

public construction development. The Isotropic and homogeneity characteristics of these ignimbrites are determinant in the slope mechanism of rupture. These slopes collapse very easily leaving almost perpendicular cutting planes and this fact, the volumes that are fallen are small but enough to cause damages to the neighbor housing.

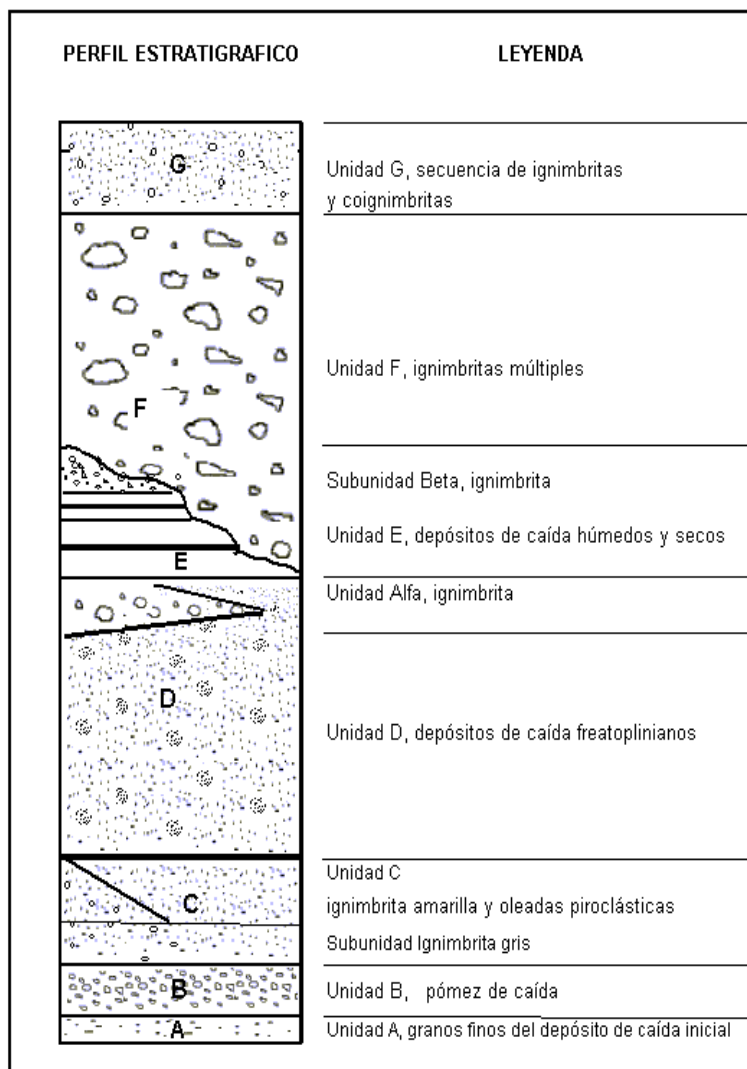
INTRODUCCION

Las tefras de Tierra Blanca Joven (TBJ) están compuestas principalmente por oleadas piroclásticas, depósitos de flujos piroclásticos o ignimbritas y las coignimbritas asociadas. Estas tefras están divididas en ocho unidades de las cuales, en este trabajo se analizará la unidad F, compuesta por flujos piroclásticos de la erupción explosiva más reciente de la caldera de Ilopango (430 años D.C). En esos depósitos está asentada la mayor parte del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), de allí su importancia en el conocimiento de sus propiedades geomecánicas y del mecanismo de ruptura. La propiedad isotrópica de las ignimbritas, reviste de importancia en el comportamiento de estos materiales porque ante la exposición a los cambios de temperaturas diarios debido a la actividad solar, su respuesta es la generación de planos de debilidad, que sumado a las acciones de otros factores como las lluvias, sismos y vegetación, llegan a producir grietas paralelas verticales a la cara de los taludes. Los derrumbes de los taludes en este tipo depósitos se generan por vuelco ya sean disparados por lluvias, por sismos o por acciones antrópicas, y cuyos volúmenes en la mayoría de los casos pueden ser predecibles y los taludes conformados en estos materiales tienden a ser estables aún con pendientes fuertes.

DEPÓSITOS TIERRA BLANCA JOVEN

El presente estudio fue realizado en un área aproximada de 63 km² entre Soyapango-Ciudad Delgado al sur y Apopa-Tonacatepeque al norte. Las tefras de la TBJ se dividen del punto de vista vulcanológico en 8 unidades denominadas de la A a la G, entre las que se incluye la Unidad α , de los cuales, la Unidad F corresponde a los depósitos de flujos piroclásticos o

ignimbritas, que tienen gran distribución en el AMSS y la secuencia de las unidades TBJ se presenta en la figura 1.



Hernández, W. 2004.

Figura 1. Unidades de la Tierra Blanca Joven.

Los depósitos de flujos piroclásticos provenientes de la erupción pliniana de la caldera de Ilopango, ocurrida 430 D.C. (Dull, R.A. et al. 2001), están distribuidos en casi toda el área AMSS, y se caracterizan por ser masivos e isótropos. Están compuestos por una matriz fina de ceniza volcánica clara, constituida por fragmentos de vidrio volcánico de composición

riolítica, que contienen pómez vesicular y líticos diseminados de tamaños variados; los cuales no están soldados, por eso, sus componentes son fácilmente erosionables cuando no tienen una cubierta vegetal. La microfábrica constituida por fragmentos muy angulares y curvilíneales, de tamaños variados con presencia importante de pómez, bastante vesicular; son bien graduados y producen cierta cohesión de esos depósitos que les favorece para mantener la verticalidad de los taludes de esos depósitos (Urbina y Melara, 1996).

Estos flujos, antes mencionados, se forman por el colapso de una porción de la columna eruptiva densa que debido a un incremento en el diámetro de la boca eruptiva o a una reducción de la presión, da origen a flujos turbulentos compuestos por una masa densa, saturada de gases (fluidización), que se desplazan ladera abajo por largas distancias. Los flujos se desplazan por las hondonadas y valles a los que rellenan en su desplazamiento, peneplanizando la superficie del terreno. Los productos piroclásticos, de la erupción explosiva del Ilopango, fueron denominados Tierra Blanca Joven (TBJ) por Hart, W., y Steen-McIntyre, V. (1983), en la que se identifican varias unidades de flujos piroclásticos (figura 1).

A los depósitos de los flujos piroclásticos se les conoce también como ignimbritas (Spark, et al. 1973), y las ignimbritas F de TBJ es la que tiene mayor exposición en el AMSS. Hart (1983) calculó el volumen total de esta erupción y resultó ser de 20-30 km³ (DRE: Dense Rock Equivalent, por sus siglas en inglés). Los análisis geomecánicos más conocidos de TBJ corresponden a la Unidad G, y probablemente también existan datos de la Unidad F pero en la mayoría de los casos no han sido relacionados con esta unidad, por eso, es importante la caracterización geomecánica de esta unidad. Debido a la textura gruesa de estas ignimbritas los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna es conveniente obtenerlos por medio de ensayos corte directo “in situ”.

PROCESO DE EXFOLIACIÓN

Las observaciones de campo realizadas en varios taludes en ignimbritas del AMSS, muestran el apareamiento de fisuras que progresan a grietas, que aparecen de manera regular en los

taludes. La naturaleza isotrópica de los depósitos de flujos piroclásticos permite que el intemperismo físico opere en estos materiales cuando en los taludes incide la acción solar. Esas discontinuidades surgen lentamente debido a varios factores como la variación diurna de la temperatura, a la acción de las lluvias, emplazamiento y desarrollo de raíces en su interior, y a las sacudidas producidas por los sismos. Estos factores que se describen a continuación operan conjuntamente para el desarrollo de las grietas.

Cambios diarios de temperatura. Los cambios de temperatura que experimenta el ciclo diurno, causan efectos térmicos en los depósitos de flujos piroclásticos expuestos a la actividad solar. Estos cambios de temperatura producen contracciones y expansiones en la cara y en la cabecera del talud, llegando a producir un debilitamiento de la sección más externa del mismo, de la que derivan la formación de fisuras y grietas. En la estación seca, abril es el mes más caliente (31.4°C max.- 19.5°C min.) y diciembre el menos caliente (27.2 °C max. – 16.1°C min.). Durante la estación lluviosa, el mes de mayo es el más caliente (29.1 °C max.- 20.5°C min.) y septiembre el menos caliente (26.4 °C max.-19.8 °C min.). Estos registros de temperatura indican que durante la época seca los suelos se enfrían y se calientan más que en la época lluviosa (Zimmerman, R. 2004).

Sismos. El paso de una onda sísmica de un medio más duro a otro sin consolidación, como es el caso de los depósitos de TBJ, produce una disminución de la velocidad de la onda al pasar por esos materiales, tal cambio de velocidad es acompañado por una amplificación de la onda sísmica en dichos materiales; teniendo como resultado vibraciones del suelo más fuertes, contribuyendo a la abertura de las discontinuidades. Cuando un sismo es fuerte puede producir vuelco de la porción más externa de la cara del talud y una cara nueva aparece en la que se repetirá este proceso. La influencia de los terremotos de enero y febrero de 2001 en El Salvador produjeron una gran cantidad de derrumbes y deslizamientos de TBJ en el AMSS (Bommer, J. et al. 1998, 2001; Bommer, J. y Rodríguez, C. 2003; Rolo et al. 2004).

Lluvias. El largo período de la estación lluviosa y las altas precipitaciones en la AMSS a que están expuestos los materiales ignimbríticos, favorecen la infiltración y el proceso de erosión. El agua dentro de las grietas produce un aumento de la presión de poro, erosión diferencial tubificación y ensanchamientos de las grietas. En estas condiciones y ante la presencia de una lluvia torrencial, la sección en forma de cuña formada por la discontinuidad se cae al aumentar el esfuerzo cortante por el aumento de peso del agua intersticial, venciendo así las fuerzas resistentes. Este tipo de derrumbes es muy frecuente en las ignimbritas TBJ en el AMSS durante la estación lluviosa.

Vegetación. Las raíces se desarrollan más fácilmente cuando penetran los taludes a lo largo de sus fisuras y grietas de los taludes. Cuando las raíces se tornan más gruesas producen presión lateral en el interior de las discontinuidades, siendo la porción más externa la que se separa formando grietas abiertas e inestabilizando el talud. El engrosamiento de las raíces es mayor durante la estación lluviosa que en la seca y también es cuando la humedad es mayor en TBJ, por eso, en la estación lluviosa son más numerosos los derrumbes en este tipo de suelos.

MECANISMO DE RUPTURA DE TALUDES

Sobre las ignimbritas que conforman los taludes verticales operan los procesos de meteorización física, que da paso a planos de debilidad que se desarrollan en direcciones preferenciales. La exfoliación es el mecanismo que genera esas discontinuidades que son planos de origen mecánico, resultante de las contracciones y expansiones diferenciales producidas por la acción térmica diaria del sol y se caracterizan por tener superficies planares que separan en bloques el talud (González de Vallejo et al.2002). Como este proceso es continuo, más hacia el interior de la cara del talud otra fisura comienza aparecer y así sucesivamente, hasta que aproximadamente a 1 - 1,5 m de la cara del talud y sobre la superficie del terreno, ya no se observan estas discontinuidades, porque la acción solar ya no tiene incidencia.

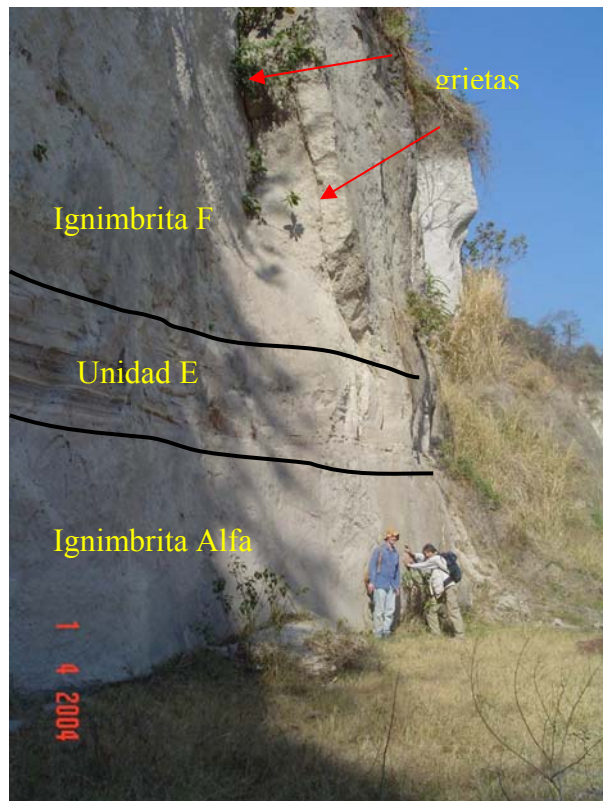


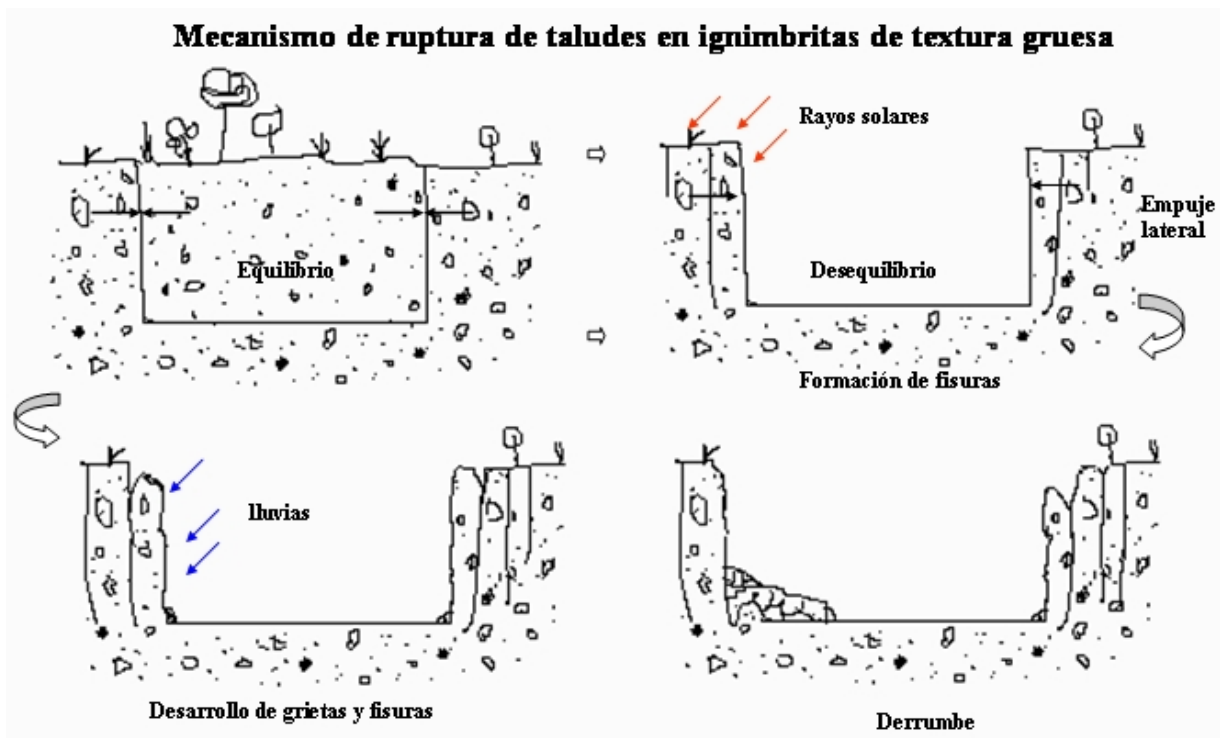
Figura 2. Discontinuidades paralelas en la cara del talud en depósitos de ignimbritas de textura gruesa mostrando rebanadas anchas.

Cuando se trata de flujos piroclásticos de textura gruesa, ricos en pómez (Figura 3A), las discontinuidades transversalmente muestran secciones rectangulares, las que llegan a derrumbarse ante un detonante como las lluvias y/o sismos fuertes. Los derrumbes resultantes en ambos casos corresponden a las rebanadas y los volúmenes involucrados son pequeños a moderados, lo que dependerá de la altura del talud. El proceso de exfoliación en las ignimbritas de matriz finas es el mismo que en las ignimbritas gruesas, con la diferencia que las discontinuidades forman rebanadas muy delgadas, del orden de centímetros, tal como lo muestra la figura 2B. Con el establecimiento de las discontinuidades esos materiales se vuelven anisótropos en las que varios procesos naturales operan a la vez sobre ellos para desestabilizarlos y producir derrumbes por vuelcos de los bloques formados por las discontinuidades (figura 3). El proceso de exfoliación también se ha observado en varias

ignimbritas de las erupciones más antiguas del Ilopango, que se encuentran subyacentes al depósito de pómez de caída TB4 (>47 ka).



Figura 3. A) Textura gruesa en ignimbrita con fragmentos centimétricos de pómez con matriz de cenizas gruesas y lapilli de pómez. B) Textura fina en ignimbrita.



W.Hernández, 2004.

Figura 4. Intemperismo, ruptura y derrumbe de ignimbritas.

La estabilización de taludes en ignimbritas se hace efectiva cuando los taludes se conforman con ángulos entre 45° - 55° , combinados con bermas y además, para la protección contra la erosión es necesario que cuenten con canaletas para el drenaje de las lluvias y es conveniente que estén protegidos con gramíneas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las ignimbritas de la Unidad F de TBJ por tener propiedades isotrópicas permiten el proceso de exfoliación, que separa en secciones paralelas a la cara de los taludes, por esas características, los taludes de las ignimbritas muestran ángulos grandes (casi verticales) y se comportan como un macizo rocoso donde los derrumbes se generan por vuelco. Como las ignimbritas son los depósitos más predominantes de los productos de la erupción de TBJ, por esta razón, son los que determinan la presencia de taludes verticalizados en todas las unidades de TBJ.
- Dada la abundancia de fragmentos de pómez de tamaño mayor que 3 cm en las ignimbritas de textura gruesa, la determinación de la cohesión y del ángulo de fricción interna, en suelos de este tipo, es conveniente que se obtengan a partir del ensayo de corte directo, *in situ*, porque debido al pequeño tamaño del espécimen para compresión triaxial o la muestra para caja de corte, se dificulta la elaboración de los mismos por la presencia de fragmentos de pómez mayores de 3 cm.
- La conformación de taludes en estas ignimbritas se vuelve más efectiva cuando los taludes se diseñan con pendientes entre 45° - 55° , ya que facilitan las labores de mantenimiento y disminuyen las posibilidades de derrumbes. Estos taludes deben acompañarse con canaletas de drenajes y protegerse con zacate barrenillo o zacate estrella para evitar erosión y el proceso de exfoliación.

REFERENCIAS

- Bommer, J.J., Rolo R. y Fernández, P. (1998). Propiedades Mecánicas de la Tierra Blanca y la Inestabilidad de Taludes. Revista ASIA, No. 129, El Salvador.

- Bommer, J.J., Rolo R., Mitroulia, A. and Berdousis, P. (2001). Geotechnical Properties and seismic Slope stability of volcanic Soil. Elsevier Science Ltd. 12th European Conference on Earthquake Engineering.

- Bommer, J.J. and Rodriguez, C. (2003). Earthquake-induced landslides in Central America. Engineering Geology and International Journal. Geologic and Engineering Characterization of Tierra Blanca Pyroclastic Deposits. Imperial College London.

- Dull, R.A.; Southon J.R. and Sheets P. (2001). Volcanism, Ecology and Culture: A reassessment of the volcan Ilopango TBJ eruption in the Southern Maya Realm. Latin American Antiquity Vol. 12 Number 1, Society for American Archeology.

- González de Vallejo L., Ferrer, M., Ortuño L. y Oteo C. (2002). Ingeniería Geológica. Prentice Hall. España.

- Guzmán Urbina y Melara, E. (1996). Propiedades Ingenieriles del Suelo del Area Metropolitana de San Salvador, El Salvador, C.A. Revista ASIA. No. 122. El Salvador.

- Hart, W. (1981). The Panchimalco Tephra, El Salvador, Central America. A Thesis of Master Degree. New Brunswick Rutgers, The State University of New Jersey. USA.

- Hart, W.J. and Steen McIntyre, V. (1983). Tierra Blanca Joven Tephra from the AD 260 Eruption of Ilopango Caldera: in Archeology and Volcanism in Central America. University of Texas Press, Austin, Texas, p. 14-34.

- Hernández, W. (2004). Características geomecánica y vulcanológicas de las tefras de Tierra Blanca Joven, Caldera de Ilopango. El Salvador. Tesis de Maestría en Tecnologías Geológicas. Universidad Politécnica de Madrid.

- Rolo, R., Bommer, J., Houghton, B., Vallance J., Berdousis P., Mavrommati Ch. and Murphy W. (2004). Geologic and Engineering characterization of Tierra Blanca pyroclastic ash deposits. Imperial College London. In Natural Hazards in El Salvador. The Geological Society of America. Special paper 375.

- Vallance, J. and Houghton, B. (1998). The AD 260 eruption at Lake Ilopango, El Salvador: A complex explosive eruption through a caldera lake. National Science Foundation, Research Proposal.

- Zimmerman, R. (2004). Características Meteorológicas y topográficas de la zona Metropolitana de San Salvador. Unidad CINAGRO-SNET.