

Una propuesta para realizar la evaluación inicial de procesos de reptación del suelo a través de la inclinación de individuos arbóreos y su respectiva georreferenciación

A Proposal to Conduct the Initial Evaluation of Soil Creeping Processes through the Inclination of Tree Individuals and Their Respective Georeferencing

César Giovanni Álvarez Abril ^a

Ingeniero Agrónomo, M. Sc Ciencias Agrarias, Profesor de la Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", Colombia
cgalvareza@udistrital.edu.co | <https://orcid.org/0009-0009-1566-1681>

Citation: Álvarez Abril, C. G. (2024). Una propuesta para realizar la evaluación inicial de procesos de reptación del suelo a través de la inclinación de individuos arbóreos y su respectiva georreferenciación. *Mutis*, 14(2). 1- 10.
<https://doi.org/10.21789/22561498.2058>

Recibido: 2 de noviembre de 2023
Aceptado: 30 de septiembre de 2024

Copyright: © 2024 por los autores. Licenciado para *Mutis*. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

RESUMEN

Este estudio involucró la evaluación de la inclinación de individuos arbóreos de una muestra del 13% del inventario forestal en el globo B de la sede Vivero de la Universidad Distrital en Bogotá, con el fin de evidenciar procesos de reptación. Se utilizó un formulario en para registrar los datos y se creó una imagen para visualizar la inclinación de los árboles en el terreno. Se realizó una regresión lineal para analizar la posible relación entre la inclinación de los árboles y la pendiente local del terreno, encontrando baja correlación. Se implementó una escala de calificación para clasificar la inclinación de los árboles en "Leve," "Media" y "Alta", complementando esta información con recorridos adicionales para detectar evidencias de inclinación anómala en estructuras civiles y se tomaron fotografías para respaldar estas observaciones. Los resultados proporcionan una visión detallada de la inclinación de los árboles en el área y su relación con la topografía circundante, lo que podría ser relevante para realizar una evaluación inicial, sencilla y económica de procesos de reptación que no son particularmente evidentes.

Palabras clave: proceso de reptación; inclinación del fuste; pendiente local del terreno; clinómetro; metodología inicial de evaluación de remoción; ciencias naturales.

ABSTRACT

For this study, the inclination of tree individuals in a sample of 13% of the forest inventory in globe B of the Vivero headquarters of Universidad Distrital in Bogotá was evaluated, in order to evidence creeping processes. A form was used to record data and an image was created to visualize the inclination of the trees in the field. A linear regression was used to analyze the possible relationship between the inclination of the trees and the local slope of the terrain, and the correlation found was low. With a scale, the inclination of the trees was classified as "slight," "medium" and "high" and this information was complemented with additional surveys to detect evidence of anomalous inclination in civil structures. Photographs were taken to support these observations. The results provide a detailed view of the inclination of the trees in the area and its relationship with the surrounding

topography, which could be relevant to perform an initial, simple, and inexpensive evaluation of creeping processes that are not particularly evident.

Keywords: Creeping process; Stem inclination; Local ground slope; Clinometer; Initial removal assessment methodology; Natural sciences.

INTRODUCCIÓN

Los procesos de reptación del suelo se definen como procesos generalizados de movimiento o remoción de suelo que suceden de manera muy lenta, por lo cual debe observarse su ocurrencia a través de sus efectos, tales como la inclinación de árboles, cercados, postes eléctricos o deterioro progresivo de estructuras civiles (Tarbuck, 2005). Autores como Duque y Escobar (2022) consideran que la reptación es una modalidad de deslizamiento traslacional en las que las masas de material se desplazan a lo largo de una superficie de rotura que puede ser plana u ondulada, para luego deslizarse sobre la superficie del terreno y continuar si la pendiente es suficientemente fuerte. Si bien la literatura relacionada muestra abundante información sobre las causas y factores que propician o explican la reptación, no se encuentra una metodología sencilla que permita hacer una evaluación inicial o, bien, una “foto” de cómo se encuentra el fenómeno en un momento determinado. En ese sentido, existen formularios como los del Servicio Geológico Nacional incluidos en la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo (Servicio Geológico Colombiano, 2016) y citados por Cedeño y Vela (2020), que centran su atención en las características morfométricas de cada evento de remoción (longitud del fenómeno, pendiente de ladera en prefalla, en posfalla, azimut del talud, volumen desplazado, entre otras variables); e igualmente, se encuentran metodologías detalladas para evaluar la ocurrencia o no de factores predisponentes tanto en la condición original o inherente (composición y fábrica textural), factores externos de tipo natural (principalmente climáticos, pero también sísmicos) y los factores externos de tipo antrópico (Escobar, 2022), que concurren en los deslizamientos. Sin embargo, no se encuentra una evaluación “ex-ante” sistemática que permita afirmar con cierto rigor que el proceso se está dando en un área determinada, aunque es verdad que intervenciones detalladas para caracterizar el fenómeno se dan luego de hacer aproximaciones visuales de la ocurrencia de inclinación de árboles, postes y demás estructuras. En ese sentido, esta metodología se propone para hacer una primera aproximación al fenómeno de reptación que permita tomar decisiones en torno a si se justifica o no hacer evaluaciones más detalladas (como las que plantea Suárez Díaz (1998) en su texto de taludes para la zona tropical o, incluso, tomar medidas de control.

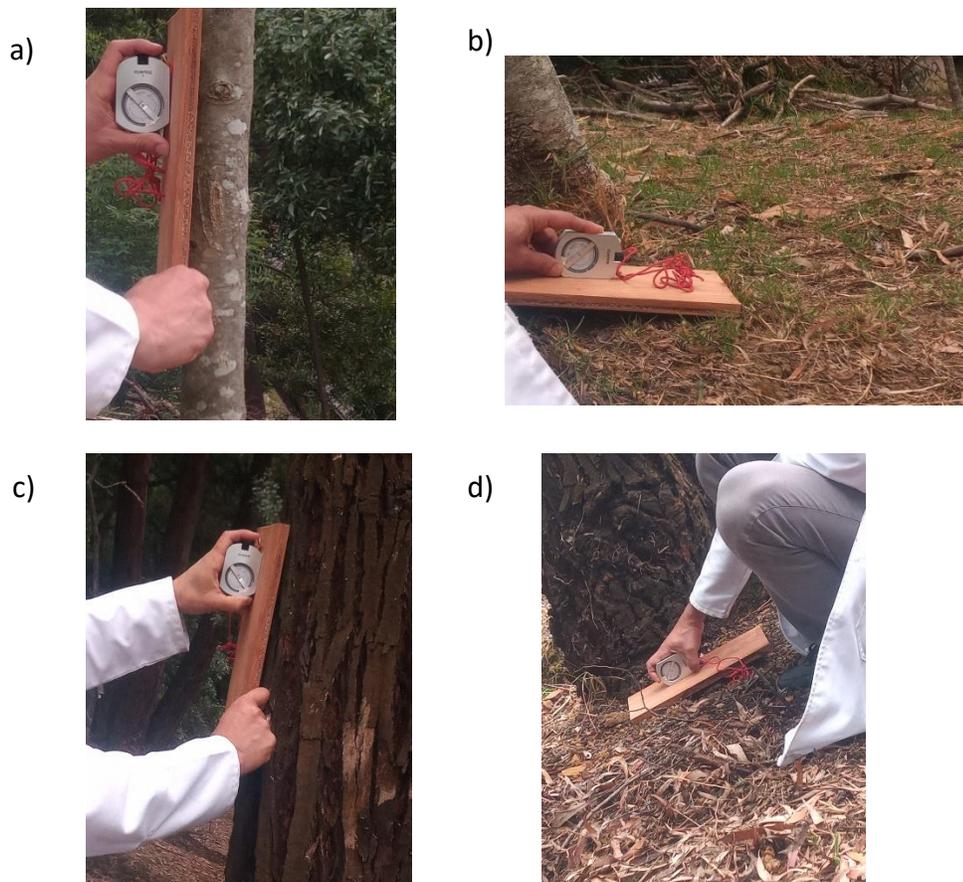
Así mismo fue el interés particular de este trabajo probar si existía alguna relación entre el grado de inclinación de cada individuo y la pendiente *local* en donde dicho árbol se encontraba, en el entendido de que, aunque hay un marco general de pendiente predominante en toda área a ser evaluada, se presentan variaciones microtopográficas que se separan de la tendencia general, sobre todo cuando la forma de la pendiente es compleja. Por otra parte, la evaluación general de la pendiente fue útil para validar lo planteado por Castellanos et al, (2022) quienes encontraron una relación entre el grado de inclinación de las laderas y la modalidad predominante de remoción en masa y, por otra parte, evaluar si el fenómeno reptativo pudiera ser susceptible de ser modelado en función de la inclinación del terreno en futuros trabajos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó la evaluación de la inclinación del fuste de 75 individuos arbóreos seleccionados al azar en el globo B de la sede Vivero de la Universidad Distrital ubicada en los cerros orientales de la ciudad de Bogotá en el sector donde nace la carretera que conduce al vecino municipio de Choachí. Este número de individuos corresponde al 13% de la población total de individuos presentes de acuerdo con el trabajo de actualización del inventario forestal realizado por Pardo y Rodríguez (2021), quienes encontraron un total de 576 individuos arbóreos y señalaron, además, la existencia de 96 especies forestales, siendo el 64% de ellas de carácter nativo (61 especies) y el resto (35) especies introducidas.

La inclinación se evaluó colocando una tabla delgada sobre la corteza y sobre dicha tabla se realizó la medición con un clinómetro. Así mismo, se midió la inclinación del terreno o pendiente dónde se encontraba cada individuo, empleando el mismo procedimiento, variable que en este trabajo se denominó “pendiente local” (Figura 1: b y d). Se determinó también la pendiente general del globo B tomando varias medidas con clinómetro y estableciendo un promedio. La tabla se empleó para evitar sinuosidades tanto del individuo como del suelo que distorsionaran la medición de la inclinación (ver Figura 1). Cada individuo fue debidamente georreferenciado.

Figura 1. Aspectos de la aplicación de la metodología empleada para medir el grado de inclinación de los individuos arbóreos y la pendiente del terreno en donde estos individuos se encontraban: a) y c): Uso de la tabla para evitar sinuosidades de la corteza del individuo arbóreo, b) y d): Uso de la tabla en la evaluación de la pendiente local del terreno, también para evitar irregularidades en el mismo.



Fuente: elaboración propia

Una vez establecida la inclinación de los individuos, se procedió a diligenciar un formulario en Excel que permitió espacializar la información de los individuos en Arc Gis Stories sobre un plano del predio en donde se realizó la investigación. Se corrió una regresión lineal para establecer la posible relación entre la pendiente del terreno y el grado de inclinación de los individuos transformada como la diferencia entre la inclinación medida del individuo y la vertical (90°) y se asignó una calificación de dicha diferencia como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 1. Escala adoptada para evaluar el grado de reptación de los individuos arbóreos

<5°	Leve
5°-10°	Media
>11°	Alta

Fuente: elaboración propia

Posteriormente se realizó un recorrido en algunos sectores del predio con el fin de indagar otras evidencias de inclinación anómala en estructuras civiles como postes, desagües y grietas en edificios, tomando el respectivo soporte fotográfico, con el fin de complementar y enriquecer la discusión de los resultados principales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La siguiente figura muestra el grado de inclinación de los individuos espacializada en el predio donde se hizo el estudio:

Figura 2. Espacialización del grado de inclinación de los individuos arbóreos en el predio evaluado



Fuente: elaboración propia

Realizando el balance global del grado de afectación por la reptación se tendría lo siguiente:

Tabla 2. Porcentaje de individuos arbóreos que presentan una inclinación por reptación calificada como “leve”, “moderada” o “alta”.

Inclinación del individuo	Interpretación	Número de individuos con la afectación	Porcentaje
<5°	Leve	23	30,7%
5°-10°	Media	14	18,7%
>11°	Alta	38	50,7%

Fuente: elaboración propia

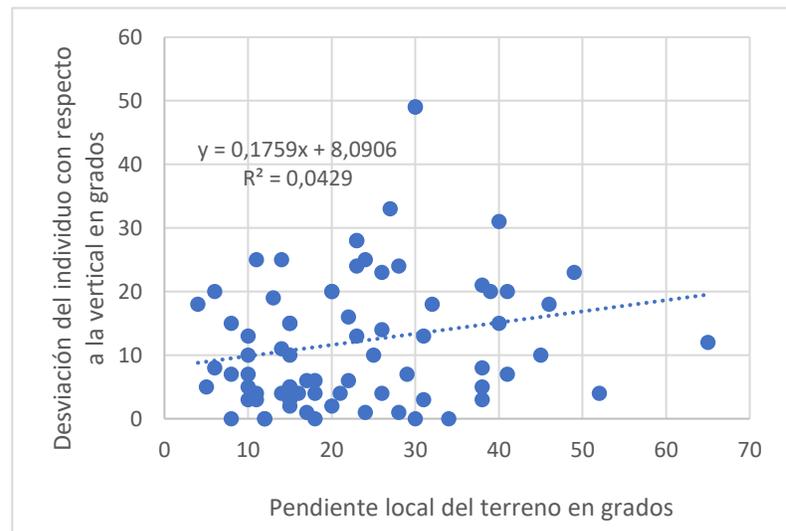
De acuerdo con lo anterior se observa que cerca de la tercera parte de los individuos evaluados presentan una inclinación por reptación considerada aquí como “Leve”, mientras que el resto presentan una inclinación considerada como “Media” a “Alta”. Si bien puede discutirse la adopción de esta escala en su sentido interpretativo; es decir, si realmente una inclinación inferior a 5° es realmente “Leve” o no; o si más de 11° constituye una inclinación “Alta” o no. En este trabajo se adopta esta manera de calificar la inclinación, debido a que ya existen estructuras civiles de importancia que albergan día a día cientos de estudiantes, docentes y personal administrativo y operativo que trabajan allí. Al respecto, es muy importante comentar que ya la Universidad ha tomado medidas contratando una intervención correctiva que en el momento de escribir este artículo y ya se encuentra en la etapa de estudios de sondeo geotécnico. Así mismo, en el trabajo de Pardo y Rodríguez (2021) se reportan que el 9% de los individuos arbóreos presentes en el globo B de la sede Vivero se encontraban en riesgo severo de volcamiento y 31% se encontraban en riesgo moderado, involucrando en su evaluación las características físicas del árbol, su estado fitosanitario y el terreno en el que se encuentra ubicado. Si bien la mirada de estos autores estaba enfocada en los árboles como tal, sus datos se aproximan a los datos de inclinación de los individuos arbóreos en este trabajo y que se emplean aquí como indicadores del fenómeno reptativo.

El resultado general de la inclinación general de la pendiente para el globo B arrojó un valor de 39° u 80% establecida en porcentaje, considerada como “muy escarpada” de acuerdo al IGAC (2003) y que Suárez (1998) consideraría circunscrito a la clase 5, que es la que él plantea como la más favorable para que se presenten procesos remocionales. Frente a esto, y desde una perspectiva geológica de largo plazo y de amenaza, es destacable que se esté presentando un movimiento masal lento y bastante controlado. Al respecto, Castellanos et al. (2022) en su trabajo sobre inventario y análisis de movimientos de ladera en Meta y Cundinamarca, plantean que, en cuanto a pendiente, los flujos de derrubios y avalanchas se asocian a pendientes que superan los 30° de gradiente; los deslizamientos en masa están asociados a pendientes cuyo grado de inclinación está entre el 20 y 30°; los flujos de tierra van de 10 a 20° y los procesos de reptación ocurren en pendientes con gradientes de 5 a 10°, por lo que en este trabajo se observó que, a pesar de tener una

alta pendiente general que sería un factor de riesgo remocional bastante importante (Sánchez & Berrío, 2019), dicho factor se ha mantenido bajo control debido probablemente a la ocurrencia de la cobertura predominantemente boscosa que contribuye a amarrar, mediante su sistema radical (el suelo) (Escobar, 2022), así como la existencia de drenajes y estructuras de contención instaladas desde el inicio del funcionamiento de la sede y su periódico mantenimiento. Este comportamiento también se atribuye al hecho de que la precipitación promedio es relativamente baja (del orden de 1104 mm) de acuerdo con lo reportado en la estación Venado de Oro-Vivero del IDEAM (CAR, 2006) y que determina una precipitación promedio mensual de 92 mm. En ese sentido y de acuerdo a análisis realizados por la Universidad de Manizales para evaluar el efecto de las precipitaciones en los movimientos en masa del municipio de Santa Rosa de Cabal, Risaralda (Llano, 2015); este valor se considera como un valor detonante “Bajo” en su apreciación por dicho trabajo.

Por otra parte, y con el fin de averiguar si existía algún grado de relación entre el grado de inclinación de cada individuo y la pendiente del terreno en donde dicho individuo se encontraba (pendiente local), se corrió un modelo de regresión lineal en un diagrama de dispersión, obteniendo la siguiente figura:

Figura 3. Diagrama de dispersión que muestra la relación entre la pendiente del terreno en donde se encontraba cada individuo arbóreo y su inclinación.



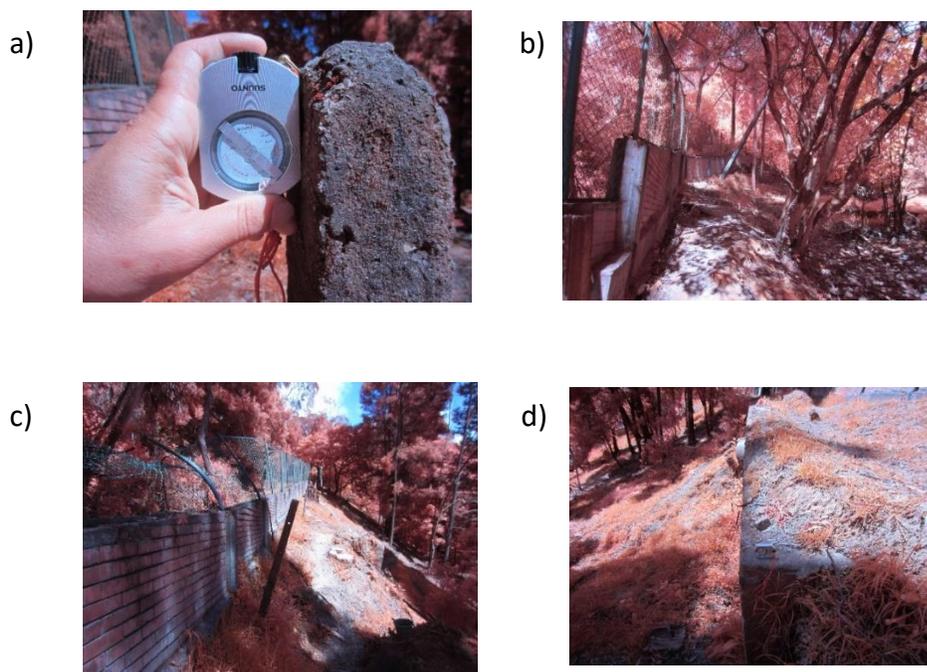
Fuente: elaboración propia

De acuerdo con esto, se evidencia un grado de correlación bajo entre las variables evaluadas obteniendo un coeficiente de determinación (R^2) de 0,04, con lo cual se concluye que no existe una relación evidente entre el hecho de que una mayor o menor pendiente local afecte como tal, la inclinación de los individuos arbóreos y, por lo tanto, sea determinante en el movimiento reptativo. En este caso, se tiene un número significativo de individuos que tienen una inclinación calificada como “alta” en pendientes locales bajas e individuos con inclinación “baja” en pendientes locales altas. Bajo este hallazgo es claro entonces que el fenómeno reptativo tiene importantes matices microtopográficos y no es un fenómeno fácilmente modelable, y predecible en una escala ultra-detallada; aunque existen modelos y ejercicios cartográficos de este fenómeno a nivel de microcuenca como, por

ejemplo, los realizados en el Perú por Alcántara y León (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo, 2022) para todo un caserío de 52,14 ha. Bajo este hallazgo, se hace entonces necesario realizar muestreos y evaluaciones en campo, como las que plantea el presente trabajo, que permitan tener elementos objetivos de juicio para dimensionar acertadamente el impacto que en áreas similares al presente trabajo pueda estar teniendo la reptación.

Así mismo, se encontraron evidencias del fenómeno reptativo en la inclinación de estructuras como postes y mallas de cerramiento:

Figura 4. Aspecto de la inclinación en postes, mallas de cerramiento y desagües observada en el recorrido hecho a estructuras de obra civil: a) Medición con clinómetro de un poste inclinado, b) y c) Nótese el estado de los muros externos y el enmallado, d) inclinación de una estructura de desagüe.



Fuente: elaboración propia

A partir de la evidencia anterior que complementa los hallazgos principales obtenidos en los individuos arbóreos, se concluye que el fenómeno de reptación se encuentra activo en el predio observado, afectando estructuras civiles que, si bien no son las principales ni son las que tienen mayor tránsito, indican que deben comenzar intervenciones de contención y mitigación del fenómeno reptativo, como efectivamente ya han comenzado a ejecutarse.

CONCLUSIONES

Es factible el empleo de herramientas sencillas de medición para aproximarse a la evaluación de la reptación del suelo tales como un clinómetro, una tabla y un GPS. El uso del GPS y los sistemas de información geográfica pueden ayudar a espacializar el fenómeno reptativo y contribuir a tomar decisiones de manejo, especialmente en fases iniciales del fenómeno cuando no es tan evidente y se requiere determinar su importancia. Para el caso en estudio, se encontró evidencia del fenómeno reptativo dado que cerca del 50% de los individuos arbóreos observados presentan una inclinación igual o superior a 11° con relación a la horizontal y que, de acuerdo a la escala adoptada en este trabajo, se consideró “alta”. Adicionalmente, la observación de estructuras civiles en condiciones anómalas de inclinación complementó la observación formal de individuos arbóreos y contribuyó a la declaratoria del fenómeno reptativo en el predio evaluado. Sin embargo, el fenómeno se encuentra bastante controlado. No se observó relación entre la pendiente local del terreno y el grado de inclinación de los individuos arbóreos evaluados por lo que es claro que el fenómeno reptativo no es fácilmente modelable a una escala ultradetallada y depende de varios factores no evaluados en este trabajo. Esto cobra mayor relevancia debido a que la reptación es un fenómeno caracterizado por su baja velocidad de ocurrencia, y que puede llegar a pasar inadvertido tanto en predios urbanos, semiurbanos y rurales, especialmente en contextos geomorfológicos montañosos.

RECOMENDACIONES

Si bien existen lineamientos generales para evaluar los fenómenos erosivos y de remoción en masa, provistos por entidades como el IGAC y el SGC, éstos se enfocan en aquellos procesos que pueden darse de manera rápida y afectar áreas grandes. En escenarios donde el fenómeno remocional es más lento y limitado, aún existe cabida para investigar, caracterizar y proponer modelos que integren variables no consideradas en este trabajo como el tipo de material geológico (tipo de depósito o litología), detalle de curvas de nivel y modelos digitales de elevación con apoyo de los SIG, efecto de redes de drenaje cercanas, variables todas que pueden llegar a ser determinantes en movimientos masales lentos, tipo reptación, como los evaluados en el presente trabajo y que no son tan evidentes en su manifestación. Se recomienda igualmente validar la metodología aquí propuesta para casos similares en entornos similares a los planteados en este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea hacer un reconocimiento especial a la estudiante de Ingeniería Forestal, Lizeth Mariana Roa quien apoyó el componente de georreferenciación del trabajo.

REFERENCIAS

Castellanos Ordóñez, M. L., Herrera Coy, M. C., Herrera Pérez, I. L., Medina Díaz, V., Sánchez Gómez, M., Delgado García, J., y Fernández del Castillo, T. (2022). Inventario y análisis de movimientos de ladera en los departamentos de Cundinamarca y Meta (Colombia). *X Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR. (2006). *Elaboración del Diagnóstico, Prospectiva y Formulación de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá*. Publicaciones CAR.

Cedeño Rodríguez, J. y Vela Gonzalez, J. (2020). *Reconocimiento, digitalización y caracterización visual en campo de deslizamientos en laderas o taludes. Estudio de caso Aguazul - Casanare cuenca Únete. Bogotá D.C.*: [Proyecto de grado Universidad de la Salle].

Escobar, D. (2022). *Geotecnia para el trópico andino*. Universidad Nacional.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC. (2003). *Manual de clasificación de tierras por capacidad de uso y manejo*. IGAC.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo. (2022). *Evaluación de peligros geológicos por reptación de suelos en el caserío Musungate, distrito San Juan de Cutervo, provincia Cutervo, departamento de Cajamarca*. Ingemmet.

Llano, M. A. (2015). Análisis de precipitaciones máximas como factor detonante para la amenaza por movimientos en masa en el municipio de Santa Rosa de Cabal - Risaralda. Manizales. [Trabajo de grado para optar al título de especialista en SIG. Universidad de Manizales]

Pardo Soler, L., y Rodríguez Rey, L. (2021). Actualización del inventario forestal de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales-SEde El Vivero A y B de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C. [Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Forestal]

Sánchez, R. y Berrío, C. (2019). Análisis de susceptibilidad a movimientos de masa mediante la modelación con un SIG en la cuenca Río Blanco, La Calera. Bogotá: [Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil-Universidad de La Salle]

Servicio Geológico Colombiano. (2016). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. SGC-Colección guías y manuales.

Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Publicaciones UIS.

Tarback, L. y. (2005). *Ciencias de la tierra: una introducción a la geología física*. Pearson-Prentice Hall