



**PROPUESTA PARA ESTABLECER UNA METODOLOGÍA EN EL ESTUDIO DE
LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES ARCILLOSOS TENIENDO EN CUENTA
LOS EFECTOS DEL CLIMA.**

Por:

MARÍA MÓNICA IBÁÑEZ ARCHILA

VÍCTOR ALFONSO PORRAS DÍAZ



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

Informe Final del Trabajo de Grado en la Modalidad Investigación

**PROPUESTA PARA ESTABLECER UNA METODOLOGÍA EN EL ESTUDIO DE
LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES ARCILLOSOS TENIENDO EN CUENTA
LOS EFECTOS DEL CLIMA.**

MARÍA MÓNICA IBÁÑEZ ARCHILA

VÍCTOR ALFONSO PORRAS DÍAZ

**Trabajo de grado presentado como Requisito
Parcial para optar por el Título de Ingeniero(a) Civil**

Director:

ING. HEBENLY CELIS LEGUIZAMO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO DE ESTUDIOS DONDE SE EVALÚA LOS EFECTOS DEL CLIMA SOBRE LOS TALUDES.....	13
2.1. DERRUMBE EN LADERA DE EL NUEVO SAN SALVADOR.....	13
2.2. ESTUDIO DEL MECANISMO DE LA FALLA DE TERRAPLENES DEBIDO A LA INFILTRACIÓN DE AGUAS LLUVIAS MEDIANTE EL MONITOREO DE PRESIONES DE POROS Y CONTENIDO DE AGUA.[2]	13
2.3. ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA INFLUENCIA DE CICLOS DE HUMEDECIMIENTO Y SECADO EN LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE UN SUELO EN FASE I [3].....	14
2.4. ANÁLISIS DEL EFECTO DEL HUMEDECIMIENTO EN LA FALLA DEL TALUD EN EL KM 240+000 DEL CUERPO A DE LA AUTOPISTA CUERNAVACA-ACAPULCO.....	15
2.5. EFECTO DE LA SATURACIÓN EN EL DESLIZAMIENTO DE TALUD EN LA COMUNIDAD SAN JUAN DE GRIJALVA, CHIAPAS [1].....	16
2.6 .PROGRAMA PLAXFLOW.....	17
3. PRINCIPALES PARÁMETROS CLIMÁTICOS QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DE UN TALUD.....	18
3.1. INFILTRACIÓN.....	18
3.2. SECUENCIA HIDROLÓGICA DEL PROCESO DE INESTABILIZACIÓN....	18
3.3. HUMEDECIMIENTO Y SECADO.....	18
3.4 EROSIÓN POR LLUVIA.....	18
3.5 NIVEL FREÁTICO.....	19
3.6 PRESIÓN DE POROS.....	19
3.7 FALLA DRENADA O NO DRENADA.....	20
3.8 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS ARCILLOSOS.....	20
3.9 USOS DEL SUELO.....	20
3.10. RESPUESTA DE LA VEGETACIÓN A LAS LLUVIAS EN LOS TALUDES ARCILLOSOS.....	21

3.11 ACCIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	22
4. SOLUCIONES GEOTÉCNICAS PARA MITIGAR LOS DAÑOS CAUSADOS EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES POR LOS EFECTOS DEL CLIMA.....	22
4.1. SISTEMAS DE DRENAJE.....	22
4.2. GEOMANTAS Y BIOMANTAS.....	22
4.3. SIEMBRA DE ESPECIES VEGETALES.....	23
5. METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES ARCILLOSOS TENIENDO EN CUENTA LOS EFECTOS DEL CLIMA.....	23
6. CONCLUSIONES.....	25
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26

Lista de Figuras.

Figura1. Deslizamiento en Nuevo San Salvador.....	12
Figura2. Configuración de los sensores para medir desplazamiento.....	13
Figura3. Equipos para los ensayos realizados en el laboratorio.....	13
Figura4. Proceso de humedecimiento y secado.....	14
Figura5. Análisis de la estabilidad del talud utilizando el método de Bishop, Geo-Slope.....	15
Figura 6. Localización de la superficie real de deslizamiento en el flujo de agua en el cuerpo del talud. Donde se observa que el círculo de falla está localizado en la zona saturada.	15
Figura 7. Análisis de la estabilidad del talud.....	16
Figura 8. Estado del talud antes de la temporada de lluvias.....	16
Figura 9. Estado del talud antes 15 de octubre 2007.....	16
Figura 10. Localización de la superficie real de la falla en el flujo de agua en el cuerpo del talud.....	17
Figura 11. Respuesta de la vegetación a las lluvias en los taludes arcillosos.....	20
Figura 12. Sistema de drenes en un talud.	22
Figura 13. Estructura y revestimiento artificial con vegetación.	22
Figura 14. Talud con siembra de especies vegetales en etapa inicial.....	22
Figura 15. Precipitación en la ciudad de Bucaramanga IDEAM.....	23

Abstract of the undergraduate project Resumen Ejecutivo del Trabajo de Grado

***TITULO: PROPUESTA PARA ESTABLECER UNA METODOLOGÍA EN EL ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES ARCILLOSOS TENIENDO EN CUENTA LOS EFECTOS DEL CLIMA.**

AUTORES: María Mónica Ibáñez Archila
Víctor Alfonso Porras Díaz

PALBRAS CLAVE: Ciclo hidrológico, precipitación, escorrentía, infiltración.

Se presenta una propuesta mediante la cual se quiere establecer una metodología para el estudio de la estabilidad de los taludes arcillosos teniendo en cuenta los efectos del clima, recopilando y analizando información sobre ciertos factores climáticos como el ciclo hidrológico, escorrentía, nivel freático y capacidad de infiltración del suelo. Se proponen tres etapas diferentes, con las cuales se pueda hacer una comparación de los resultados obtenidos de cada una de ellas y con esto así más adelante analizar la confiabilidad de las pruebas.

Las etapas propuestas son:

ETAPA 1 Modelamiento del talud en software especializado: se propone utilizar dos software especializado con el fin de obtener la curva de falla y la zona de infiltración del talud.

ETAPA 2 Modelo real del talud, trabajo en campo: realizar la toma de muestras del talud teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los modelos de la etapa anterior.

ETAPA 3 Modelo a escala del talud: Se propone realizar un modelo a escala en laboratorio del talud en estudio con la ubicación de sensores estratégicamente para estudiar el proceso de infiltración, presión de poros y desplazamiento en el talud sometido a lluvias. Con lo anterior se busca la manera de hacer un análisis más completo en el momento de establecer la estabilidad de un talud arcilloso.

*Trabajo de grado

**Facultad Físico- Mecánica Escuela de Ingeniería civil, Directora: Ing. Hebenly Celis Leguizamó

***TITLE: PROPUESTA PARA ESTABLECER UNA METODOLOGÍA EN EL ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES ARCILLOSOS TENIENDO EN CUENTA LOS EFECTOS DEL CLIMA.**

AUTHORS: María Mónica Ibáñez Archila
Víctor Alfonso Porras Díaz

KEY WORDS: Water Cycle, precipitation, runoff, infiltration.

A proposal by which you want to establish a methodology for the study of clay slope stability considering the effects of weather , gathering and analyzing information on certain climatic factors as the hydrologic cycle , runoff, groundwater level and capacity soil infiltration . Propose three different stages, with which it may make a comparison of the results obtained from each well and this further analyze the reliability of the tests.

The steps proposed are:

STAGE 1 slope Modeling specialized software: it is proposed to use two specialized software in order to obtain fault curve and slope infiltration area.

STAGE 2 Prototype slope, field work: make the batter sampling taking into account the results obtained in the models of the previous stage.

STAGE 3 scale model of the slope: It is proposed to model laboratory -scale study of the slope on the location of sensors strategically to study the process of infiltration, pore pressure and displacement in the slope subjected to rainfall .With the foregoing are looking how to make a more complete analysis at the time of establishing the stability of a clay slope.

*Trabajo de grado

**Facultad Físico- Mecánica Escuela de Ingeniería civil, Directora: Ing. Hebenly Celis Leguizamó

PROPUESTA PARA ESTABLECER UNA METODOLOGÍA EN EL ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES ARCILLOSOS TENIENDO EN CUENTA LOS EFECTOS DEL CLIMA.

María Mónica Ibáñez Archila
Víctor Alfonso porras Díaz

RESUMEN

Se presenta una propuesta mediante la cual se quiere establecer una metodología para el estudio de la estabilidad de los taludes arcillosos teniendo en cuenta los efectos del clima, recopilando y analizando información sobre ciertos factores climáticos como el ciclo hidrológico, escorrentía, nivel freático y capacidad de infiltración del suelo. Se proponen tres etapas diferentes, con las cuales se pueda hacer una comparación de los resultados obtenidos de cada una de ellas y con esto así más adelante analizar la confiabilidad de las pruebas.

Las etapas propuestas son:

ETAPA 1 Modelamiento del talud en software especializado: se propone utilizar dos software especializado con el fin de obtener la curva de falla y la zona de infiltración del talud.

ETAPA 2 Modelo real del talud, trabajo en campo: realizar la toma de muestras del talud teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los modelos de la etapa anterior.

ETAPA 3 Modelo a escala del talud: Se propone realizar un modelo a escala en laboratorio del talud en estudio con la ubicación de sensores estratégicamente para estudiar el proceso de infiltración, presión de poros y desplazamiento en el talud sometido a lluvias. Con lo anterior se busca la manera de hacer un análisis más completo en el momento de establecer la estabilidad de un talud arcilloso.

PALBRAS CLAVE:

Ciclo hidrológico, precipitación, escorrentía, infiltración.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es el factor que más comúnmente se asocia con las fallas de los taludes ya que la mayoría de deslizamientos ocurren después de lluvias fuertes o durante épocas lluviosas ocasionando deslizamientos los cuales son provocados por el agua que se infiltra provocando

cambios en las presiones de poros y disminuyendo la cohesión en las partículas arcillosas.

La manera y el tiempo que tarda en suceder este fenómeno dependen de varios factores como la intensidad de la lluvia, las condiciones geológicas y topográficas del terreno. Un campo que se ha encargado en estudiar este fenómeno son la geodinámica y la hidrogeología la cual es una rama de las ciencias geológicas que se encarga de estudiar las aguas subterráneas su movimiento su difusión sus reservas, sus propiedades físicas y químicas.

Para las fallas poco profundas, la superficie crítica de deslizamiento puede originarse por una de tres opciones: humedecimiento de la superficie del talud, incremento del nivel de agua subterránea o humedecimiento de la interfaz del suelo de la roca estos tipos de fallas están relacionados con periodos largos de lluvia con moderada intensidad y pueden generar presiones de poro positivas en el cuerpo del talud. Las fallas más profundas están relacionadas con la disminución de la succión y se debe a precipitaciones de corta duración pero de gran intensidad.

Las fallas en taludes durante periodos prolongados de infiltración, son atribuidas al avance del humedecimiento dentro del cuerpo del talud. Esto es porque la resistencia al esfuerzo cortante producida por la succión se va disminuyendo significativamente. El humedecimiento es un factor fundamental en el deslizamiento de taludes.

En un sitio determinado si se conoce con un porcentaje considerable el comportamiento hidrológico (intensidad de lluvia o precipitación, infiltración y ciclo hidrológico) de un lugar o área en estudio, sería posible pronosticar la ocurrencia de deslizamientos en un talud relacionados con eventos de lluvias.

En este artículo se presenta una propuesta mediante la cual se quiere establecer una metodología para el estudio de la estabilidad de

los taludes arcillosos teniendo en cuenta los efectos del clima.

2. ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO DE ESTUDIOS DONDE SE EVALÚA LOS EFECTOS DEL CLIMA SOBRE LOS TALUDES

2.1. DERRUMBE EN LADERA DE EL NUEVO SAN SALVADOR.



Figura 1. Deslizamiento en Nuevo San Salvador[1]

Inicialmente el deslizamiento fue provocado por un sismo en el sector de Santa Tecla dejando así el talud expuesto, ya que con el derrumbe fue arrasada toda la capa vegetal. Luego de esto llegó la época invernal la cual provocó una saturación en el talud ocasionando que este presentara más deslizamientos. Dando como resultado una superficie afectada de 300 metros de largo por 50 de ancho. Los especialistas analizan que esta situación no hubiera sido tan crítica si en el momento justo después del deslizamiento causado por el sismo se hubieran tomado precauciones como tapar grietas, quitar cargas adicionales, y colocar vegetación artificial la magnitud del evento hubiera sido menor.

2.2. ESTUDIO DEL MECANISMO DE LA FALLA DE TERRAPLENES DEBIDO A LA INFILTRACIÓN DE AGUAS LLUVIAS MEDIANTE EL MONITOREO DE PRESIONES DE POROS Y CONTENIDO DE AGUA.[2]

Este artículo muestra experimentos realizados utilizando modelos a escala para estudiar el proceso de infiltración en terraplenes sometidos a aguas lluvias. Varios modelos a escala fueron contruidos usando un suelo para aplicar la lluvia artificial y observar el proceso de infiltración del

agua se utilizó un tubo de irrigación. Para monitorear los cambios en succión ocasionados por los ciclos de humedecimiento y secado se instalaron dentro del suelo varios sensores de presión de poros, contenido de agua y de desplazamiento en diferentes puntos. Este estudio muestra que el movimiento del suelo en un talud está directamente relacionado con el contenido de agua del suelo y las presiones de poros existentes en él, sugiriendo que por medio del monitoreo de estos dos parámetros es posible predecir fallas locales inducidas por infiltración de aguas lluvias en los taludes.



Figura 2. Configuración de los sensores para medir desplazamiento[2]

PROCEDIMIENTO:

Para los ensayos se utilizaron dos suelos con los que se construyeron los taludes a escala. Para llevar a cabo las pruebas se utilizaron cajas hechas de placas de acero donde se encuentra contenido el suelo sensores de presión y sistemas de lluvias.

El suelo usando inicialmente fue secado en un horno durante 24 horas. Después de secado fue necesario aplastarla utilizando unas varillas de apisonamiento con el fin de lograr un grano natural. Luego se le agregó agua al suelo para alcanzar un contenido inicial de agua requerida en el medio de 12% y 18% con el fin de hacer el proceso de compactación más fácil.

La colocación de sensores: durante la colocación del suelo, se colocan los sensores en lugares específicos dentro de la pendiente del talud, después de la colocación de los sensores

res se fijaron con una nueva capa de suelo y se compactaron.

Después de la preparación de la pendiente, se coloca una tubería de riego por aspersión con el fin de simular la lluvia. Este tubo produce un rociado fino lateral que simula lluvia constante con intensidades entre 40 y 50mm/h.

Las primeras lluvias se aplicaron durante el segundo día de las pruebas. Después de la primera lluvia el modelo fue sometido a procesos de secado. Al cuarto día fue sometido a una segunda precipitación.

Después de realizar las pruebas se llegó a las siguientes conclusiones:

- ♦ Los problemas en el talud inician cuando el contenido de agua en el suelo aumento, especialmente en el pie del talud donde el suelo alcanza presiones de agua de poros positivos, en contraste una parte de la masa deslizante todavía puede ser en la condición insaturada.
- ♦ Los deslizamientos en el suelos con los terraplenes de prueba están directamente relacionados con el contenido de agua del suelo y la presión de poros existente, entre mayor sea la presión de agua mayor será el desplazamiento dentro del suelo.[2]

2.3. ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA INFLUENCIA DE CICLOS DE HUMEDECIMIENTO Y SECADO EN LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE UN SUELO EN FASE I[3]

En esta tesis se estudió la influencia de los ciclos de humedecimiento y secado en una probeta de suelo natural de un talud de la formación Bucaramanga.



Figura 3. Equipos para los ensayos realizados en el laboratorio.[3]

PROCEDIMIENTO

Se moldean 3 o 4 probetas de una bloque de suelo inalterado, utilizando un anillo cortante para controlar el tamaño. Se ensambla la caja de corte, se saturan las piedras porosas y se mide la caja para calcular el área (A) de la probeta. Se colocan la probeta en la caja de corte, las piedras porosas y el pistón de carga sobre el suelo, la carga normal Pv y se ajusta el deformímetro vertical. Para un ensayo consolidado es necesario controlar el deformímetro vertical igual que en el ensayo de consolidación para determinar cuando la consolidación haya terminado.

Luego, se separan las mitades de las cajas de corte dejando una pequeña separación y se empalma la cabeza de carga, asegurando que la carga normal refleje la fuerza normal más el peso del bloque de carga y la mitad superior de la caja de corte. Se acopla el deformímetro de deformación cortante y se fija en cero tanto el deformímetro horizontal como vertical (en ensayos saturados se llena la caja con agua y se espera la saturación de la probeta).

Aplicar la carga de corte tomando lecturas del deformímetro de carga, de desplazamientos de corte y verticales (cambios de volumen). En ensayos de deformación controlada, las lecturas se toman a desplazamientos horizontales de 5, 10 y cada 10 o 20 unidades.

Se realización una serie de ensayos con el fin de establecer las características del suelo.

El primer ensayo consiste en la clasificación granulométrica de la probeta del suelo.

Al finalizar el ensayo, se remueve el suelo y se toman probetas para determinar el contenido de humedad.

HUMEDECIMIENTO DE LAS PROBETAS DE SUELO



Figura 4. Proceso de humedecimiento y secado [3]

Con el fin de estudiar y estandarizar el procedimiento de humedecimiento de las probetas de suelo, se realizaron varias pruebas con el fin de determinar cuál podría aproximarse a la condición a la cual se expone el suelo en el talud.

Probeta 1: Ensayo realizado a las probetas en estado natural, sin tiempo de consolidación ni saturación.

Probeta 2: Ensayo realizado a las probetas en estado natural, con tiempo de consolidación y saturación de 3 horas.

Probeta 3: Ensayo realizado a las probetas con 2 ciclos de humedecimiento-secado, con tiempo de consolidación y saturación de 3 horas.

Después de realizar las pruebas se llegó a las siguientes conclusiones:

- ♦ El ángulo de fricción en las probetas fallas mediante el ensayo de corte directo, presenta un comportamiento descendente con relación al aumento en los ciclos de humedecimiento y secado.
 - ♦ Otra posibilidad es que existe una succión del material por efecto de la salida y entrada de agua en la probeta.
 - ♦ Los cambios en el contenido de agua y temperatura pueden ocasionar un microfracturamiento en las partículas de suelo, lo cual genera disminución en la resistencia de la misma.
 - ♦ La cohesión puede disminuir aun que de una manera muy lenta comparada con el ángulo de fricción, como consecuencia del secado rápido de las probetas que genera reordenamiento en las partículas de forma desordenada, generando pérdida en los enlaces cohesivos de las probetas de suelo.
 - ♦ Estos cambios pueden ocurrir en las zonas superficiales de los taludes, lo cual puede ocasionar pérdida de resistencia y disminución de los factores de seguridad, todo esto conlleva a posibles deslizamientos.
 - ♦ Las causas probables de los fenómenos de reducción en los valores del ángulo de fricción y la cohesión no son objeto de este estudio experimental,
 - ♦ Se seleccionaron las muestras que cumplían con valores de contenido de humedad durante la prueba cercanos al 22 % , lo cual representa un estado casi saturado por encontrarse cerca al límite plástico por lo tanto, tienen un valor de succión CONSTANTE, es decir el efecto de los ciclos de humedecimiento es la única variable asociada.
- ♦ Esta tendencia aunque no muy clara para pocos ciclos, si muestra que a mayor número de ciclos el ángulo de fricción tiende a reducirse.
 - ♦ Una vez realizados análisis de estabilidad para cada uno de los parámetros geotécnicos obtenidos en los diferentes ciclos de humedecimiento y secado, se encontró que los factores de seguridad en el talud de ven afectados por los diferentes ciclos de humedecimientos y secado.
 - ♦ La hipótesis del estudio planteada a través del análisis de resultados manifiesta que cada dos años de intensas lluvias y fuertes veranos corresponden con un ciclo de humedecimiento y secado practicado a cada probeta.
 - ♦ En ese orden de ideas para el talud donde fue tomada la muestra de suelo, los parámetros geotécnicos se reducen en un periodo de 24 años. Periodo durante el cual podrían ocurrir deslizamientos en los sectores superficiales del talud.
 - ♦ Los resultados de este estudio pueden establecer que periodos intensos de lluvias e intensos y largos veranos pueden proyectarse como un ciclo de humedecimiento y secado encontrado en el laboratorio.
 - ♦ Los análisis de estabilidad realizados para el talud en estudio, evidencian la disminución en los factores de seguridad del mismo, como consecuencia de los ciclos de intensas lluvias y fuertes veranos.

2.4. ANÁLISIS DEL EFECTO DEL HUMEDECIMIENTO EN LA FALLA DEL TALUD EN EL KM 240+000 DEL CUERPO A DE LA AUTOPISTA CUERNAVACA- ACAPULCO.

Se realizó un muestreo inalterado con el fin de determinar las características mecánicas del material del talud. Se analizó la infiltración de agua lluvia con el software Plaxflow y la estabilidad del talud con el programa Geo-Slope.[4]

PROCEDIMIENTO

Inicialmente se toman 2 muestras del suelo del talud y con pruebas de laboratorio se estableció que el suelo era homogéneo. Luego se obtuvo sus propiedades índice, peso específico de sólidos, relación de vacíos, contenido de agua, grado de saturación, conductividad hidráulica, granulometría por vía seca y húmeda y esfuerzo de preconsolidación. También se hallaron parámetros de resistencia

ángulo de fricción, cohesión, mediante pruebas triaxiales realizadas en el laboratorio.

Después de obtener las propiedades mecánicas e hidráulicas del material, se realizó una modelación del comportamiento mecánico del talud antes y durante el periodo de lluvias utilizando Plaxflow para simular el flujo de agua en suelos no saturados y Slope para el análisis de la estabilidad de taludes.

Para el análisis de lluvias se obtuvieron datos de precipitación pluvial de la zona, con la finalidad de realizar la modelación del flujo de agua en el cuerpo del talud.

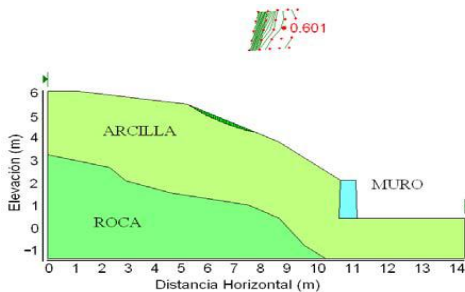


Figura 5. Análisis de la estabilidad del talud utilizando el método de Bishop, Geo-Slope[4]

Mediante el programa de cómputo PlaxFlow (2003), se simuló el flujo de agua en el cuerpo del talud, con lo cual se pudieron observar las zonas en donde se infiltra el agua así como la profundidad de la infiltración. El programa usa una evaporación constante de 0.002m/día y utiliza la ecuación de Van Genuchten (Plaxflow)

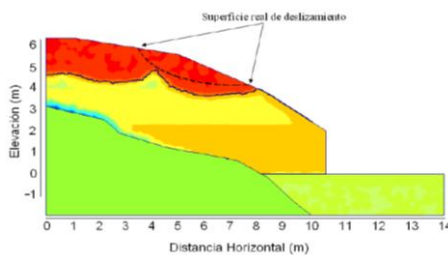


Figura 6. Localización de la superficie real de deslizamiento en el flujo de agua en el cuerpo del talud. Donde se observa que el círculo de falla está localizado en la zona saturada (zona roja) [4]

Después de realizar las pruebas se llegó a las siguientes conclusiones:

- ♦ Un factor determinante en la estabilidad de taludes es el valor de la cohesión del material que conforma el talud. Este valor está

relacionado de manera directa con la succión.

- ♦ Las propiedades del suelo que influyen en la infiltración de agua en el cuerpo del talud son la conductividad hidráulica del suelo (Ks), la intensidad y duración de la lluvia y la pendiente del talud. La conductividad hidráulica está relacionada, a su vez, con la curva de retención del material..

2.5. EFECTO DE LA SATURACIÓN EN EL DESLIZAMIENTO DE TALUD EN LA COMUNIDAD SAN JUAN DE GRIJALVA, CHIAPAS.[1]

En este artículo se analiza la estabilidad de un talud en la comunidad de San Juan de Grijalva, el cual presentó un deslizamiento durante un periodo de lluvias intensas. El volumen de este deslizamiento fue de más de 5 millones de metros cúbicos del suelo y ocasionó la obstrucción del cauce del río Grijalva.

De este talud se obtuvieron sus características estratigráficas y geométricas y se realizó un muestreo inalterado para determinar las características estratigráficas y geométricas y se realizó un muestreo inalterado para determinar las características mecánicas del material del talud.

En el análisis de estabilidad se consideró la variación de la cohesión provocada por el humedecimiento y con ello se pudo observar como el factor de seguridad del talud evoluciona con el contenido de agua del cuerpo del talud. Mediante el análisis de la infiltración de agua de lluvia y de la estabilidad del talud ha sido posible reproducir el proceso de falla.

PROCEDIMIENTO

En el sitio se realizó la extracción de dos muestras inalteradas representativas del suelo que conforma el cuerpo del talud.

De este material se obtuvieron las propiedades índice, peso específico de sólidos, relación de vacíos, contenido de agua, grado de saturación, conductividad hidráulica, granulometría por vía seca y húmeda, esfuerzo de preconsolidación y parámetros de resistencia.

También, se obtuvo la geometría del talud antes del deslizamiento, luego se realizó la modelación del comportamiento mecánico del talud antes y durante el periodo de lluvias utilizando dos programas especializados. El primero para simular el flujo de agua en suelos no saturados (PlaxFlow, 2003a) y el segundo en el análisis de la estabilidad de taludes (Geo, 1995).

Para el análisis de estabilidad de taludes con el software Geo-Slope alimentado por los siguientes parámetros de entrada: peso específico del material γ_m en kN/m³, cohesión c en kPa y ángulo de fricción interna ϕ en grados. El factor de seguridad es calculado con el método de las dovelas de Fellenius, por lo cual se muestra la zona que se desliza dividida en dovelas y en otro color.

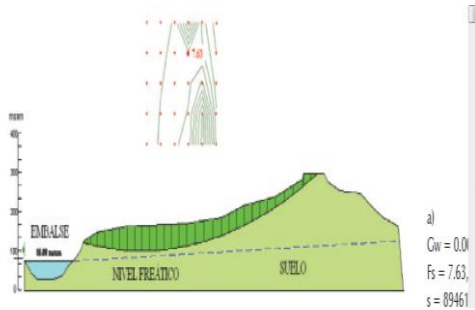


Figura 7. Análisis de la estabilidad del talud[1]

Para el análisis del flujo de agua en el talud realizada por el programa de computo PlaxFlow, se simuló el flujo de agua en el cuerpo del talud, con lo cual, se pudieron observar las zonas en donde se infiltra el agua, así como la profundidad de la infiltración.

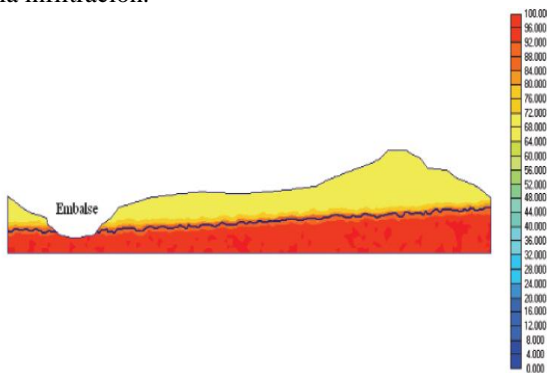


Figura 8. Estado del talud antes de la temporada de lluvias. [1]

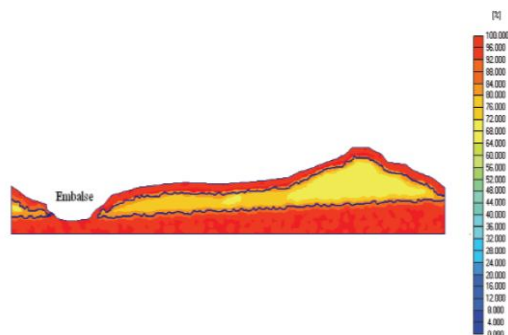


Figura 9. Estado del talud antes 15 de octubre 2007 [1]

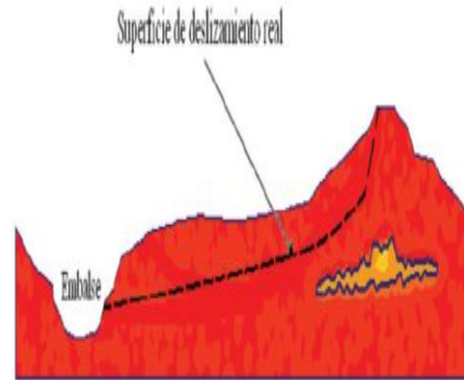


Figura 10. Localización de la superficie real de la falla en el flujo de agua en el cuerpo del talud.[1]

Después de realizar las pruebas se llegó a las siguientes conclusiones:

- ♦ Aquellos taludes susceptibles al deslizamiento y que ponen en peligro vidas humanas es conveniente protegerlos contra el humedecimiento excesivo. Esto se puede realizar mediante la colocación de drenes y/o membranas que canalicen el agua de lluvia hacia otras zonas.
- ♦ Este análisis demuestra que el humedecimiento del suelo fue la causa del deslizamiento de tierra en la comunidad de San Juan de Grijalva, Chiapas. Así las precipitaciones registradas entre los días 28 de octubre y 4 de noviembre de 2007, fueron el detonante del deslizamiento. El resultado de la modelación coincide aproximadamente con la fecha en que ocurrió el evento, así como con el volumen del desprendimiento (55 millones de metros cúbicos aproximadamente) y su longitud (320m).

2.6. PROGRAMA PLAXFLOW

Este programa es de PLAXIS. Trabaja con elementos finitos para analizar los problemas de flujo de agua subterránea no saturados en función del tiempo. Relacionando la presión de poros, grado de saturación, tamaño de partículas y el coeficiente de permeabilidad.

Permite al usuario calcular simultáneamente la deformación y el flujo de las aguas subterráneas

dependiendo del tiempo en suelos saturados y parcialmente saturados. Una de las aplicaciones más útil de este programa es el análisis de estabilidad de taludes y posibles deslizamientos derivados por efecto del medio ambiente (lluvias, inundaciones).

3. PRINCIPALES PARÁMETROS CLIMÁTICOS QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DE UN TALUD.

A continuación se presentan los factores más importantes a tener en cuenta en el análisis de la estabilidad de un talud por lluvias.

3.1. INFILTRACIÓN

El ciclo hidrológico del agua es el punto de partida para la hidrología, y la infiltración como parte de ese ciclo, que no tiene principio ni final se presenta como un proceso por medio del cual el agua penetra desde la superficie del suelo hacia su interior y dentro de las posibles abstracciones de agua lluvia en superficie, es considerada como la mayor. Las propiedades del suelo, la vegetación y las condiciones en la superficie, entre otros, influyen en la tasa de infiltración, proceso que por su complejidad solo puede ser modelado matemáticamente de forma aproximada. El contenido de agua altera la tasa de infiltración, un suelo húmedo tiene una tasa más baja de infiltración que un suelo seco; de esta forma, frente a la lluvia un suelo húmedo tendrá mayor escorrentía, sin embargo el mismo suelo en condiciones secas tendrá mayor tasa de infiltración.

La infiltración se define como el movimiento del agua desde la superficie del terreno hacia el suelo o roca por los poros o intersticios y discontinuidades de masa terrea. La infiltración corresponde a la producción de lluvia que se filtra. La infiltración a su vez puede dividirse entre aquella parte que contribuye a aumentar el contenido de agua de la zona no saturada y aquella que recarga el sistema saturado de agua subterránea.[2]

Este fenómeno depende del tiempo de duración de la lluvia, de la inclinación del talud, porosidad y permeabilidad del suelo.[5]

3.2. SECUENCIA HIDROLÓGICA DEL PROCESO DE INESTABILIZACIÓN

Generalmente las investigaciones muestran una secuencia hidrológica para la activación de los deslizamientos, así (Dhakal y Siddle, 2004):

Una lluvia acumulada anterior. Esta lluvia genera las condiciones propias de humedad para propiciar la formación de niveles de agua colgados en sitios inestables.

Un período prolongado de lluvia. La lluvia en las últimas 24 horas, o menos, aumenta las presiones de poros y asciende los niveles freáticos.

Un evento de alta intensidad. Se aumenta, de forma rápida, la saturación del perfil y un incremento brusco de la presión de poros, lo cual activa los deslizamientos[5]

3.3. HUMEDECIMIENTO Y SECADO

Este fenómeno sucede en el momento del inicio de la lluvia (humedecimiento) y en el lapso de tiempo que no se presenta la lluvia (secado) los parámetros que interviene en este fenómeno son la alternancia de las estaciones climáticas secas o lluviosas y la intensidad de la acción solar. Los parámetros inherentes del terreno establecen las condiciones para la filtración como protección, permeabilidad, inclinación. Y para la evaporación la orientación al sol y protecciones sobre el talud.[3]

3.4. EROSIÓN POR LLUVIA

Erosión Hídrica que es la erosión por agua y abarca la erosión provocada por el impacto de las gotas sobre el suelo desnudo, como también la acción hidráulica que arranca y transporta las partículas de suelo por el escurrimiento en laderas y taludes.

♦ **Saltación pluvial:** El impacto de las gotas de lluvia en el suelo desprovisto de vegetación y expuesto, ocasiona el desalojo y arrastre del suelo fino produciendo permeabilidad e incremento en la escorrentía.

Efectos generados: Impacto de la gota de agua, reducción de la capa de infiltración, destrucción de los poros y de las fisuras del suelo expuesto.

♦ **Escurrecimiento superficial difuso:** comprende la erosión laminar sobre laderas desprovistas de vegetación y afectadas por la saltación pluvial, que estimulan el escurrimiento del agua arrastrando finos. El escurrimiento difuso ocurre

cuando la velocidad del agua es menor de 30cm/seg.

Efectos generados: Escorrimento de suelos limosos y arenosos, fuente importante de sedimentos.

- ♦ **Escorrimento superficial concentrado:** Produce dos formas, los surcos de erosión (canales bien definidos y pequeños), y las cárcavas, que son canales o zanjonés de mayor magnitud. Cuando el flujo se hace turbulento, la energía del agua es suficiente para labrar canales paralelos llamados surcos. Más profundos y anchos que los surcos son las cárcavas, por las que circula agua durante y poco después de las lluvias.

Efectos generados: Destrucción de taludes y laderas, alto aporte de sedimentos, los canales se borran con perfilados y labranza, fuente importante de sedimentos, corrección de alto costo.

- ♦ **Escorrimento subsuperficial** las aguas infiltradas ocasionan la tubificación y el sifonamiento del suelo, formando cavidades, en donde la fuerza de infiltración ha superado la resistencia del suelo.

Efectos generados: Puede originar manantiales, cárcavas y hundimientos, profundiza el fondo de los cauces naturales, elimina el soporte de las laderas o taludes, efectos devastadores e las márgenes del cauce.

Una de las posibilidades existentes para controlar la erosión es la vegetación, la vegetación con mayor densidad de follaje amortigua más eficientemente el golpe de la lluvia y disminuye la erosión. También actúa como colchón protector contra los efectos erosivos del agua de escorrentía.[6]

3.5. NIVEL FREÁTICO

Es la cota absoluta en metros sobre el nivel del mar que corresponde a la parte superior de saturación en un acuífero libre. Es una variable de significado puntual, pues la cota del agua varía especialmente en el terreno.

La posición del nivel freático no es fija ya que varía en función de las épocas secas o lluviosas. El flujo subterráneo y los cambios en la cantidad de agua acumulada son críticos para la estabilidad de un talud, debido a que ellos controlan el

balance hidrológico que puede alterar en grado de saturación y la elevación del nivel freático.[7]

Este fenómeno puede clasificarse como un fenómeno de deterioro de las propiedades del suelo por el ascenso y descenso de los niveles freáticos y es muy común en los taludes de las orillas de los ríos.

3.6. PRESIÓN DE POROS

La presión de poros es la presión interna del agua de saturación. El agua subterránea (o agua freática) ejerce presiones de poros sobre las partículas de suelo, disminuye la presión efectiva y la resistencia al cortante. La presión de poros dentro del suelo, depende de la localización de los niveles freáticos, de las presiones internas de los acuíferos y de las características geológicas del sitio. La presión de poros es mayor hacia adentro del talud y menor cerca de la superficie. Si existen mantos permeables, éstos facilitan el drenaje y se puede disminuir la presión de poros.

La presión de poros cambia de acuerdo con las variaciones del régimen de aguas subterráneas. Los incrementos de presión pueden ocurrir rápidamente en el momento de una lluvia, (dependiendo de la intensidad de la lluvia) de la tasa de infiltración del área tributaria, etc.

El valor de las presiones de poros se mide utilizando piezómetros. Si no hay flujo de agua, la presión es hidrostática y la medida del piezómetro coincide con el nivel freático pero si existe flujo, las presiones no son hidrostáticas. En este último caso, la presión de poros en cualquier punto dentro de la masa de suelo, puede analizarse por medio de las redes de flujo, las cuales comprenden las líneas de flujo y las líneas de igual presión de poros.[5]

Para el análisis de presiones de poros sobre una superficie de falla, se deben tener en cuenta sus condiciones de drenaje. Cuando existe drenaje, la presión de poros disminuye hacia la superficie del talud pero cuando el drenaje es deficiente, se puede presentar un aumento importante de la presión de poros en el pie del talud. Debe tenerse en cuenta el efecto que las discontinuidades tienen en los niveles piezométricos determinados por las líneas equipotenciales. Las discontinuidades generan diferencias de conductividad hidráulica (permeabilidad), las cuales controlan el sistema de presiones dentro del talud.

Cuando los suelos residuales o rocas meteorizadas conservan estructuras heredadas con orientación adversa, con frecuencia se desarrollan presiones importantes en las zonas de roca parcialmente meteorizada, elevando el nivel piezométrica. La presencia de fracturas permite además, la ocurrencia de presiones muy altas con muy poca infiltración de agua.

Muchas veces las fallas en un talud ocurren cuando el suelo no está completamente saturado en tal caso, de succión presión de agua negativa en los poros) dentro del suelo se convierte en un importante parámetro para analizar el comportamiento de los suelos los cambios en las presiones de poros. Este parámetro se analiza por el mecanismo de humedecimiento y secado simulando los ciclos de lluvia característicos de la zona. Al realizar este mecanismo las pruebas sugieren que los problemas de inestabilidad comienzan cuando el contenido de agua en el suelo aumenta especialmente en el pie del talud donde el suelo alcanza presiones de agua de poro positivo. A mayores presiones de poros, mayor será el desplazamiento del suelo. [2]

3.7. FALLA DRENADA O NO DRENADA

Las fallas de los taludes pueden ocurrir en condiciones drenadas o no drenadas trayendo como consecuencia la inestabilidad de ellos, si la causa es por cambios de carga tal como la remoción de materiales de la parte baja del talud o aumento de las cargas en la parte superior. La condición drenada o no drenada depende de la velocidad con que el agua puede moverse hacia adentro o hacia afuera en el suelo comparado con el tiempo en que el suelo soporta un cambio de carga. La clave es determinar si la carga es capaz o no de producir presiones de poro. [8]

Se dice que una condición es drenada cuando el agua es capaz de fluir hacia afuera o hacia adentro de la masa del suelo cuando es sometida a una carga y no se producen presiones de poro debido a que el agua se puede mover libremente al aumentar o disminuir el volumen de vacíos como respuesta a un cambio en las condiciones de carga. [9]

Se dice que una condición es no drenada cuando el agua no es capaz de fluir en el momento en el cual el suelo es sometido a una carga y se produce entonces, presión de poros; debido a que el agua no se puede mover libremente como respuesta a la

tendencia al cambio del volumen de vacíos por acción de la carga. [9]

Si la carga se aplica muy rápidamente y la permeabilidad del suelo es baja, se puede producir una condición no drenada, pero si se aplica lentamente o la permeabilidad del suelo es alta, se produce una condición drenada.

3.8. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS ARCILLOSOS

Los suelos arcillosos son aquellos suelos cuya composición granulométrica tienen un peso especial las partículas pequeñas, cifradas estas en las de tamaño inferior a dos micras. Estas partículas están compuestas en su mayoría por minerales arcillosos, silicatos de hierro, aluminio y magnesio. Originados por la alteración química de otros minerales originales.

Está formado por el 45% de arcilla, tiene una elevada retención de agua, posee una baja porosidad. Los suelos arcillosos suelen tener un mal drenaje, por ello es necesario crear pendientes para evitar que se acumule el agua tanto de lluvia como de riego.

Los suelos arcillosos son muy conflictivos puesto que si están muy húmedos fluyen como barro, lodo, fango etc... y no son capaces de soportar esfuerzos, en cambio sí están muy secos resisten mucho más, pero se desmoronan y no son confiables. Su respuesta es distinta dependiendo de la rapidez de la carga, si se cargan poco a poco se deforman mucho y resisten

Las propiedades resistentes de las arcillas varían con el grado de humedad y la rapidez con la que se aplican los esfuerzos.

A corto plazo una arcilla saturada normalmente consolidada tiene un ángulo de rozamiento nulo.

En los suelos arcillosos, al ascender el nivel freático el suelo trata de fluir a lo largo de la superficie de falla. El comportamiento es viscoso, cuando el factor de seguridad para la falla a lo largo del contacto con la roca es superior a 1.2 se genera una reptación incipiente con un ligero desplazamiento sobre la superficie de falla.

3.9. USOS DEL SUELO

El uso del suelo es considerado como factor de amenaza, ya que cuando se supera la capacidad potencial de los terrenos, tanto urbanos como rurales, puede acelerar o dinamizar los movimientos de masa, no obstante, ciertos usos

del suelo pueden contribuir a disminuir la amenaza o contrarrestar los efectos de otros factores.

Los principales usos del suelo corresponden a bosque natural, bosque plantado, rastrojo, pastos, cultivos limpios, cultivos permanentes, explotación de material de construcción, depósitos artificiales, asentamientos subnormales y asentamientos normalizados.

Los asentamientos humanos en zonas de conflicto de uso contribuyen a la amenaza por movimientos de masa, especialmente por el efecto que en la estabilidad de los terrenos tienen las prácticas inadecuadas que en ellos se realizan, tales como manejo inadecuado de las aguas lluvias, servidas y de abasto; excavaciones y movimientos de tierra incontrolados, construcciones de taludes de pendiente excesiva y de gran altura sin obras de protección, construcción de vías sin ninguna técnica y sin obras de defensa, construcción de viviendas en terrenos de fuertes pendientes.

3.10 RESPUESTA DE LA VEGETACIÓN A LAS LLUVIAS EN LOS TALUDES ARCILLOSOS

El efecto de la vegetación sobre la estabilidad de los taludes depende del suelo del talud y el tipo de vegetación que se encuentra en este. El tipo de vegetación en el talud como en la parte superior es un parámetro importante para su estabilidad. la vegetación realiza dos funciones importantes: determina el contenido de agua en la superficie y además, da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces, evitando problemas de erosión, reptación y fallas subsuperficiales.

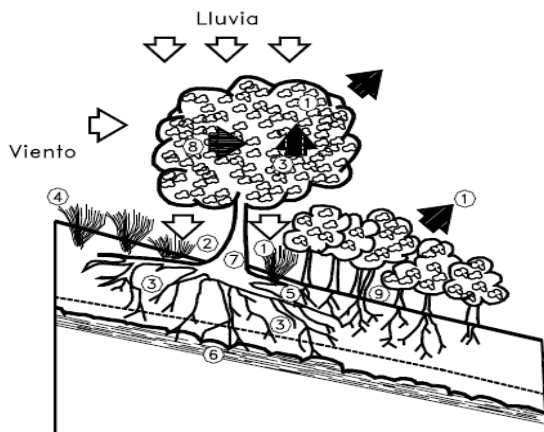


Figura 11. Respuesta de la vegetación a las lluvias en los taludes arcillosos [9]

1. Intercepta la lluvia.
2. Aumenta la capacidad de infiltración.
3. Extrae la humedad del suelo.
4. Grietas por desecación.
5. Raíces refuerzan el suelo, aumentando resistencia al cortante.
6. Ancla el suelo superficial a mantos más profundos.
7. Aumenta el peso sobre el talud.
8. Transmite al suelo fuerza de viento.
9. Retienen las partículas del suelo disminuyendo susceptibilidad a la erosión.

Para poder analizar los fenómenos del efecto de la vegetación sobre el suelo se requiere investigar las características específicas de la vegetación, en el ambiente natural que se esté estudiando.

Entre los factores importantes se sugiere analizar los siguientes: Volumen y densidad de follaje, tamaño, ángulo de inclinación y aspereza de las hojas, altura total de la cobertura vegetal, presencia de varias capas diferentes de cobertura vegetal, tipo, forma, profundidad, diámetro, densidad, cubrimiento y resistencia del sistema de raíces

La vegetación cumple dos funciones principales. En primer lugar tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y, además da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces.

Como controlador de infiltraciones tiene un efecto directo sobre el régimen de aguas subterráneas y actúa posteriormente como secador del suelo, al tomar el agua que requiere para vivir. [6]

La vegetación afecta las condiciones hidrológicas de un talud en varias formas:

- ♦ **Intercepción de la lluvia:** la lluvia se divide en 2 partes, la lluvia que cae directamente sobre el suelo y la lluvia que es interceptada por el follaje de la vegetación.
- ♦ **Retención de agua:** la retención de agua en el follaje demora o modifica en ciclo hidrológico en el momento de la lluvia. Este fenómeno disminuye su poder erosivo.
- ♦ **Acumulación de agua:** parte del agua retenida es acumulada en el follaje para luego ser evaporada.
- ♦ **Goteo o flujo por follaje:** el agua retenida no acumulada retorna a la tierra por goteo o flujo, por el follaje.
- ♦ **Evapotranspiración:** es un efecto combinado de la evaporación y la

transpiración. Su efecto es la disminución de la humedad en el suelo.

3.11 ACCIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La respuesta del régimen de aguas subterráneas a las lluvias, es diferente de acuerdo con el talud, la formación geológica y las características ambientales. Existe una respuesta inmediata a la lluvia por infiltración en las zonas cercanas al talud y una respuesta regional por las lluvias infiltradas en toda el área de aferencia alrededor del talud. El agua de percolación o agua filtrada establece su propio patrón de flujo subterráneo que ejerce presión sobre las partículas del suelo, debilitando la estabilidad de los taludes.[10]

El flujo subterráneo y los cambios en la cantidad de agua acumulada, son críticos para la estabilidad de un talud, debido a que ellos controlan el balance hidrológico que puede alterar el grado de saturación y la elevación del nivel freático.

Debe diferenciarse el caso de zonas permanentes de alta precipitación, en las cuales el nivel de agua freática es alto y constante, y un corte del terreno puede producir la falla casi inmediata del talud; y el caso de lluvias esporádicas o épocas de lluvias intensas, en donde el suelo no saturado es saturado de repente, produciéndose la falla.

Para la falla de un talud puede requerirse una época de lluvias muy larga o puede ser suficiente un sólo aguacero. En los suelos permeables, la intensidad del evento es determinante. En los suelos arcillosos, la lluvia antecedente es muy importante.[5]

- ♦ El agua subterránea puede lavar cementales solubles y deteriorar así los lazos o fuerzas intergranulares consiguiendo la cohesión aparente se elimina y el coeficiente de fricción interna disminuye.
- ♦ El flujo subterráneo lava partículas de arena fina y limo del talud y de las cavidades subterráneas que así se forman, propiciando el fenómeno conocido como tubificación.
- ♦ El agua subterránea confinada actúa sobre las capas impermeables suprayacentes. Al aumentar la altura piezométrica las presiones de poros hacen que los esfuerzos efectivos disminuyan, de un modo particular en las superficies potenciales de la falla.

4. SOLUCIONES GEOTÉCNICAS PARA MITIGAR LOS DAÑOS CAUSADOS EN

LA ESTABILIDAD DE TALUDES POR LOS EFECTOS DEL CLIMA

Tan pronto se compruebe que hay riesgo de inestabilidad en un determinado talud, se debe buscar la mejor solución y considerar aspectos de costo, naturaleza de las obras afectadas (tanto en la cresta como el pie del talud).

4.1. SISTEMAS DE DRENAJE

Los sistemas de drenaje se realizan con el fin de evacuar el agua de escorrentía y la existente en la capa freática. Localizar los lugares de donde proviene el agua, con la finalidad de tomar las medidas pertinentes para evitar que el material se sature.

Desviar el agua alejándola del relleno, en lo posible con zanjas de coronación, que evacuen el agua hacia los lados del talud sin causar erosión. Proteger la superficie del relleno mediante sistemas de absorción del agua que desequilibre el talud.

Existe también la posibilidad de conectar los drenajes a un sistema de reconducción del agua, para evitar la erosión externa debido al discurrir de la misma por el talud.



Figura 12. Sistema de drenes en un talud [11]

4.2. GEOMANTAS Y BIOMANTAS

Las geomantas son materiales geosintéticos que tienen la función de servir como un sistema de control de erosión en taludes que normalmente carecen de vegetación. Algunas están hechas de polímero y otras de materiales biodegradables, de ahí que se conozcan también como biomantas.

También se utilizan en los taludes de canales naturales para evitar la erosión provocada por el paso del agua. Algunas geomantas de polipropileno poseen protección contra rayos UV.

Una vez que se gesta la vegetación las raíces de pasto quedan atoradas entre la trama de la geomanta.



Figura 13. Estructura y revestimiento artificial con vegetación.

4.3. SIEMBRA DE ESPECIES VEGETALES

Permite generar un ámbito favorable para su implantación, se incorporan semillas junto a fertilizantes, adhesivos, retenedores de humedad y hojarasca, rastrojo, salvando además la dificultad física que representa la altura y verticalidad del talud.



Figura 14. Talud con siembra de especies vegetales en etapa inicial [12]

5. METODOLOGÍA PROPUESTA EN EL ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES ARCILLOSOS TENIENDO EN CUENTA LOS EFECTOS DEL CLIMA.

Se propone un modelo de investigación a largo plazo expuesto en 3 etapas.

ETAPA 1 (Modelamiento del talud en software especializado)

1. Hacer el reconocimiento de la zona donde se encuentra ubicado el talud que va a hacer objeto de la investigación.
2. Realizar levantamiento topográfico con el fin de establecer la geometría del talud que será utilizada para el modelamiento en el software.
3. Tomar muestras inalteradas del suelo y luego por medio de ensayos de laboratorio establecer su granulometría, límite líquido, límite plástico, resistencia del suelo, presión de poros, humedad y densidad.
4. Modelar el talud en el software especializado, en esta metodología se propone utilizar dos software con el fin de obtener la curva de falla y la zona de infiltración del talud.
 - ♦ Software Geo Slope: con este software se podrá determinar la curva de falla que tendrá el talud así mismo el factor de seguridad. Como **valores de entrada** debemos tener: Geometría del talud y características del suelo (halladas con anterioridad mediante los ensayos de laboratorio).
 - ♦ Software Plaxflow: con este software se puede obtener el dato de cuales zonas del talud que presentaran infiltración.

Como **valores de entrada** debemos tener: Geometría del talud, características del suelo, Propiedades hidráulicas, coeficiente de permeabilidad del suelo, evaporación, precipitación de la zona en milímetros (mm) este dato se puede tomar de la página del IDEAM tabla mostrada en la figura 15.

En esta etapa se obtendrá como resultado la curva de falla y las zonas donde se presentara infiltración del talud.

ETAPA 2 (Modelo real del talud, trabajo en campo)

En esta etapa se realiza la toma de muestras del talud teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los modelos de la etapa anterior.

1. Se analizan los resultados obtenidos en el modelo de Geo Slope y Plaxflow y se toman como criterio para determinar en qué lugar se deben tomar las muestras del suelo, las zonas cercanas a la curva de falla y las zonas de mayor infiltración.

2. Para la toma de estas muestras se debe tener en cuenta dos aspectos importantes:
 - ♦ La profundidad a la cual se hace necesario la toma de la muestra: si la muestra está a menos de 2 m de profundidad se hará por apiques, pero si la muestra se encuentra a una profundidad mayor a los 2 metros se realizará por medio de sondeos.
 - ♦ La toma de las muestras se ejecutara en 4 diferentes épocas del año. Para establecer estas épocas es necesario analizar la *figura 15* donde se muestran la precipitación promedio durante el año de acuerdo a la información brindada por el IDEAM.

	PARAMETROS CLIMATICOS				
	Tem max (°C)	Tem min (°C)	Precip. (mm)	Horas de sol	Humedad (%)
ene	30	19	81	151	80
feb	29	19,6	90	116	80
mar	28	18,4	121	107	82
abr	27	17,6	133	106	83
may	27	16	110	91	88
jun	25	15,4	112	90	89
jul	26,1	16	106	86	82
ago	27,4	18,1	103	118	82
sep	28,3	17,1	98	111	83
oct	26,6	18,9	133	114	84
nov	27,2	19	119	133	85
dic	28,5	18,5	73	123	83
ANUAL	27,1	17,5	1279	1346	83,4

Figura 15. Precipitación en la ciudad de Bucaramanga IDEAM

Teniendo en cuenta que en nuestro país no existen las estaciones climáticas, si no que se presentan temporadas de invierno y temporadas de verano es importante establecer las épocas del año en que ocurren estos cambios. Las épocas de invierno se presenta generalmente dentro de los meses de abril a junio y de octubre a diciembre y las épocas de verano en los meses restantes.

Esta aclaración se hace con la finalidad de identificar el momento en el cual se deben tomar las muestras del suelo teniendo claros e identificados estos periodos se realizaran las muestras en el mes más crítico tomando para este análisis el parámetro de la precipitación.

Para la primera época de verano durante el año se tienen los siguientes datos: enero: 81mm, febrero: 90mm, marzo: 121mm. Tomaríamos como el más crítico el mes donde se presenta menos precipitación en tal caso sería ENERO.

Para la primera época de invierno durante el año se tienen los siguientes datos: abril: 133mm, mayo: 110mm, junio: 112mm. Tomaríamos como el más crítico el mes donde se presenta más precipitación en tal caso sería ABRIL.

3. Las muestras tomadas en el transcurso del año se le realizaran estudios de humedad, densidad y resistencia del suelo.
4. Al finalizar el muestreo y las pruebas de laboratorio se hará una comparación y un análisis de los resultados obtenidos (humedad, densidad y resistencia del suelo) para poder establecer cuáles son los cambios existentes en el suelo al pasar del tiempo y así determinar los efectos clima sobre el talud al verse expuesto a los cambios climáticos durante el año de las pruebas.

ETAPA 3 (Modelo a escala del talud)

Se propone realizar un modelo a escala en laboratorio del talud en estudio con la ubicación de sensores estratégicamente para estudiar el proceso de infiltración, presión de poros y desplazamiento en el talud sometido a lluvias.

1. Tomar una cantidad del suelo del talud considerable e inalterado y con ensayos en el laboratorio determinar sus propiedades físicas.
2. Construir una caja en acrílico con las medidas determinadas en el levantamiento topográfico de la ETAPA 1 a una escala conveniente dependiendo el tamaño del talud. Se aconseja que sea en acrílico transparente con el fin de facilitar la observación de los procesos. En su cara frontal en el pie del talud se colocara una malla para que esta permita que el proceso de escurrimiento se lleve a cabo.
3. Parte del suelo será colocado en la caja de acrílico y se compactara con una varilla de apisonamiento con el fin de lograr una distribución natural.
4. Después se colocaran los sensores de poros y de humedad, y luego otra capa de suelo y así sucesivamente hasta obtener la pendiente y las dimensiones del talud deseadas.
5. Después de la preparación de la geometría y la pendiente del talud viene la preparación del sistema de lluvias artificial, se utilizara una tubería de riego por aspersión con el fin

de obtener un riego lateral fino y constante. Con este sistema se puede simular intensidades de lluvia diferente, para tener un criterio de la cantidad de lluvia que se debe aplicar se puede tomar de referencia los datos encontrados en la *figura 15*.

6. Comenzar a aplicar las lluvias con el tiempo y pausas (ciclos de humedecimiento y secado) dependiendo de la información de los parámetros climáticos encontrados en la página del IDEAM.
7. Al terminar los ciclos los resultados obtenidos con los sensores se compararan y se podrá establecer los cambios que ocurren en la época de invierno y verano.
8. Con los resultados obtenidos de los sensores de desplazamiento se podrá comparar con los resultados con la curva de falla mostrada en el Geo Slope.
9. Con los resultados obtenidos en los sensores de infiltración abra un patrón para comparar con el diagrama de Plaxflow y las zonas de mayor infiltración mostradas en este.

6. CONCLUSIONES

- ♦ En la **Etapas 1** se pretende establecer la superficie de falla y la infiltración por medio de software siendo un método que demanda menos tiempo, queriendo evaluar su confiabilidad.
- ♦ En la **Etapas 2** se necesita de más tiempo pero el talud será estudiado en condiciones reales llevando a cabo un proceso de evaluación más exhaustiva.
- ♦ En la **Etapas 3** se quiere hacer el estudio de los efectos del clima bajo las condiciones del laboratorio a un modelo a escala invirtiendo menos tiempo pero integrando la parte tecnológica en la prueba.
- ♦ Con cada una de las etapas de esta metodología se pretende obtener una serie de resultados los cuales podrán ser comparados entre si y establecer la confiabilidad de las pruebas.
- ♦ Es necesario tomar muestras en diferentes épocas del año para así evaluar los efectos del

clima en el talud al ser expuesto a diferentes condiciones climáticas.

- ♦ La finalidad de hacer esta propuesta es dejar abierta la oportunidad para que los estudiantes y la universidad se interesen en hacer más estudios y pruebas generando más propuestas para lograr establecer una metodología y llegar a implementarla como norma en la ingeniería civil.
- ♦ En la bibliografía se encontró que hay tres maneras como se han evaluado los efectos del clima en los taludes, mediante modelos a escala, humedecimiento y secado en el laboratorio y modelando el talud en software especializado.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Ortiz, “Efecto de la saturación en el deslizamiento de talud en la comunidad San Juan de Grijalva, Chiapas The Effect of Saturation on the Slope Sliding,” vol. XIII, pp. 55–68, 2012.
- [2] T. U. García, Edwin, “Study of failure mechanism in embankments induced by rainfall infiltration by monitoring pore water pressures and water contents .,” no. Orense 2003, pp. 125–135, 2007.
- [3] J. R. Torres Camargo, “Estudio experimental de la influencia de ciclos de humedecimiento y secado en los parámetros de resistencia de un suelo en fase I,” pp. 1–118, 2012.
- [4] M. Ortiz and R. R. González, “Análisis del efecto del humedecimiento en la falla de talud en el km 240 + 000 del cuerpo A de la autopista Cuernavaca – Acapulco . Analysis of the effect of wetting on a slope failure in section A Km 240 + 000 of the Cuernavaca-Acapulco highway .,” vol. 3, pp. 17–28, 2009.
- [5] J. Suarez, “Lluvias, Presión de Poros y sus Efectos 7.1,” pp. 233–274.
- [6] L. Tec, (Granada Technical books, “Vegetacion in civil and landscape engineerig,” pp. 275–302, 1974.

- [7] D. F. (universidad nacional de colombia) Narvaez chica, “Análisis de la lluvia como elemento detonante en masa en las comunas atardeceres y macarena sector occidental de la ciudad de Manizales,” 2007.
- [8] republica de venezuela facultad de Ingenieria, “Análisis de la estabilidad de taludes.” [Online]. Available: <https://docs.google.com/document/d/1ty66m8Jn-MhVjbLDSZZ73l7IXEm3NxrM8-MfsNeRiMA/edit?pli=1>.
- [9] J. Suarez, “Erosion.com.co.” .
- [10] D. M. Alvaro F, A. Ing. Silvia, and G. Ing. Maria, “Geología y Geotecnia Tema : Estabilidad de taludes,” 2003.
- [11] rehabilitacion de taludes, “bulcan arte.” [Online]. Available: http://www.bulcanarte.com/esp/servicios_taludes.php.
- [12] “Soluciones especiales.” [Online]. Available: <http://www.solucionesespeciales.com/2011/04/mallas-antierosivas-protecten-taludes.html>.

8. AUTORES



**MARIA MONICA
IBAÑEZ ARCHILA**
Aspirante a Ingeniero
Civil
Universidad Industrial de
Santander
Bucaramanga, Colombia
Monyu18@hotmail.com



**VICTOR ALFONSO
PORRAS DIAZ**
Aspirante a Ingeniero
Civil
Universidad Industrial de
Santander
Bucaramanga, Colombia
vitrolitro@hotmail.com