



MEMORIA
XIV Congreso Geológico de América Central &
VII Congreso Geológico Nacional
San José - Costa Rica, 2022



Monitoreo de humedad en sectores críticos del Área Metropolitana de San Salvador para mejora de comportamiento y diseño de taludes

José Alexander Chávez^a*, Mauricio Vásquez^a, Efraín Alas^a

^aOficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador, San Salvador, El Salvador

Abstract: Monitoring in the Metropolitan Area of San Salvador has continue using dielectric equipment to measure moisture and its relation with rains. An experimental field of slopes has been implemented from 2016-2018 to propose improvement on slope management observing that the slopes that showed the best behavior had 20° on top of the slope and 45° and 90° on the face of slope with a capillary barrier losing humidity relatively quickly. Also, since 2020 monitoring in risky areas for mass movements and erosion has begun. It was observed the importance of the location, sun, vegetation (roots), topography, slope, percentage of moisture and rainy season with the behavior and stability of the slopes.

Palabras clave: Talud, Tierra Blanca Joven, dieléctrico, TDT, monitoreo.

Key words: Slope, Tierra Blanca Joven, dielectric, TDT, monitoring.

Introducción

Se ha continuado en el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) el esfuerzo de monitoreo de Chavez et al. (2016)[1] para correlacionar lluvia con humedad y conocer el comportamiento de la humedad de los estratos superficiales con las lluvias en sectores de riesgo por movimientos de ladera y erosión, con la idea de dar criterios de mitigación, alerta temprana y diseño geotécnico.

La cobertura de tefras por ser muy reciente muestra inestabilidad y esto provoca problemas de manera recurrente. Este esfuerzo se enmarca dentro de proyecto “Gestión de Riesgos y Disminución de Vulnerabilidad Social en el AMSS” fase II, financiado por la Agencia Andaluza de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AACID). El monitoreo de campo hecho en diferentes taludes con diferente cobertura e inclinación puede ayudar a tener información de diseños más adecuados de cobertura (barreras capilares) y para estabilidad de taludes entre otros. Esta información es importante para proponer métodos de diseño más adecuados y que pueden ayudar a validar los modelos de diseño. El equipo usado es un dispositivo dieléctrico instalado en los taludes, el equipo está basado en el principio de Transmisión de Dominio de Tiempo (TDT) para conocer comportamiento de las tefras ante las lluvias. Se hizo un campo experimental para comprobar como el cambio de pendiente en la corona de talud puede evitar saturación y disminuir los problemas de inestabilidad. Lo que se ha visto es que aspectos como la topografía, raíces, costras de suelo biológicas (mezcla compleja de suelo, musgos, algas, liquen, micro-hongos y otras bacterias), granulometría y succión son factores que inciden mucho en el comportamiento de los taludes.

*Autor para contacto: alex.chavez@opamss.org.sv

Materiales y Metodología

Con el fin de proponer una mitigación (diferente a la tradicional como obra gris o muro por ejemplo) desde el 2016 se inició en la Universidad de El Salvador (UES) el campo experimental de taludes con diferente cobertura e inclinación. Se instalaron dispositivos TMS3 para el monitoreo de temperatura y humedad. La idea es evitar infiltraciones dentro del cuerpo de los taludes que disminuya la estabilidad de las tefras. Para monitoreo se hizo uso de un equipo de Transmisión de Dominio de Tiempo (TDT) que mide humedad mediante el método dieléctrico, llamado TMS3 de TOMST cuyas guías de ondas electromagnéticas están confinadas en un material de moldeo epóxico que permite insertarlo en el suelo [1]. Debido a esto es necesario obtener una curva de calibración que relacione el valor que da el equipo con contenido de humedad real del suelo, en este caso, para suelos con Tierra Blanca Joven (TBJ), se usaron las curvas de calibración cf. [1]. El equipo puede recabar datos en diferentes intervalos (15, 10, 5 y 1 minutos). En este caso se programó hacerlo cada 10 minutos, debido a que corresponde con el periodo de medición de las estaciones meteorológicas usadas por la red de estaciones meteorológicas del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) (<http://www.snet.gob.sv/Geologia/pcbbase2/parametros-mapa.php>).

Los ángulos en la parte superior del campo de taludes (donde ocurre la infiltración) se fueron variando de 3° a 20° y se utilizó canalización para desviar el agua de lluvia fuera de la ladera. Para la ladera de los taludes se eligieron ángulos de 90°, 60° y 45°. Para la protección de los taludes se utilizaron diferentes coberturas: grama, vetiver, cubierta cal combinado con TB y barrera capilar (capas dobles intercaladas de arena y grava [1]).

También se ha instalado equipo de monitoreo en sectores críticos del AMSS (sector oriente con cobertura importante de TBJ), sectores de movimientos de ladera importantes en las Colinas (ladera tectónica) y Picacho (paleovolcán) donde hay bastante población expuesta.

Asimismo, la información de humedad del equipo ha sido correlacionada con información de stress por humedad de Sentinel 2 cuyo índice es $(\text{Banda8} - \text{Banda11}) / (\text{Banda8} + \text{Banda11})$ para validar y comparar resultados.

Resultados y Análisis

Durante año 2016 cuando se inició el monitoreo, los taludes estuvieron saturados la mayor parte del tiempo (los equipos se instalaron al final de la temporada de lluvias). Sin embargo, el talud número 5 mantuvo un bajo contenido de humedad (corona 8° y ladera a 45°). Para el 2017 se intentó emular la característica del talud 5. Se aumentó el ángulo de la parte superior de la pendiente, además se implementó la mezcla de cal y TBJ en la parte superior, así como en la barrera capilar. A pesar de que la mayoría de los taludes se mantuvieron saturados, dos de ellos (el número 2 con una mezcla de cal y piroclástico, así como 45° en ladera y 19° en la parte superior de corona y el talud 4 con 90° de ladera, barrera capilar y 10° en corona) tuvieron un buen comportamiento disminuyendo la saturación y secándose más rápido. Para la próxima temporada de lluvias en 2018 se realizó un aumento a 20° en la parte superior de corona del talud para todos los taludes monitoreados con mezcla de cal y TBJ, así como barrera capilar. Los resultados indican una mejora en todos los taludes (en años anteriores la mayoría estaban saturados) nuevamente los taludes número 2 y 4 presentaron menos humedad y perdieron humedad más rápido luego de un periodo de lluvia. Los mejores resultados se obtuvieron en taludes con barrera capilar, 90° frente a talud y 20° encima de corona). El resto de taludes no se saturaron (excepto el talud 1). Por lo que se recomienda tomar en cuenta las modificaciones realizadas para replicarlas en otros sectores y monitorear con más equipos (figura 1). Para probar la mejora en el campo experimental de taludes, se muestra el estrés de humedad de Sentinel 2 del sitio y es posible comparar antes y después de los cambios realizados en los taludes que el sensor remoto indica también, una disminución de la humedad especialmente en el 2018 que coincide con lo medido por el equipo instalado. Después de algunos años de no intervención, la zona vuelve a su comportamiento normal (humedad moderada).

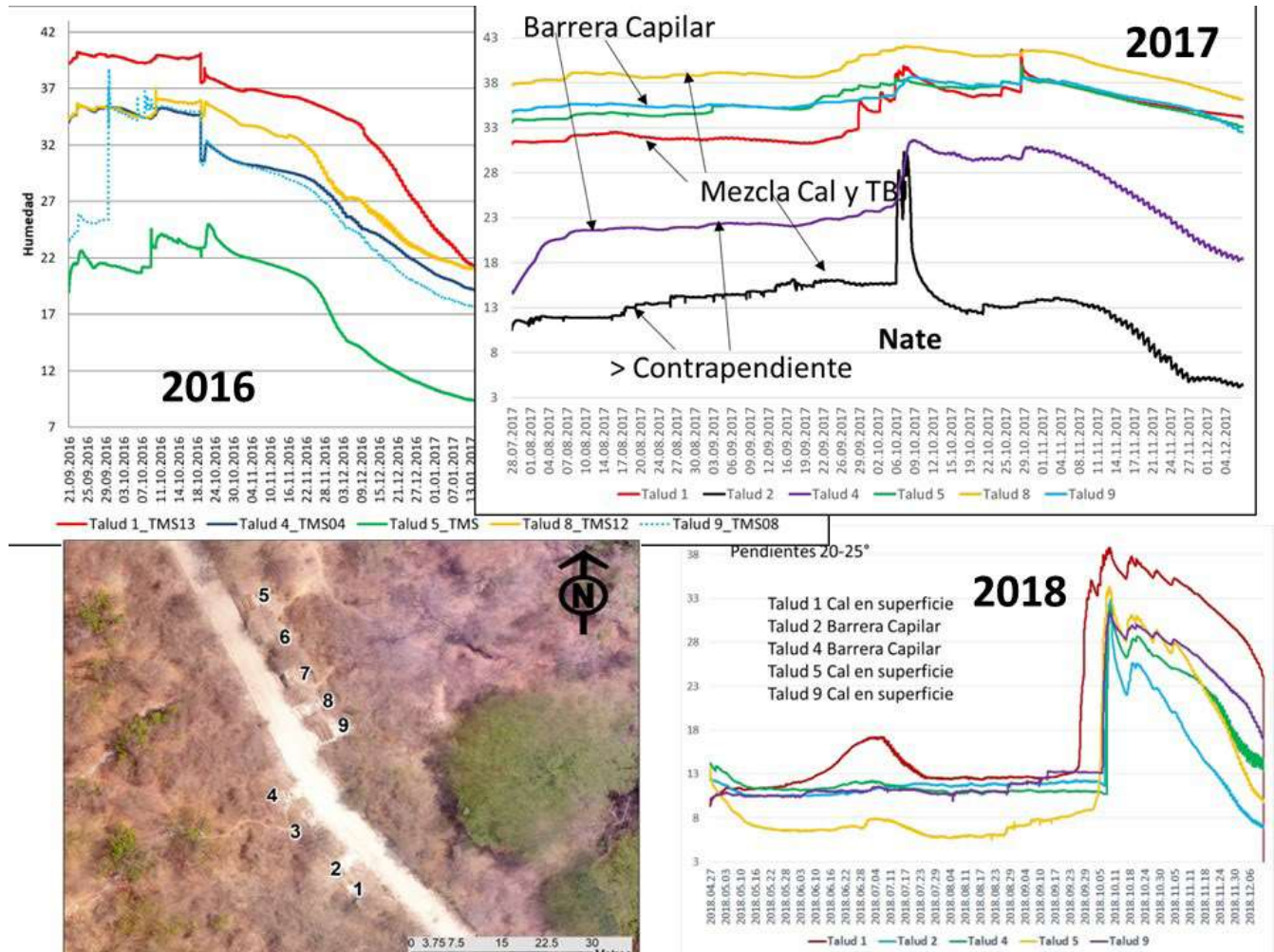


Figura 1. Mejora de comportamiento en el campo de los taludes .

En 2020 se inició a monitorear con TMS4 (versión actualizada) otras laderas y taludes del AMSS (figura 2) para identificar y entender el comportamiento de saturación. En el paleovolcán Picacho se han producido históricamente varios flujos de escombros. El equipo se instaló sobre material meteorizado y sobre suelo superficial de cobertura. Parece que cuando llueve se infiltra agua y se queda acumulada saturando la arcilla. Las lluvias en la ladera con una intensidad instantánea de más de 4 mm ayudan a que la humedad aumente al ser más pronunciada. La cima del paleovolcán permanece saturado durante el verano posiblemente relacionado a movimiento de agua infiltrada.

En el escarpe tectónico de las Colinas donde ocurrió una avalancha de escombros durante el terremoto de 2001 e históricamente hay vestigios de paleo-deslizamientos, es claro que las obras de mitigación no están evitando la infiltración y solo en el área mitigada es más seca. Esto se demuestra con el estrés por humedad de Sentinel 2 y los resultados de TMS4. Algunas áreas de la escarpa tectónica con arcilla en el área inferior están saturadas y se observan algunos signos de reptación.

En otros taludes cercanos a la caldera de Ilopango con diferentes características, pareciera que las humedades anómalas se deben a la infiltración artificial, morfología y al tipo de vegetación presente. En el talud artificial junto a un estacionamiento donde descarga una tubería de aguas lluvias de la calle con un tipo de plantas freatofitas

indicadoras de agua subterránea; el equipo registró un contenido de humedad muy alto y cuando se recolectó la información era evidente que el talud presentaba algunos signos de falla debido a saturación.

En otros taludes artificiales monitoreados en el mismo sitio con diferentes características, cobertura y vegetación, se observó un comportamiento diferente, más seco. Los Badlands en equilibrio o zonas de erosión densa con bosques naturales, tienen un equilibrio que se pierde durante la urbanización y los barrancos suelen aparecer muy rápidamente (figura 3).

En general en zonas de TBJ la humedad es alta en la superficie y lleva un tiempo para que la pluma de humedad se infiltre a niveles más bajos (con más de 300 mm de lluvia acumulada aproximadamente).

Una vez más, cuando la parte superior está saturada durante mucho tiempo, aumenta la permeabilidad e inicia infiltración. La información del stress de humedad de Sentinel 2 concuerda con los resultados del dispositivo TMS4, mostrando la misma tendencia.

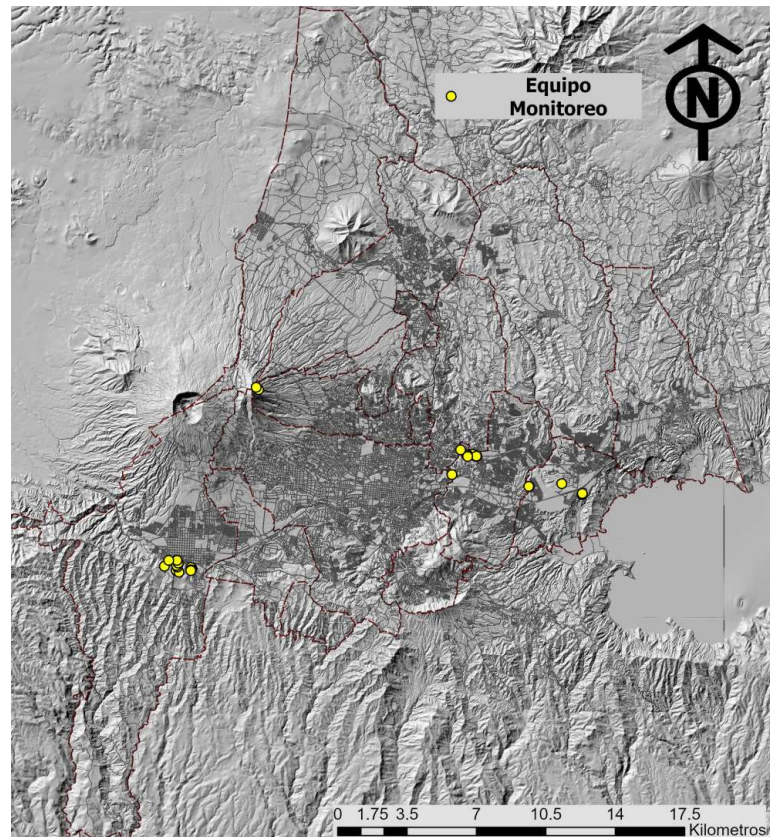


Figura 2. Puntos de monitoreo con TMS4.

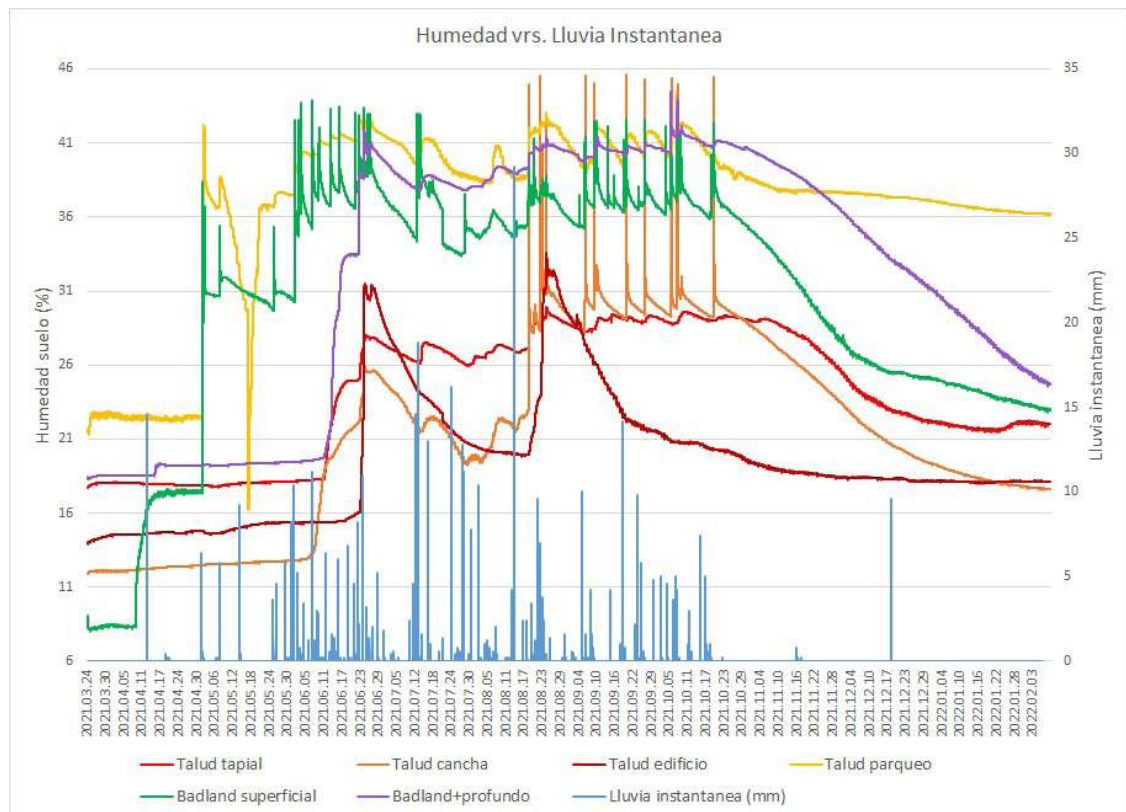


Figura 3. Monitoreo en sector de la Universidad Don Bosco.

Conclusiones

Se probó en el campo experimental con taludes de diferentes inclinaciones de coronas y laderas con el fin de determinar posibles mejoras en su conformación para disminuir la saturación en suelos problemáticos. Los taludes que presentaron mejor comportamiento fueron los de 20° en la parte superior del talud, así como 45° y 90° en ladera del talud, con una barrera capilar con pérdida de humedad relativamente rápida. Además, se inició el monitoreo de zonas de alto riesgo y poder contar con criterios de alerta temprana y mitigación. Se observó la importancia de la ubicación, el sol, la vegetación, la topografía, la protección, la inclinación, la pendiente, el porcentaje de humedad y la época de lluvias con el comportamiento y la estabilidad de los taludes. La información ha sido correlacionada, también, con la información del stress de humedad de Sentinel 2, observándose que a pesar de escala de trabajo se ve cierta correlación. Estos resultados validan también el uso de sensores remotos para monitoreo e identificación de zonas de interés.

Referencias bibliográficas

1. Chávez, J. A, Landaverde J, Mendoza L, Lopez R, Tejnecký, V. (2016). Monitoring and behavior of unsaturated volcanic pyroclastic in the Metropolitan Area of San Salvador, El Salvador. *SpringerPlus* 5(1): 1-24. doi: 10.1186/s40064-016-2149-x