

Investigación Geotécnica para la estabilización de las laderas del Barrio San Fermín, municipio de Ocaña, departamento de Norte de Santander (Colombia)*

Geotechnical Research for Slope Stabilization at San Fermin Neighborhood, Ocaña City, Norte de Santander Department (Colombia)

Artículo de Investigación Científica. - Fecha de Recepción: 26 de Agosto de 2013 - Fecha de Aceptación: 28 de Octubre de 2013

Romel Jesús Gallardo Amaya

Ingeniero Civil. Especialista en Ingeniería Ambiental. Universidad Francisco de Paula Santander. Ocaña. Norte de Santander, Colombia. rgallardo@ufpso.edu.co

Thomas Edison Guerrero Barbosa

Ingeniero Civil. Magíster en Ingeniería Civil. Universidad Francisco de Paula Santander. Ocaña. Norte de Santander, Colombia. teguerrero@ufpso.edu.co

Agustín Armando Macgregor Torrado

Ingeniero Civil. Especialista en Geotecnia Ambiental. Universidad Francisco de Paula Santander. Ocaña. Norte de Santander, Colombia. aamacgregor@ufpso.edu.co

Para citar este artículo / To reference this article:

R. Gallardo, T. E. Guerrero, and A. Macgregor, "Investigación geotécnica para la estabilización de las laderas del barrio San Fermín, municipio de Ocaña, departamento de Norte de Santander (Colombia)," *INGE CUC*, vol. 9, no. 2, pp. 66–74, 2013.

Resumen: Este documento presenta la investigación geotécnica para la estabilización de la ladera principal del barrio San Fermín del municipio de Ocaña (Norte de Santander, Colombia), cuyo asentamiento está compuesto por familias desplazadas que realizaron varios cortes a dicha ladera sin asesoría técnica y sin implementar sistemas de estabilización, lo cual ha conllevado a que en periodos de lluvias se presenten deslizamientos, que ponen en riesgo la vida de los habitantes y sus bienes económicos. Este estudio se desarrolló bajo las tres premisas fundamentales de la geotecnia: a) trabajos de campo, incluyendo visita previa, topografía, exploración del subsuelo y análisis geológico, b) trabajos de laboratorio para la caracterización físico-mecánica de los perfiles, y c) modelación matemática y análisis de estabilidad implementando la metodología de los factores de valuación y software especializado. Los resultados permitieron establecer las condiciones de estabilidad geotécnica de la ladera y alternativas de solución para los problemas encontrados.

Palabras clave: inestabilidad de laderas, factores de valuación, análisis de estabilidad, proceso constructivo.

Abstract: This paper presents the geotechnical research for the stabilization of the main slopes at San Fermin neighborhood in Ocaña city (Norte de Santander, Colombia), which is a settlement largely composed of displaced families who made a series of cuts on the slopes of this part of the city without any technical advice and without implementing any stabilization systems. This has led to continuous landslides during rainfall periods, hence, putting lives and assets at risk. The study was conducted under the three fundamental premises of geotechnics: a) field work including previous visit, surveying, subsurface exploration and geological analysis, b) laboratory work for a physico-mechanical characterization of soil profiles, and c) mathematical modeling and stability analysis implementing valuation factor methodology and specialized software. The results allowed establishing the conditions for geotechnical stability of the slopes and alternative solutions to the problems encountered.

Keywords: slope instability, valuation factors, stability analysis, constructive process.

* Artículo de investigación científica derivado del proyecto de investigación: "Estabilidad de ladera urbana para el municipio de Ocaña". Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Grupo de Investigación en Geotecnia y Medio Ambiente (GIGMA). Fecha de inicio del proyecto: 15 de julio de 2009. Fecha de finalización: 23 de julio de 2012 (Fase I).

I. INTRODUCCIÓN

En las diferentes regiones montañosas alrededor del mundo el fenómeno de inestabilidad de laderas es un problema común que puede representar una amenaza y riesgo potencial para las comunidades que habitan en esos sitios; este fenómeno tiene impacto directo en las actividades económicas y en muchas de las obras construidas por el hombre; por ejemplo, las edificaciones en los sectores de vivienda, el transporte, las vías de comunicación, los conductos de combustible, los servicios públicos, etc., a menudo son afectados severamente por los desplazamientos que experimenta el terreno durante un movimiento de ladera.

Los primeros signos de inestabilidad de laderas son la aparición de grietas de tracción y hundimientos en la parte superior del talud y en los flancos del movimiento de ladera. Estas grietas pueden llenarse de agua, facilitando la saturación de los suelos con la consiguiente reducción de su resistencia al esfuerzo cortante; al mismo tiempo se incrementan los empujes hidrostáticos que desestabilizan la ladera.

Las excavaciones, la saturación por vertido de agua, las sobrecargas, etc., generan pequeños cambios en la estabilidad del terreno que pueden desencadenar movimientos de ladera, especialmente en aquellos sitios donde ya han ocurrido fallas previamente, buscando un reacomodo del terreno para que este pueda alcanzar un nuevo estado de equilibrio compatible con las nuevas condiciones de cambio.

En esta investigación se buscó establecer las condiciones de inestabilidad de la ladera del barrio San Fermín mediante la implementación del método de los factores de valuación. Para establecer las condiciones de inestabilidad de la zona de estudio fue necesaria la caracterización geológica, topográfica y geotécnica; a partir de dicha caracterización se realizaron los análisis de estabilidad pertinentes, los cuales permitieron el planteamiento de alternativas de solución.

Los problemas de inestabilidad de dicha ladera se deben en parte al inadecuado manejo de aguas residuales, sumado a los cortes en la ladera sin estudio técnico y sin obras de estabilización, a las infiltraciones por malas conexiones de las conducciones de suministro de agua a las casas y al efecto de las lluvias, que ha contribuido a que se presenten diversos problemas por fenómenos de remoción en masa, que han afectado a las viviendas y personas que las habitan. Todo lo anterior ha llevado a que el barrio esté considerado como una zona de amenaza alta y ha impedido en parte su legalización y la posibilidad de acceder a subsidios de vivienda del Estado a las diferentes familias que habitan en el mismo.

II. ZONA DE ESTUDIO

San Fermín es un asentamiento urbano ubicado en la zona suroccidental del municipio de Ocaña (Norte de Santander), como se muestra en la figura 1, a 1200 m. s. n. m.

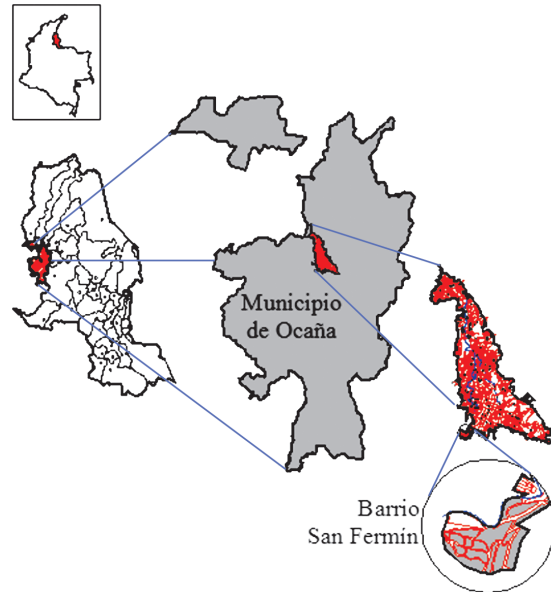


Figura 1. Localización de la zona de estudio
Fuente: PBOT Ocaña - autores [1].

El barrio San Fermín nació como producto de la ocupación de la ladera hacia 1995 y 1996 debido a la falta de vivienda y recursos económicos de los habitantes de la ciudad y al alto índice de desplazamiento de los campesinos por el conflicto existente en la zona rural. Como consecuencia de la utilización inadecuada del suelo se ha puesto en alto riesgo la vida de muchos de los que habitan estas zonas de ladera. Lo que comenzó con una invasión de aproximadamente 20 familias, se ha convertido en una opción de vida para más de 200 familias que hoy conforman el barrio.

El barrio actualmente carece de algunos de los servicios públicos básicos, como abastecimiento y saneamiento, sin embargo, cuenta con energía eléctrica; el déficit en el suministro de agua potable obligó a la comunidad a tomar agua de la línea de aducción de la planta de tratamiento del barrio El Llanito, lo cual genera fugas continuas del líquido sobre la ladera. En lo referente al saneamiento, se implementaron soluciones que no son las más adecuadas, tales como la instalación de una tubería de 6" que descarga las aguas residuales a la parte posterior del barrio y al cauce del río Tejo; esta tubería en su longitud puede presentar fugas, y al igual que los pozos sépticos construidos en los patios de las casas, pueden generar problemas de estabilidad de la ladera por saturación del suelo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Con el ánimo de poder realizar la modelación y evaluación cualitativa de la estabilidad de la ladera, para posteriormente proponer alternativas constructivas de estabilización, y con ello dar cumplimiento a

los objetivos propuestos en la investigación, se desarrollaron las siguientes actividades:

A. Estudio topográfico

El trabajo topográfico de campo consistió en el levantamiento de un conjunto de 468 puntos con tamaño de cuadrícula de 5 m x 5 m y varias secciones transversales sobre el área de la ladera afectada. Se utilizó una estación total, la cual facilitó la obtención de las coordenadas y cotas de los respectivos puntos. El objetivo primordial de esta actividad fue generar un modelo de elevación digital para posteriormente obtener el mapa de pendientes, con el cual fue posible caracterizar morfológicamente la zona de estudio, tal y como se muestra en la figura 2.

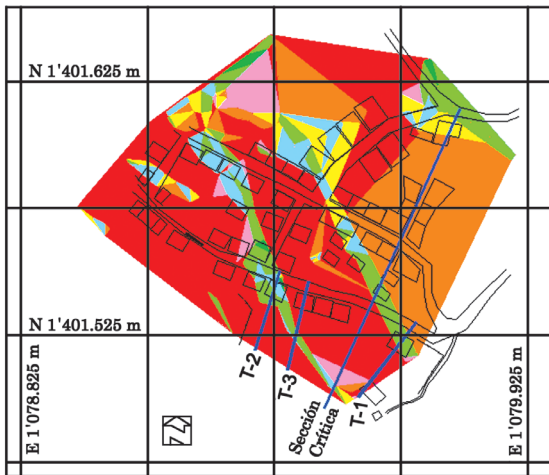


Figura 2. Mapa de pendientes
Fuente: Elaboración propia.

A partir del mapa de pendientes se estableció el perfil de la sección transversal crítica y los perfiles de los taludes (T1, T2 y T3) que han presentado o tienen susceptibilidad de presentar deslizamientos. La zonificación de pendientes se presenta en la tabla 1, la cual fue generada a partir del mapa de pendientes. El área total caracterizada corresponde a 12 235, 32 m².

TABLA I. ZONIFICACIÓN DE PENDIENTES

SÍMBOLO	PEND (%)	ÁREA (m ²)
	0,00 - 2,00	71,76
	2,00 - 10,00	1.284,32
	10,00 - 18,00	810,98
	18,00 - 28,00	735,96
	28,00 - 34,00	3.645,81
	34,00 - 40,00	593,98
	> 40,00	5.092,51

Fuente: Elaboración propia.

B. Estudio geológico

Con respecto a la geología regional de la zona, se consultó la Carta Cronoestratigráfica de Colombia [2], la cual arrojó que en la región de Ocaña se encuentran dos formaciones importantes: una de carácter sedimentario, conocida como la Formación Algodonal, perteneciente al Terciario, conformada por conglomerados poco consolidados, arcillolitas y limolitas, y la otra de carácter ígneo conocida como el Complejo intrusivo - extrusivo (Jci), que forma parte del complejo ígneo, metamórfico denominado “Macizo Santander” e incluye rocas ígneas del Jurásico-Triásico (entre 144 y 245 Ma). Este último constituido por una fase intrusiva cuya composición predominante es cuarzo - monzonita, pórfidos riolíticos, diques básicos de diabasas y basalto; también incluye material piroclástico con presencia de toba, brechas y aglomerado.

El perfil estratigráfico se definió a partir de la observación directa de un corte vertical producto de una futura construcción urbana de aproximadamente 3.5 m de altura, donde se observa la roca ígnea y su perfil de suelo natural desarrollado en la parte superior. Posiblemente existe una pequeña fracción de la Formación Algodonal, la cual cubre parte de la ladera y la roca ígnea. También existen localmente una serie de depósitos arcillosos de tipo antrópico, identificable por la presencia de materiales plásticos y esparcidos de forma irregular sobre la ladera, posiblemente debidos a movimiento de material de escombros.

La descripción litológica detallada de los materiales se muestra en la tabla 2.

La geomorfología del lugar corresponde a cerros moderadamente empinados de forma irregular y ondulada asociados a sistemas cordilleranos. La ladera del cerro es bastante empinada, con pendientes entre 45 y 65°. La ladera presenta microrrelieves, una parte por la erosión natural y otra por la intensa y desordenada urbanización del lugar. Generalmente, la tendencia de inclinación es 37° N - NW. En la figura 3 se muestra el perfil de la sección crítica de la ladera.

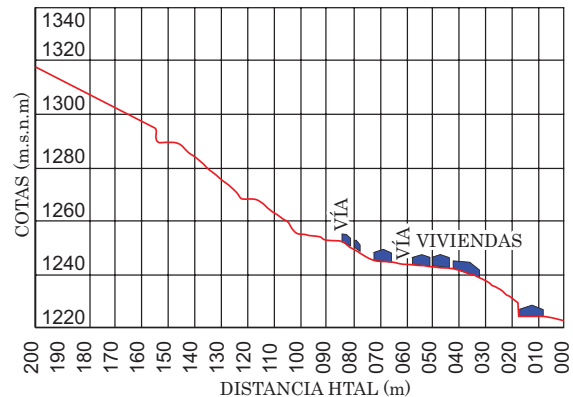


Figura 3. Perfil sección crítica de la ladera
Fuente: Elaboración propia.

TABLA II. DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

Estrato	Descripción litológica
Suelo residual	Suelo arcilloso color pardo oscuro con inclusiones de materia orgánica y raíces; en menor proporción clastos de la roca parental. Espesor relativamente homogéneo de 1.0 a 2.5 m.
Roca ígnea	Roca cristalina con textura fanerítica, donde se reconocen a simple vista sus minerales primarios, como la biotita, cuarzo y plagioclasa, pero de forma irregular. Presenta pequeñas fracturas rellenas de silicatos. El grado de meteorización que la afecta es regular a alto. No se observan diaclasas ni fallas que representen algún problema de tipo estructural para el macizo rocoso.

Fuente: Elaboración propia.

C. Estudio geotécnico

Se realizaron sondeos y calicatas en la parte baja, media y alta de la ladera. Los sitios para la realización de los apiques y sondeos para la obtención de las diferentes muestras alteradas e inalteradas se realizaron en sectores donde se lograra realizar una descripción visual de los estratos y tomar medidas de los mismos. Se aplicó la prueba de penetración estándar en la parte baja, media y alta de la ladera [3].

En la tabla 3 se muestran los valores obtenidos para algunos de los parámetros evaluados mediante ensayos de laboratorio.

TABLA III. RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO SUELOS ENCONTRADOS

Parámetro	Valor
Humedad Natural (%)	Mín.=10.19 % Máx.=27.14 %
Gravedad Específica (Gs)	Mín.= 2.57 Max=2.72
ϕ' suelos perfil crítico y parte baja de ladera	33.26°
ϕ' suelos parte baja de ladera	31.78°
Cohesión efectiva suelos perfil crítico y parte baja de la ladera	37.10 kPa
Cohesión suelos parte media de la ladera	23.52 kPa
Clasificación suelos (SUCS)	SC
Peso unit. húmedo (γ_m)	Mín.=19.15 kPa Máx.=19.60 kPa
Peso volumétrico aparente (roca) (γ)	24.53 kN/m ³
Resistencia compresión simple (roca) (q_u)	$q_u = 45.69$ MPa

Fuente: Elaboración propia.

IV. CÁLCULO DE ESTABILIDAD

El cálculo de estabilidad de una ladera arroja como resultados el factor de seguridad (FS) contra el deslizamiento y la ubicación y geometría de la superficie de rotura [4], a partir de la cual se puede conocer el volumen de suelo y roca en inminente falla o movimiento. El término “superficie de falla” se utiliza para referirse a una superficie asumida a lo largo de la cual pue-

de ocurrir el deslizamiento o rotura del talud. El FS se asume que es igual para todos los puntos a lo largo de la superficie de falla, por lo tanto representa un promedio del valor total. Generalmente se evalúa un gran número de superficies de falla para encontrar la superficie de falla con el valor mínimo de factor de seguridad, la cual se denomina “superficie crítica de falla”. Esta superficie crítica de falla es la superficie más probable para que se produzca el deslizamiento. Sin embargo, pueden existir otras superficies de falla con factores de seguridad ligeramente mayores, los cuales también se requiere tener en cuenta para el análisis [5]. Para esta investigación se realizaron los análisis de estabilidad para una sección crítica de falla de la ladera y 3 taludes (ver figura 2), que aunque no correspondían a los críticos, son, a criterio de los investigadores, susceptibles a deslizamientos, y de allí la importancia de su análisis.

El FS es empleado en estabilidad de taludes para conocer cuál es el nivel de amenaza, si se presenta la falla del talud en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. El FS [6] se conoce como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:

$$FS = \left(\frac{\text{Resistencia al corte disponible}}{\text{Esfuerzo cortante actuante}} \right)$$

En laderas y taludes suelen adoptarse valores que oscilan entre 1,2 y 1,5 [7], o incluso superiores cuando las fallas asociadas a deslizamientos pueden causar daños a la población y sus bienes económicos; esto también dependiendo de la confianza que se tenga en los datos geotécnicos, así como en la información disponible sobre los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la estabilidad.

Se procedió a realizar el respectivo análisis de estabilidad para el perfil crítico y los 3 taludes adicionales, en los cuales fue posible estudiar las condiciones de suelos saturados y no saturados, combinando los anteriores estados con las condiciones estáticas y dinámicas. La condición crítica se encontró, como era de esperarse, para el análisis saturado (nivel freático en la superficie del terreno) y condición pseudoestática, considerando una aceleración de cálculo de 0.2 g, la cual es la correspondiente al municipio de Ocaña de acuerdo con el apéndice A-4 de la NSR-10.

Igualmente se evaluó la anterior condición bajo el método de Taylor [8], el cual considera la cohesión y el ángulo de fricción obtenido correspondiente a los valores más críticos probables que pueden adoptar los suelos de este sector.

En la tabla 4 se muestran los resultados del análisis geotécnico de estabilidad realizado sobre el perfil crítico y los 3 taludes adicionales, con su respectivo FS estimado y la condición de estabilidad.

Para cada uno de las situaciones analizadas se estimaron 4 Factores de Seguridad a partir de metodologías diferentes: Fellenius, Bishop, Janbu y Spencer.

INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LAS LADERAS DEL BARRIO SAN FERMÍN, MUNICIPIO DE OCAÑA, DEPARTAMENTO DE NORTE DE SANTANDER (COLOMBIA)

TABLA IV. RESULTADOS DEL ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE ESTABILIDAD

SUPERFICIE	FS	CONDICIÓN
Perfil crítico ¹	0,351 a 0,434	Inestable
Perfil crítico -Taylor ²	0,92 y 0,72	Inestable
Talud 2 ¹	0,959 a 0,960	Inestable
Talud 3 ¹	1,083 a 1,094	Estable ⁴
Talud 2 - Taylor ¹	0,924 a 0,942	Inestable
Talud 3 - Taylor ¹	0,707 a 0,717	Inestable
Perfil crítico con obras de estabilización ³	1,216	Estable
Talud 2 con obras de estabilización ¹	1,572 a 1,915	Estable
Talud 3 con obras de estabilización ¹	1,234 a 1,239	Estable

Fuente: Elaboración propia.

Un aspecto relevante de la investigación fueron los resultados del análisis de estabilidad de la ladera con procesos constructivos de estabilización [9], en los cuales se propone un muro de 4 m de altura apoyado sobre pilotes cortos de 2 m de longitud y considerando la cohesión y el ángulo de fricción del suelo obtenidos en pruebas de corte directo en material no saturado. Se propone además evitar la saturación del material mediante elementos de drenaje y protección superficial del suelo. Tomando como base estas premisas se evaluó la estabilidad del talud utilizando los parámetros de resistencia obtenidos en los ensayos de corte directo en condición CD. En la figura 4 se muestra gráficamente el análisis realizado bajo las condiciones descritas.

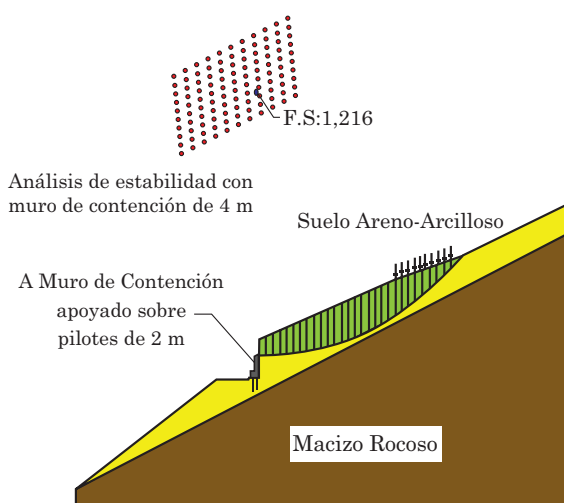


Figura 4. Análisis de estabilidad talud crítico con muro de contención. Condición pseudoestática, método de Bishop
Fuente: Elaboración propia.

1 Rango del FS correspondiente al menor y mayor valor estimado por las metodologías de Fellenius, Bishop, Janbu y Spencer.

2 FS estimado para las condiciones estáticas y dinámicas, respectivamente.

3 Estimado aplicando un factor de reducción del 30% para tomar en cuenta las limitantes de la prueba de corte directo (superficie de falla horizontal obligada).

4 NSR-10. Tabla H.2.4-1 Factores de Seguridad Básicos Mínimos Directos.

V. EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA ESTABILIDAD DE LA LADERA MEDIANTE FACTORES DE VALUACIÓN

En la naturaleza existen factores que condicionan la estabilidad de una ladera y otros que la alteran; a estos se les llama “factores condicionantes y desencadenantes de la estabilidad” [10]. En la tabla 5 se presentan los factores que influyen en la inestabilidad de las laderas en el sitio de estudio.

TABLA V. FACTORES IDENTIFICADOS EN LAS LADERAS DE SAN FERMÍN

TIPO DE FACTOR	FACTOR	DETALLE
Condicionante	Litológico	Presenta materiales muy meteorizados.
	Hidrológico	Alternancia de estratos de diferentes permeabilidades.
	Topográfico	Pendientes mayores al 15.
	Vegetación	Escasez de vegetación que fije el terreno.
Factores desencadenantes	Naturales	Sismos Precipitaciones.
Factores desencadenantes	Inducidos	Aumento del peso del talud por construcciones.
	Inducidos	Excavaciones al pie del talud.

Fuente: [5].

A. Determinación de los factores de valuación

La evaluación cualitativa del proyecto y sus factores de valuación [11] se describen con el propósito de determinar las características intrínsecas, incluyendo: morfología, topografía, geología, mecánica de suelos, hidrogeología y vegetación, las características regionales del sitio: climatología, sismicidad, erosión y socavación, características del suelo superficial, área de la cuenca, características del sistema de drenaje, influencia de la actividad humana y el cálculo de la estabilidad (superficie de rotura, factor de seguridad), factor que para este caso se evalúa tanto para la sección crítica de la ladera como para los taludes críticos 2 y 3, promediando el factor de valuación de los 3 casos. El resto de factores solo aplica para la sección más crítica de la ladera. Para esta evaluación cualitativa se determina un índice variable entre 0 y 1, que indica el nivel de influencia de cada factor en la estabilidad; 1 significa que influye en gran medida y 0 que no influye. Además se definen los intervalos y sus niveles de influencia consignados en la tabla 6. Dependiendo del intervalo en el que se encuentre cada

factor de valuación se establece la prioridad con que se deben implementar las obras que se recomiendan en la tabla 10. Es de aclarar que los procesos constructivos se plantean de acuerdo con lo relacionado en la literatura y experiencias adquiridas en estabilización de taludes; el valor del factor de influencia sirve como criterio para evidenciar cuál es la condición que más afectación tiene sobre la estabilidad y, por ende, a la que se le debe dar mayor relevancia a la hora de plantear los procesos constructivos.

Una vez evaluados todos los factores, se realiza un resumen, se identifica su nivel de influencia y se toman las respectivas consideraciones con el fin de realizar la selección de procesos constructivos y la elaboración de propuestas de estabilización más adecuadas desde el punto de vista técnico-económico, para mejorar el comportamiento de una ladera;

lo anterior aplicado a cada factor de valuación por separado.

TABLA VI. INTERVALOS Y NIVEL DE INFLUENCIA DE LOS FACTORES DE VALUACIÓN

Factor de valuación	Nivel de influencia	Consideraciones
< 0.5	Bajo	No tiene problemas
0.5 - 0.75	Medio	Requiere atención
> 0.75	Alto	Atención urgente

Fuente: [5].

En las tablas 7 a 9 se presentan los resúmenes de los factores de valuación, su valor medio e intervalo de influencia del perfil crítico y de dos taludes de la ladera en el barrio San Fermín.

TABLA VII. RESUMEN DE FACTORES DE VALUACIÓN PERFIL CRÍTICO

Características intrínsecas de la ladera		Factor de Valuación	Valor Medio	Intervalo de Influencia
Morfología y topografía	Altura de la ladera H=34,64m	$f_{mt} = \text{sen}\beta$	0,7	Medio
	Inclinación máx. ladera $\beta=37,06^\circ$			
Geología	Pliegues inclinados hacia la ladera: no hay	-----	0,59	Medio
	Fracturación roca: fracturas cada 20 a 30 cm	0,88		
	Meteorización química: intensa	$f_g = 0,75$ (utiliza el mayor)		
	Meteorización física: intensa	$f_g = 0,58$ (utiliza el mayor)		
	Peso volumétrico aparente $\gamma = 24.53 \text{ kN/m}^3$	$f = 0,16$		
Resistencia compresión simple $q_u = 45.69 \text{ MPa}$	$f = 0,56$			
Mecánica suelos	Suelo friccionante (SC)	$f_{ms} = 1,0$	1	Alto
Hidrogeología	Grado de saturación del suelo (S)	$f_h = S * \text{sen}\beta = 0,66$	0,455	Medio
	Espesor del suelo	$f_h = 0,25$		
Vegetación	Tipo : arbusto	0,33	0,58	Medio
	Densidad follaje: poco	0,70		
	Área cubierta: 1/4	0,75		
	Profundidad raíz: superficial	0,52		
Climatología	Temperatura media anual: 22 ° C	$f_{ll} = 0,33$	0,33	Bajo
	Precipitación promedio anual P=1000-2000 mm			
Sismicidad	Clasificación: intermedia	$f_s = 0,23$	0,23	Bajo
	Coefficiente de aceleración sísmico Aa=0,20g			
Erosión y socavación	Infiltración del terreno	$f = 0,54$	0,27	Bajo
	Área de la cuenca	$f = 0,18$		
	Densidad de drenaje	$f = 0,1$		
Actividad humana	Cortes o excavaciones: no estabilizados	$f = 1,0$	0,58	Medio
	Densidad de población: 196 hab/km ² , casas de 1 piso	$f = 0,25$		
	Deforestación: leve	$f = 0,50$		
Estabilidad	Superficie de rotura	$f = 0,5$	0,71	Medio
	Factor de seguridad	$f = 0,92$		

Fuente: Elaboración propia.

INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LAS LADERAS DEL BARRIO SAN FERMÍN, MUNICIPIO DE OCAÑA, DEPARTAMENTO DE NORTE DE SANTANDER (COLOMBIA)

TABLA VIII. RESUMEN DE FACTORES DE VALUACIÓN TALUD 2

Características intrínsecas de la ladera		Factor de Valuación	Valor Medio	Intervalo de Influencia
Estabilidad	Superficie de rotura	f = 0.5	0.75	Alto
	Factor de seguridad	f = 1		

Fuente: Elaboración propia.

TABLA IX. RESUMEN DE FACTORES DE VALUACIÓN TALUD 3

Características intrínsecas de la ladera		Factor de Valuación	Valor Medio	Intervalo de Influencia
Estabilidad	Superficie de rotura	f = 0.5	0.75	Alto
	Factor de seguridad	f = 1		

Fuente: Elaboración propia.

II. PROPUESTAS CONSTRUCTIVAS DE ESTABILIZACIÓN

Los procesos constructivos tienen como objetivo mejorar la estabilidad de una ladera modificando ciertas condiciones que la hacen vulnerable. En los problemas de inestabilidad de laderas es común que se conjuguen varios factores o circunstancias que dan origen a un comportamiento crítico, por lo que es muy probable que se requiera también una combinación de procesos constructivos para atender el problema y evitar una condición de riesgo. En la tabla 10 se presenta la matriz que facilita la selección de los procesos construc-

tivos más adecuados para resolver los problemas de inestabilidad de laderas, ya que correlaciona dichos procesos con los factores que influyen en la estabilidad (condicionantes y desencadenantes).

A. Detalles de los procesos constructivos de estabilización

Tomando como base la matriz anterior se elaboró la tabla 11 de los procesos constructivos propuestos para la parte alta de la ladera principal del barrio San Fermín.

TABLA X. MATRIZ DE CORRELACIÓN ENTRE FACTORES QUE INCIDEN EN LA ESTABILIDAD Y PROCESOS CONSTRUCTIVOS

Factores condicionantes y desencadenantes	Características de la ladera																					
	Características de la ladera	Morfología	x	x	x	x																
	Geología									x	x								x			
	Suelos					x	x	x	x	x	x	x								x	x	x
	Hidrología					x	x	x	x	x										x	x	x
	Vegetación																			x	x	x
Características de la región	Lluvia					x	x	x	x	x												
	Terremotos										x	x	x	x	x	x	x	x				
	Vulcanismo		x		x														x			
	Erosión					x							x						x		x	x
	Actividad humana										x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
Análisis de estabilidad	Superficie rotura	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
	Factor de seguridad	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
	Abatimiento																					
	Remoción																					
	Terrazas																					
	Contrapesos																					
	Zanjas																					
	Drenes Horiz.																					
	Pozos																					
	Pantallas																					
	Galerías																					
	Pilotes																					
	Pantallas Ancladas																					
	Gravedad																					
	Cantilever																					
	Contrafuerte																					
	Tierra Armada																					
	Celulares																					
	Gaviones																					
	Mallas Metálicas																					
	Concreto Lanzado																					
	Geosintéticos																					
	Vegetation																					
	Rectificación geométrica																					
	Elementos de drenaje																					
	Refuerzo																					
	Muros de contención																					
	Protección superficial																					
	Procesos constructivos de estabilización																					

Fuente: Elaboración propia.

TABLA XI. PROCESOS CONSTRUCTIVOS PROPUESTOS PARA LA LADERA PRINCIPAL DEL BARRIO SAN FERMÍN

Proceso constructivo	Tipo	Parámetros característicos de diseño	Especificaciones	Objetivos
Elementos de drenaje	Cuneta transversal de drenaje	Precipitación máxima: 100 mm/hr. Área captación: 1 ha (100 x 100 m) Vol. lluvia: 1000 m ³ Gasto diseño: 0.28 m ³ /s	Sección rectangular. Ancho interior canal: 60 cm Altura interior: 40 cm Pendiente: 3 a 5 por mil Material: mampostería 20 cm de espesor o concreto 10 cm de espesor reforzado malla 6 x 6	Captar y conducir la escorrentía superficial que baja de la ladera
	Bajantes tipo escalinata confinadas entre muretes	Gasto máximo: 1.12 m ³ /s	Ancho mínimo de calle: 3 m Contrahuella escalón: 25 a 30 cm Huella escalón: 30 a 35 cm Altura murete: 60 a 70 cm Material: mampostería o concreto reforzado malla 6 x 6	Captar el agua de los canales transversales y bajarla; además servir de escalinatas para el tránsito peatonal
Muros de contención	Contrafuertes de 1m de altura combinado con mampostería a 4m de altura	Altura máx. talud: 6 m Inclinación corte: 90° Sobrecarga : 10 Kpa Cohesión suelo: 26 Kpa * Ángulo fricción: 23.3° *	Muro contrafuertes de concreto armado apoyado en pilotes cortos; profundidad desplante zarpa sobre pilotes: 30 cm; ancho cimentación: 1m, altura zarpa: 30 cm; altura muro: 1m; espesor muro y contrafuertes: 25 cm; espaciamiento contrafuertes: 1.5 m	Contener la masa de suelo en riesgo de deslizarse
			Muro de mampostería apoyado en muro de contrafuertes: Base del muro: 1m; altura: 4m; corona: 50cm	
			Drenes longitudinales o transversales	Drenar el agua del respaldo del muro de contención
			Pilotes cortos concreto armado, 2 m largo 2 pilotes de compresión de 25 cm diámetro/ml de muro 2 pilotes de tracción de 25 cm diámetro/ml de muro	Absorber cortantes y momentos flexionantes que no puede resistir el muro de contención
Rectificación geométrica	Abatimiento del talud arriba muro	Altura terreno arriba muro: 2 m; inclinación talud: 45°	Corte del terreno arriba de la corona del muro de mampostería	Aumentar el Factor de seguridad
Protección superficial	Revegetación de la ladera	Pastos y arbustos originarios de la región	Protección con biomanto e hidrosiembra	Reducir la velocidad de escurrimiento de agua y evitar la erosión
Notas: * Parámetros resistentes correspondientes a suelo no saturado con factor de reducción del 30 (c= 37.1 x 0.7= 26 kPa; φ = 33.3° x 0.7= 23.3°)				

Fuente: Elaboración propia.

II. CONCLUSIONES

Se realizó una descripción de los suelos de la zona de estudio. En la ladera predominan los suelos arenos arcillosos, con espesores entre 2.5 a 4.0 m, seguido del macizo rocoso de la formación ígnea.

Los procesos constructivos de las viviendas del barrio San Fermín se han ejecutado sin ninguna asesoría técnica, lo cual pone en riesgo la estabilidad de algunos sectores de la ladera.

Se encontró que la población que habita en el sector estudiado tiene un total desconocimiento de los niveles de riesgo a los que está expuesta; por ello se realizaron campañas de sensibilización a la comunidad, las cuales se basaron en exponer los riesgos y acciones preventivas.

La vegetación encontrada en la ladera no favorece la estabilidad de misma, ya que en su mayoría esta compuesta por plantas con raíces someras (superficiales).

Realizado un análisis cuantitativo con el *software* SLOPE/W se determinaron los sectores que presentan amenaza al deslizamiento y todos los sectores más intervenidos de la ladera están en condición inestable.

Realizado el análisis cualitativo de la estabilidad de la ladera mediante factores de valuación, se logró establecer el grado de prioridad con que se deben implementar obras de estabilización de acuerdo con cada factor de valuación, con el fin de reducir los niveles de riesgo que estos aportan.

III. RECOMENDACIONES

A los propietarios de las casas ubicadas en la parte media de la ladera se les recomienda construir un muro de contención aligerado con muro de ladrillo doble debido al riesgo de remoción en masa que presenta la misma; de igual manera, se deben realizar terracedos en la parte alta de la ladera que permitan aumentar el factor de seguridad.

En las zonas donde actualmente no existe cobertura vegetal es necesario realizar revegetación y recuperación de coberturas con árboles de raíz de más de 3 m que atraviesen el suelo residual que se está deslizando y lleguen al macizo rocoso. Como parte de la acción inmediata, se recomienda la siembra de pasto estrella con objeto de evitar procesos erosivos que incrementan los niveles de susceptibilidad de algunos sectores de la ladera.

Controlar los cultivos de plátano, dado que en zonas donde se siembra este tipo de vegetación se concentra mucha humedad, y ello favorece el deslizamiento de masas de suelo.

Se recomienda realizar acciones de mitigación mediante obras de protección y control, como: construcción de disipadores de energía tipo escalinata que cumplan las funciones de gradas peatonales y a la vez sirvan de canales de aguas lluvias. De igual manera, construir muros en concreto reforzado tipo pantalla a cada uno de los lados de los disipadores tipo escalinata; muros de contención de contrafuertes apoyados sobre pilotes cortos de tracción/compresión; cuentas transversales de drenaje que entreguen a las gradas disipadoras y revegetación con biomanto e hidro-siembra.

IV. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus más sentidos agradecimientos al doctor Oscar A. Cuanalo Campos (profesor e investigador de la Facultad de Ingeniería BUAP) y al doctor Aldo O. Oliva González (director de Investigación de la Universidad de las Californias Internacional, UDCI) por sus importantes e invaluable aportes en la finalización de esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] Ocaña, Concejo Municipal. Plan Básico de Ordenamiento Territorial [PBOT], 2002.
- [2] Ingeominas. *Mapa Geológico de Colombia*, diciembre de 2011. Available: <http://www.ingegominas.gov.co/Geoportal/Visor-de-mapas/Mapa-Geologico-de-Colombia.aspx>
- [3] D. Braja, *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México: Thomson Learning, 2001.
- [4] H. Winterkorn and H. Fang, *Foundation engineering handbook*, 2nd ed. USA: Van Nostrand Reinhold, 1990, pp. 379-406, 410-435.
- [5] O. Cuanalo, A. Oliva y C. González, Estabilidad de laderas. Análisis mediante factores de valuación. *IngeoPres* (España), vol. 164, n° 4, pp. 38-44, 2007.
- [6] W. Fellenius, Statens Järnvägars Geotekniska Kommission, Stockholm, Sweden, 1922.
- [7] CDMB [Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga], *Normas técnicas para el control de erosión y para la realización de estudios geológicos, geotécnicos e hidrológicos*. Bucaramanga, 2002, p. 13.
- [8] D. W. Taylor, *Fundamentos de mecánica de suelos*. México, 1969.
- [9] O. Cuanalo, A. Oliva y R. Gallardo, Inestabilidad de laderas. Procesos constructivos de estabilización. México, 2012.
- [10] Biología Temario. Movimientos de Laderas, junio de 2011. Available: http://www.iesae.com/documentos/biologiaTemarioCTMA/1304.MOVIMIENTOS_DE_LADERAS.pdf
- [11] O. Cuanalo, "Metodología para la selección de procesos constructivos empleados en estabilizar deslizamientos de laderas", tesis doctoral, Facultad de Construcciones, Universidad Central de Las Villas, Cuba, 2004.