nuevamente (Hobbs, 1986).

Contenido de humedad:

En turberas no drenadas del centro de Irlanda, se han reportado valores de contenido de humedad que varían entre 650% y 1500% (Cuddy, 1988); sin embargo, de acuerdo con Hanrahan (1954) estos valores se pueden reducir alrededor de 1000% para un drenaje superficial, o alrededor de 700% para drenaje profundo.



XV CONGRESO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA, 2015
"Innovar en Sinergia con el Medio Ambiente"
Bucaramanga, Colombia
Agosto 31 – Septiembre 5, 2015

La turbera Clara en Irlanda, es una turbera que ha sido protegida como una reserva natural y no tiene una historia significativa de extracción de turba ni drenaje. O'Loughlin (2001) reportó valores de contenido de humedad para esta turbera que varían entre 1300% y 1500%. Por su parte, Hebib & Farrell (2003) estudiaron las propiedades de las turberas Raheenmore y Ballydermot, también en Irlanda. Raheenmore, tampoco ha tenido una historia significativa de intervención antrópica y presentó valores medios de contenido de humedad de 1200%; mientras que Ballydermot, ha tenido una historia de más de 50 años de extracción de turba con fines industriales, y tuvo un valor medio de contenido de humedad de 850%.

Compresibilidad:

Los altos valores de contenido de humedad y relación de vacíos, hacen que la turba sea un material altamente compresible. En general, la compresión unidimensional de los suelos minerales y los suelos orgánicos, como la turba, se debe, en primera instancia, a los cambios de volumen asociados a la disipación del exceso de presión de poros, y, en segunda instancia, al reacomodo estructural del material por procesos viscosos y expulsión de agua de los micro-poros (Hobbs, 1986; O'Loughlin, 2001). Más aún, autores como Dhowian & Edil (1980) y Candler & Chartres (1988) han reportado lo que se conoce como la compresión terciaria en la turba, tanto para estudios de campo como de laboratorio, debida, principalmente, a los procesos de degradación de la materia orgánica.

Mesri, Stark, Ajlouni, & Chen (1997), luego de un estudio de la turba de Middleton, reportaron que las condiciones del laboratorio pueden exacerbar la degradación química y anatómica de las paredes de las células de las plantas, por la actividad microbial aeróbica y las bacteria y hongos anaeróbicos. Esto genera la pérdida de la integridad estructural de las células, incrementando la compresión durante la etapa de la consolidación secundaria. Fox, Roy-Chowdhury, & Edil (1999) confirmaron estos resultados, en la misma turba, al realizar dos pruebas paralelas; donde la primera se realizó bajo condiciones normales, mientras que la segunda se sometió a radiación gamma para minimizar la biodegradación de la turba durante la compresión secundaria. Los resultados de ambas pruebas mostraron un aumento en la compresión de la turba para la muestra no tratada, mientras que para la muestra tratada, la compresión secundaria permaneció consistente en el tiempo.

Con el objetivo de reducir los asentamientos post-construcción a niveles aceptables, es una práctica común aplicar una sobrecarga temporal que es posteriormente retirada. La sobrecarga produce una presión de preconsolidación, que es mayor que el esfuerzo efectivo final (Mesri & Ajlouni, 2007). De acuerdo con Hanrahan (1976), la preconsolidación de la turba para la construcción de vías en Irlanda, ha sido una práctica común desde 1951.



XV CONGRESO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA, 2015
"Innovar en Sinergia con el Medio Ambiente"
Bucaramanga, Colombia
Agosto 31 – Septiembre 5, 2015

O'Loughlin (2001), reportó cargas de preconsolidación medias de 3 kPa con relaciones de vacíos iniciales entre 16 y 32 para la turbera Clara; mientras que para la turbera Ballydermont encontró valores medios de preconsolidación de 17 kPa con relaciones de vacíos entre 10 y 16. Hebib & Farrell (2003) también reportaron valores de carga de preconsolidación y relación de vacíos de 15 kPa y 12, respectivamente, para la turbera Ballydermot; y valores de 5 kPa y 18, respectivamente, para la turbera Raheenmore.

Permeabilidad:

La permeabilidad es una propiedad ingenieril importante que controla la tasa de consolidación. El coeficiente de permeabilidad (k) de la turba para flujo horizontal es normalmente mayor que en la dirección vertical. Hobbs (1986) reportó relaciones del coeficiente de permeabilidad horizontal-vertical que varían en un rango entre 1.7 a 7.5; sin embargo, luego de aplicar carga vertical, la permeabilidad horizontal puede llegar a ser hasta 300 veces mayor que la permeabilidad vertical, debido al alineamiento horizontal que puede ocurrir con las fibras que constituyen la turba (Cuddy, 1988).

El rápido decremento en los valores de la permeabilidad bajo carga, es otra de las características importantes de la turba. Hanrahan (1954), reportó valores iniciales de k de 4×10^{-6} m/s para materiales tipo turba. Sin embargo, luego de aplicar un esfuerzo de 55 kPa por un período de dos días, estos valores se redujeron hasta 2×10^{-8} m/s, y bajaron hasta 8×10^{-11} m/s luego de siete meses.

Resistencia al esfuerzo cortante:

En forma general, la resistencia al corte de las turbas se determina por métodos tradicionales, tanto para condiciones drenadas como para condiciones no drenadas. Sin embargo, la alta compresibilidad y los altos contenidos de fibra del material afectan el comportamiento de la turba en campo y laboratorio, y su efecto no es adecuadamente considerado en la interpretación de las pruebas.

Para condiciones drenadas, Mesri & Ajlouni (2007) reportaron ángulos de fricción efectivos con un rango que varía entre 40° y 60° , mientras que Farrell & Hebib (1998) encontraron ángulos de 55° para la turbera Raheenmore. Sin embargo, O'Kelly & Zhang (2013) encontraron que las pruebas de compresión triaxial drenadas no son particularmente útiles para determinar las propiedades de resistencia efectivas, debido a que los resultados obtenidos con estas pruebas parecen ser función del nivel de deformación obtenido en la muestra, con mayores valores del ángulo de fricción para mayores deformaciones.



De acuerdo con Hanrahan (1954), la resistencia al esfuerzo cortante de la turba se ve incrementada por el drenaje. Por ejemplo, Nerney (1985) reportó que mediciones *in situ*, por medio de pruebas de veleta, indicaron mayores resistencias para la turba preconsolidada bajo el centro de una vía, y en la zona más seca localizada sobre el nivel freático; que en la turba menos alterada alrededor de la vía.

CONCLUSIONES

- La turba es un material orgánico, altamente compresible y con baja resistencia al esfuerzo cortante, que presenta grandes retos para la ingeniería geotécnica.
- Los depósitos de turba están compuestos de restos de plantas, parcialmente descompuestas y fragmentadas, que se han acumulado bajo agua.
- Las diferentes formas de intervención antrópica en las turberas, alteran de manera significativa las propiedades geotécnicas originales del material. Estas intervenciones antrópicas, varían de un lugar a otro de acuerdo con las costumbres locales.
- A pesar de ser un material altamente heterogéneo y anisotrópico, las propiedades geotécnicas de la turba están íntimamente ligadas entre sí.
- El uso de técnicas de mejoramiento de suelos es común alrededor del mundo, para mejorar las propiedades de compresibilidad y resistencia al corte de la turba, antes de adelantar procesos de construcción. Las técnicas más utilizadas son la precarga por medio de terraplenes y el drenaje.
- La precarga y el drenaje de la turba, generan una reducción en el contenido de humedad, la compresibilidad y la permeabilidad, así como un incremento en la resistencia al esfuerzo cortante.
- El drenaje de la turba genera una reactivación de los procesos de descomposición aeróbica, en zonas que anteriormente estaba cubiertas por agua, acelerando los procesos de humificación de la turba y alterando, de manera permanente, las propiedades geotécnicas de la misma.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Åhnberg, H., Bengtsson, P.-E., & Holm, G. (2001). Effect of initial loading on the strength of stabilised peat. *Ground Improvement*, 5(1), 35–40. doi:10.1680/grim.2001.5.1.35
- Benavides, J. C., & León Castaño, M. (2014). Dinámica del carbono en turberas altoandinas de Colombia : el efecto de las perturbaciones humanas. In F. Cuesta, J. Sevink, L. D. Llambí, B. De Bièvre, & J. Posner (Eds.), *Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos* (pp. 527–548). CODESAN. Retrieved from <http://www.condesan.org/ppa/sites/default/files/recursos/archivos/AvancesenInvestigaciónparalaConservacióndelosPA-LibroCompleto.pdf>
- Candler, C. J., & Chartres, F. R. D. (1988). Settlement measurement and analysis of three trial embankments on soft peaty ground. *Proceedings of the 2nd Baltic Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Tallin, USSR.
- Cuddy, T. (1988). *The behaviour of bog road pavements*. M.A.I. Thesis. Trinity College Dublin, Dublin.
- Dhowian, A. W., & Edil, T. B. (1980). Consolidation behaviour of peats. *Geotechnical Testing Journal*, 3(3), 105–114.
- Farrell, E. R. (2012). Organic/peat soils. In J. Burland, T. Chapman, H. Skinner, & M. Brown (Eds.), *ICE Manual of Geotechnical Engineering Volume 1: Geotechnical Engineering Principles, Problematic Soils and Site Investigation* (pp. 463–479). London: Institution of Civil Engineers. doi:10.1680/moge.57074.0463
- Farrell, E. R., & Hebib, S. (1998). The determination of the geotechnical parameters of organic soils. (E. Yanagisawa, N. Moroto, & T. Mitachi, Eds.) *Problematic Soils: Proceedings of the International Symposium on Problematic Soils*. Japan: A.A. Balkema.
- Fox, P. J., Roy-Chowdhury, N., & Edil, T. B. (1999). Discussion of "Secondary compression of peat with or without surcharging." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 125(2), 160–162.
- Hanrahan, E. T. (1954). An investigation of some physical properties of peat. *Géotechnique*, 4(3), 108–123.
- Hanrahan, E. T. (1976). Bog roads. *Irish Engineers*, 29(10), 3–5.
- Hanrahan, E. T., & Rogers, M. G. (1981). Road on peat: observations and design. *American Society of Civil Engineers, Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 107(10), 1403–1415.



XV CONGRESO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA, 2015
"Innovar en Sinergia con el Medio Ambiente"
Bucaramanga, Colombia
Agosto 31 – Septiembre 5, 2015

- Hebib, S. (2001). *Experimental Investigation on the Stabilization of Irish Peat. PhD Thesis*. Trinity College Dublin, Dublin.
- Hebib, S., & Farrell, E. R. (2003). Some experiences on the stabilization of Irish peats. *Canadian Geotechnical Journal*, 40(1), 107–120.
- Hobbs, N. B. (1986). Mire morphology and the properties and behaviour of some British and foreign peats. *The Quarterly Journal of Engineering Geology*, 19(1), 7–80.
- Mesri, G., & Ajlouni, M. (2007). Engineering properties of fibrous peats. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(7), 850–866. Retrieved from [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2007\)133:7\(850\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2007)133:7(850)
- Mesri, G., Stark, T. D., Ajlouni, M. A., & Chen, C. S. (1997). Secondary compression of peat with or without surcharging. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123(5), 411–421.
- Munro, R., & MacCulloch, F. (2006). *Managing Peat Related Problems on Low Volume Roads - EXECUTIVE SUMMARY* (p. 32). Retrieved from http://www.roadex.org/wp-content/uploads/2014/01/Roads-on-Peat_English.pdf
- Nerney, J. (1985). A subsurface investigation of a road constructed on peat. (N. R. Authority, Ed.). Dublin: National Roads Authority.
- O'Kelly, B. C., & Zhang, L. (2013). Consolidated-Drained Triaxial Compression Testing of Peat. *Geotechnical Testing Journal*, 36(3). doi:10.1520/GTJ20120053
- O'Loughlin, C. (2001). *The one-dimensional compression of fibrous peat and other organic soils. PhD Thesis*. Trinity College Dublin, Dublin.
- Osorio, J. P., Farrell, E. R., & O'Kelly, B. C. (2010). Peat improvement under vacuum preloading: a novel approach for bog roads in Ireland. In B. Ní Nualláin, Nóra Áine; Walsh, Des; West, Roger; Cannon, Eamonn; Caprani, Colin and McCabe (Ed.), *Joint Symposium Proceedings, Bridge & Infrastructure Research Ireland and Concrete Research Ireland* (pp. 255–262). Cork, Ireland.
- Osorio, J. P., Farrell, E. R., O'Kelly, B. C., & Casey, T. (2008). Rampart roads in the peat lands of Ireland: Genesis, development and current performance. (E. Ellis, H. S. Yu, G. McDowell, A. Dawson, & N. Thom, Eds.) *Proceedings of the 1st International Conference on Transportation Geotechnics*. Nottingham, UK: CRC Press.
- Shiono, T., Nakakuma, K., Kubo, M., Sato, T., Uchiyama, K., & Ichikawa, H. (2001). Stabilization of embankment on compact vacuum consolidation. *Proceedings of the 15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Istanbul, Turkey: Taylor & Francis.