



Delimitación de zonas susceptibles a movimientos de ladera, en el cantón san Juan Bosco – Morona Santiago, mediante el método Mora Vahrson modificado

Delimitation of areas susceptible to hillside movements, in the canton of San Juan Bosco - Morona Santiago, using the modified Mora Vahrson method

Delimitação de áreas suscetíveis a movimentos de encosta, no cantão de San Juan Bosco - Morona Santiago, utilizando o método Mora Vahrson modificado

David Isaac Cuenca-Gualan ^I

david.cuencag@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-5712-5256>

Christian Orlando Camacho-López ^{II}

christian.camacho@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-4876-9583>

Gregory Guillermo Cuesta-Andrade ^{III}

gregory.cuesta@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-9308-0593>

Correspondencia: eortegame@ucvvirtual.edu.pe

Ciencias técnicas y aplicadas

Artículos de investigación

***Recibido:** 18 de junio de 2021 ***Aceptado:** 15 de julio de 2021 * **Publicado:** 10 de agosto de 2021

- I. Master Universitario en Cambio Global: Recursos Naturales y Sostenibilidad, Ingeniero en Geología y Minas, Formación de Formadores, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Master of Science in Hydrogeological Engineering, Ingeniero en Biotecnología Ambiental, Formación de Formadores, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. Magister en Mineralogía Aplicada a la Geometalurgia, Ingeniero en Petróleo, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Resumen

Los movimientos de ladera se los puede definir, según Cruden, como el movimiento de una masa de roca, suelo o derrubios, de una ladera en sentido descendente. Son estas características tanto geológicas y geotécnicas, las que principalmente se han revisado en este estudio para delimitar las zonas susceptibles a fenómenos de remoción en masa en el área urbana del cantón San Juan Bosco, generando información útil que ayude a la toma de decisiones para prevenir desastres naturales. Ya que los procesos constructivos de obras ingenieriles modifican y reducen la estabilidad del terreno, así como factores naturales como fuertes lluvias que conllevan al aumento de la humedad de los suelos haciéndolos susceptibles a fenómenos de remoción en masa.

El presente artículo investigativo consiste en la delimitación de zonas susceptibles a movimientos de laderas de la cabecera cantonal de “San Juan Bosco”, provincia Morona Santiago. El método utilizado es el de Mora Vahrson Modificado, en el que se analiza el grado de amenaza, considerando factores condicionantes y desencadenantes de los movimientos de ladera; como resultado obtenemos una zonificación con muy baja susceptibilidad que representa el 2% del área de estudio; el grado medio representa el 8%, mientras que el grado moderado está conformado por el 90% del lugar y está constituido por sectores con pendientes mayores a los 35° y posibles deslizamientos rotacionales. Se recomienda que los resultados generados en la presente investigación sean considerados como información base para la planificación y ejecución de obras de ingeniería en el sector.

Palabras clave: Moviemientos de ladera; ingeniería; zonas susceptibles.

Abstract

Slope movements can be defined, according to Cruden, as the movement of a mass of rock, soil or debris, down a slope. These are both geological and geotechnical characteristics that have been mainly reviewed in this study to delimit the areas susceptible to mass removal phenomena in the urban area of the San Juan Bosco canton, generating useful information that helps decision-making to prevent natural disasters. Since the construction processes of engineering works modify and reduce the stability of the terrain, as well as natural factors such as heavy rains that lead to an increase in the humidity of the soils, making them susceptible to mass removal phenomena.

This investigative article consists of the delimitation of zones susceptible to slopes movements of the cantonal head of “San Juan Bosco”, Morona Santiago province. The method used is that of Mora Vahrson Modified, in which the degree of threat is analyzed, considering conditioning factors and triggers of hillside movements; As a result, we obtain a zoning with very low susceptibility that represents 2% of the study area; the medium grade represents 8%, while the moderate grade is made up of 90% of the site and is made up of sectors with slopes greater than 35° and possible rotational landslides. It is recommended that the results generated in this research be considered as base information for the planning and execution of engineering works in the sector.

Keywords: Slope movements; engineering; susceptible areas.

Resumo

Os movimentos de declive podem ser definidos, de acordo com Cruden, como o movimento de uma massa de rocha, solo ou entulho, descendo uma encosta. Son estas características tanto geológicas y geotécnicas, las que principalmente se han revisado en este estudio para delimitar las zonas susceptibles a fenómenos de remoción en masa en el área urbana del cantón San Juan Bosco, generando información útil que ayude a la toma de decisiones para prevenir desastres naturales. Já os processos construtivos das obras de engenharia modificam e reduzem a estabilidade do terreno, bem como fatores naturais como as fortes chuvas que levam ao aumento da umidade dos solos, tornando-os suscetíveis a fenômenos de remoção de massa.

Este artigo investigativo consiste na delimitação de zonas suscetíveis a movimentos de vertente da cabeceira cantonal de “San Juan Bosco”, província de Morona Santiago. O método utilizado é o de Mora Vahrson Modificado, no qual é analisado o grau de ameaça, considerando fatores condicionantes e desencadeadores de movimentos de encosta; Como resultado, obtemos um zoneamento com baixíssima suscetibilidade que representa 2% da área de estudo; o grau médio representa 8%, enquanto o grau moderado é composto por 90% do local e é composto por setores com declives superiores a 35° e possíveis deslizamentos de rotação. Recomenda-se que os resultados gerados nesta pesquisa sejam considerados como informações de base para o planejamento e execução de obras de engenharia no setor.

Palavras-chave: Movimentos de inclinação; Engenharia; áreas suscetíveis.

Introducción

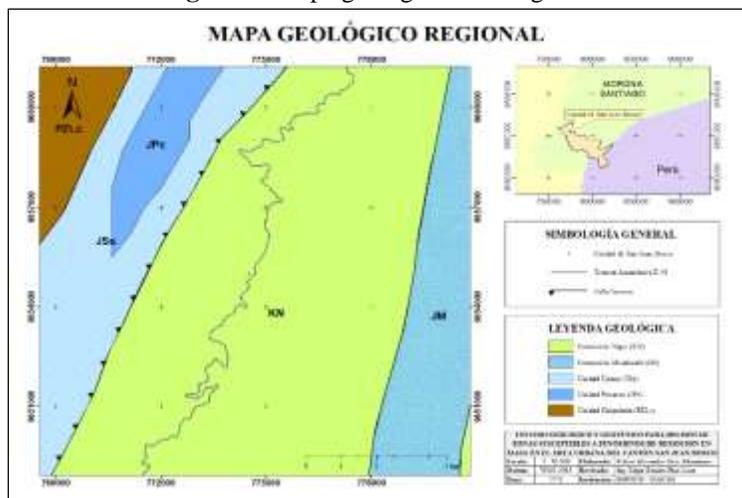
Los procesos constructivos de obras ingenieriles modifican y reducen la estabilidad del terreno, a esto sumado las condiciones a otros factores como fuertes lluvias conllevan al aumento de la humedad de los suelos haciéndolos susceptibles a fenómenos de remoción en masa, por lo que para sanear esa necesidad de información técnica se realiza un estudio de características y propiedades geológico-geotécnicas del área urbana del cantón San Juan Bosco.

La metodología y técnicas empleadas en el presente trabajo consisten en labores de campo y en gabinete. De acuerdo a estos estudios el área analizada está localizada en las estribaciones de la Cordillera Real y de la cordillera del Cutucú, específicamente en una zona sísmica y tectónica que geológicamente es conocida como zona subandina.

Dentro del área estudiada se encuentran las formaciones:

- Formación Misahuallí (Edad Jurásico superior – Cretácico inferior; compuesta de basalto de color gris oscuro a verde oscuro) (Litherland, 1994)
- Formación Napo (Edad Albiano Inferior a Senoniano; compuesta de calizas grises fosilíferas, lutitas negras, grises, verdes y areniscas) (Litherland, 1994)
- Formación Upano (Edad Jurásico superior; compuesta de rocas verdes andesítica metamorizadas, esquistos verdes y metagrauvacas intercalados con esquistos pelíticos y grafiticos) (Litherland, 1994)

Figura 1: Mapa geológico de la región.



Metodología aplicada

Con el objetivo de hacer una clasificación de susceptibilidad a los deslizamientos en un área o región específica mediante la utilización de indicadores morfo-dinámicos del terreno se maneja el método desarrollado en Costa Rica por Sergio Mora y Wilhelm-Guenther Vahrson en el año 1991, que se basa en la interacción de información relacionada con los factores de susceptibilidad (Relieve relativo, Litología, Humedad del suelo), y los factores de disparo (Actividad sísmica y precipitación) (García Rodríguez, 2009)

De manera general este método se lo expresa a través de la siguiente relación matemática:

$$H = EP * D$$

Donde:

H: Grado de amenaza o susceptibilidad a remociones en masa (deslizamientos).

EP: Producto entre los factores intrínsecos condicionantes (pasivos)

D: Producto entre los factores extrínsecos desencadenantes (activos)

Así mismo los elementos intrínsecos condicionantes como son Relieve Relativo (Sr), Litología (Sl), Humedad del suelo (Sh), y los elementos extrínsecos desencadenantes de la Sismicidad (Ts) y Precipitación (Tp), son asignados valores o pesos que al remplazarlos en la ecuación se obtiene los rangos de la susceptibilidad (Gonzalez de Vallejo, 2002)

$$H = (Sr \times Sl \times Sh) * (Ts + Tp)$$

De esta forma resumiríamos que, el cálculo de los rangos de susceptibilidad son el producto de elementos condicionantes intrínsecos y la acción de los elementos extrínsecos desencadenantes.

Los valores obtenidos en este estudio son cotejados con las tablas de caracterización de los factores del método Mora Vahrson Modificado.

Desarrollo de geología local

El trabajo de campo se desarrolló de manera sistemática mediante el empleo de la cartografía base e instrumentación geológica, analizando los puntos que muestran mayor información litológica, geomorfológica y estructural posible, realizado seguimiento a los causes de los diferentes ríos y quebradas, así como vías con taludes actuales. Los afloramientos analizados presentan lutitas y vetillas de calcita, en algunos casos se encuentran macizos, de estos elementos litológicos, deformados y fracturados en bloques como producto de fuerzas compresivas.

Figura 2: Fotografía 3 6-Intercalación de estratos de lutita negra, caliza gris y vetillas de calcita.



Elaborado por: O. Robert, 2019

Resultados obtenidos

Geología del Área de Estudio

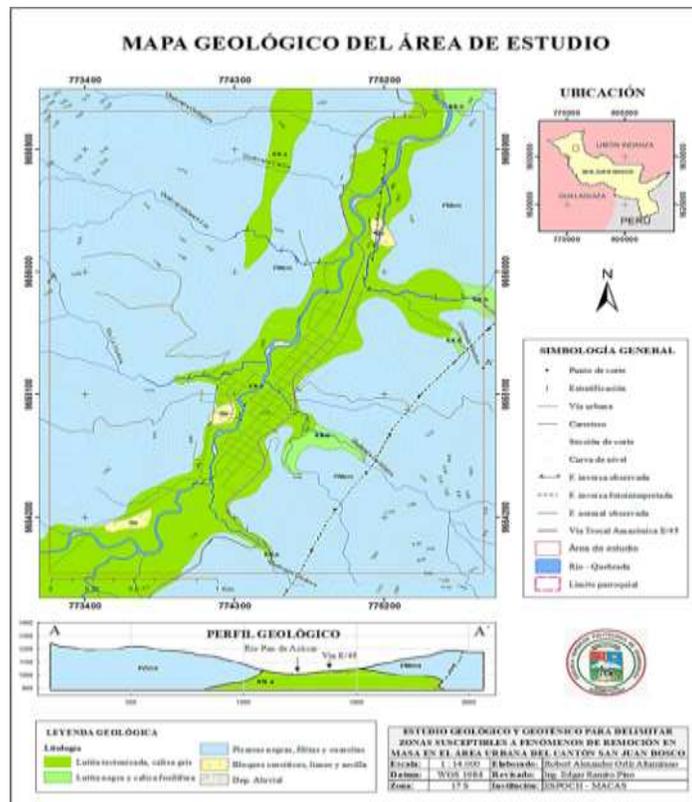
Los afloramientos han sido detallados y estudiados a lo largo de la microcuenca del Río Pan de Azúcar, en sus quebradas y ríos que confluyen, como también se analizó los taludes de la vía Troncal Amazónica, en el tramo comprendido dentro del área en estudio (GAD Municipal de San Juan Bosco, 2016).

La litología del área está comprendida por rocas sedimentarias de edades cretácicas, en una intercalación de lutita negra (bituminosa) y calizas grises, lutita y caliza negra con fosilíferas pertenecientes a la Formación Napo (KN-a, KN-b), también están presentes rocas metamórficas con una serie metamórfica de pizarras negras, filitas grises y de cuarcita muy fracturada, pertenecientes al Grupo Margajitas (PMzm). Además, se ha localizado depósitos cuaternarios como coluviales y coluvio-aluviales con un contenido de bloques y cantos heterogéneos de areniscas cuarzosas subredondeadas, clastos de pizarras englobados en una matriz limo arcillosa. Aluviales depositados actualmente en forma de terrazas medianas por el río Pan de Azúcar, compuesta de rodados de rocas ígneas, sedimentarias, gravas y arenas limosas.

Tabla 1: Resumen estratigráfico del área de estudio. (O. Robert, 2019)

Litología	Formación	Edad
Aluvial	-	Cuaternario
Coluvial	-	Cuaternario
Lutita negra	Formación Napo	Cretácico
Caliza gris	Formación Napo	Cretácico
Caliza negra fosilífera	Formación Napo	Cretácico
Cuarcitas bandeadas	Grupo Margajitas	Cretácico
Pizarras negras	Grupo Margajitas	Cretácico
Filitas calcáreas	Grupo Margajitas	Cretácico

Figura 3: Mapa geológico del área urbana de San Juan Bosco. (O. Robert, 2019)



Movimientos en masa del área

Se ha levantado información de cuatro deslizamientos de talud en el tramo de la vía Troncal Amazónica dentro del área de estudio, logrando identificar y analizar las características que nos ayudaron a su respectiva clasificación.

Tabla 2: Movimientos en masa levantados en el área. (O. Robert, 2019)

Cód.	X	Y	Z	Tipo de movimiento
MM1	774444	9654040	1120	Rotacional en suelo y roca
MM2	774488	9654616	1083	Caída de roca y suelo
MM3	775204	9657136	995	Caída y Flujo de detritos
MM4	774281	9654343	1083	Rotacional en suelo y roca

El mayor factor activador sería las fuertes lluvias durante un periodo pronunciado de precipitación, esto ocasiona que las laderas y taludes sean erosionados por la escorrentía y otro porcentaje se infiltre mediante poros y grietas, mientras que taludes en mejores condiciones de estabilidad empiezan a meteorizarse mediante la infiltración en planos de discontinuidades que ejercen empuje hidráulico haciendo que se produzca algún tipo movimiento en masa.

En base a la capa de la distribución de los movimientos en masa, se podido correlacionar su ubicación en el mapa de susceptibilidad, también se ha calculado la superficie afectada de 0.007047 km² por los movimientos en masa respecto al área de estudio.

Resultados de ensayos de laboratorio en muestras de suelo

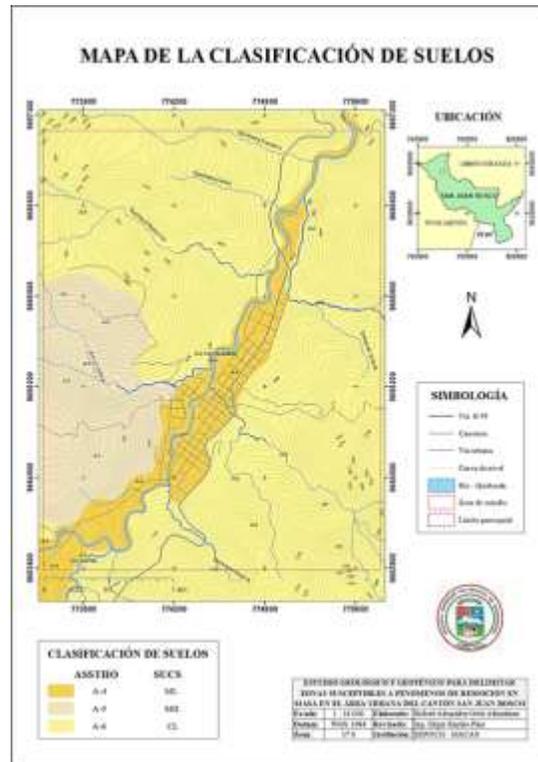
Con un total de ocho muestras tomadas en campo, de las cuales 4 son de puntos donde tenemos movimientos en masa, se han desarrollados ensayos de clasificación de la granulometría, humedad natural y de límites Atterberg, de esta forma se ha asignado una clasificación geotécnica de las muestras de suelo acorde a las normas ASSTHO y SUCS.

Tabla 3: Resultados de ensayos a las muestras de suelo y su clasificación. (O. Robert, 2019)

Muestra	Coordenadas X, Y	Hum. (%)	L. Liqui. (%)	L. Plasti. (%)	Clasificación ASSTHO	Clasificación SUCS
MS-1	774463 9654055	35.45	61.74	40.24	A-6	CL
MS-2	774521 9654647	34.14	52.33	40.81	A-6	CL
MS-3	774894 9656257	55.27	66.67	46.11	A-6	CL
MS-4	775178 9657154	76.92	68.83	52.82	A-6	CL
MS-5	775131 9656368	34.45	60.68	40.24	A-4	ML
MS-6	774767 9655827	64.80	71.17	69.05	A-6	CL
MS-7	775085 9655827	72.19	79.29	57.68	A-6	CL
MS-8	774114 9655558	70.96	71.73	54.71	A-5	MH

Con estos resultados se ha elaborado un mapa (Fig #) de la clasificación geotécnica de los suelos, conforme se realizaron los ensayos en laboratorio, donde se conocieron las propiedades físicas de estos.

Figura 4: Mapa de la clasificación de los suelos del área de estudio Normas ASSTHO y SUCS. (O. Robert, 2019)



Mapa de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa

La susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa se ha realizado tomando en cuenta la información levantada de campo aplicando la metodología Mora Varhson modificada, donde a cada factor se ha asignado un valor o peso que, mediante una serie de geoprocesos entre capas temáticas de los factores se obtiene genera el mapa de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa. El mapa de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa detalla los diferentes grados de vulnerabilidad de las zonas, representados mediante una trama de colores asignados cualitativamente a los valores obtenidos, los grados de vulnerabilidad obtenidos van Muy bajo, Bajo y Moderado.

Tabla 4: Grados de vulnerabilidad acorde a las clases de susceptibilidad del área, (Mora Vahrson Modificada).

Rango	Clase	Grado de vulnerabilidad
0 - 6	I	 Muy bajo
7 - 32	II	 Bajo
33 - 512	III	 Moderado

Conforme a la tabla de susceptibilidad de la metodología y los valores de susceptibilidad obtenidos se analiza estas zonas:

- Zonas de grado Muy Bajo: Representa sectores de condiciones favorables y estables, con pendientes de los 0 a 20 grados, estas zonas corresponden a llanuras de inundación, depósitos y terrazas aluviales. En estas zonas el agente desestabilizador es la erosión de taludes provocando caída o desplome de rocas y deslizamientos de tierra en las márgenes del río Pan de Azúcar y quebradas.
- Zonas de grado Bajo: Estas zonas están representadas por sectores estables pendientes medias de 20 a 35 grados, se localizan coluviales y coluvios aluviales, pudiéndose generar deslizamientos rotacionales en suelo saturado por intensas lluvias, al igual la erosión puede generar flujos de detritos y lodos, en estas zonas son indispensables medidas correctivas menores.
- Zonas de grado Moderado: Abarca en su mayoría el área estudiada, representa sectores con pendientes mayores a los 35 grados, en esta se han localizado movimientos en masa como deslizamientos rotacionales, caídas de roca y suelo en taludes de la Troncal Amazónica, la litología comprende rocas metamórficas alteradas estructuralmente que se vuelven poco competentes y vulnerables a agentes externos como lluvias y sismos, estos sectores requieren medidas correctivas al momento de establecer alguna obra civil.

Figura 5: Mapa de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa del área urbana de San Juan Bosco. (O. Robert, 2019)

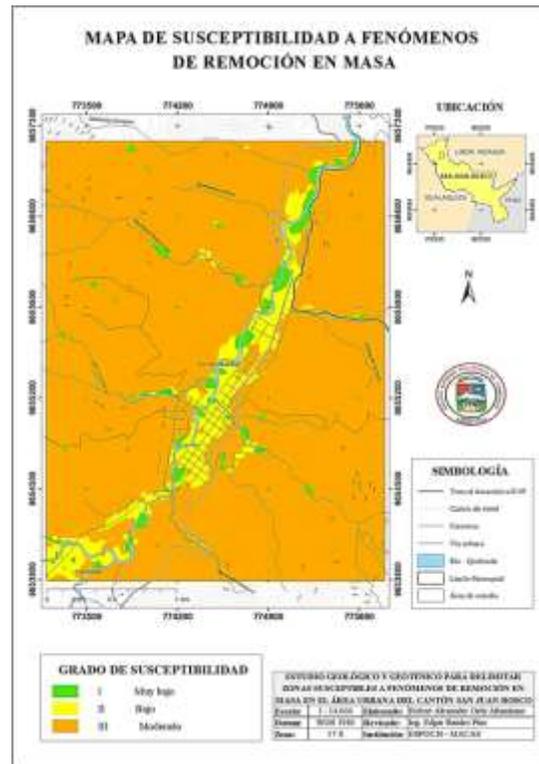


Tabla 5: Distribución de las zonas de susceptible del área estudiada. (O. Robert, 2019)

Susceptibilidad	Área (km ²)	% Respecto al área de estudio
Muy bajo	0.20061472	2.26
Bajo	0.70577129	7.96
Moderado	7.96160747	89.78

Figura 6: Grafico de la distribución porcentual de los grados de susceptibilidad. (O. Robert, 2019)



Conclusiones

Se han identificado las zonas susceptibles a fenómenos de remoción en masa en la cabecera cantonal de “San Juan Bosco”, utilizando la metodología Mora Varhson modificado, analizando los factores condicionantes y desencadenantes, entre ellos la litología, relieve, humedad, precipitación y sismicidad.

Se ha elaborado un mapa geológico de carácter local, basado en las características y propiedades geológicas del área de estudio, describiendo las unidades litológicas conformadas generalmente por rocas sedimentarias como calizas grises y negras con contenido de fósiles pertenecientes a la Formación Napo, así como, rocas metamórficas como filitas calcáreas, pizarras negras y cuarcitas bandeadas.

Además, se han generado fichas técnicas para identificar las causas y el tipo de movimiento de remoción en masa, así como la clasificación geotécnica de los suelos del lugar, basado en las Normas ASSTHO-SUCS, granulometría, humedad natural y límites Atterberg del suelo, identificando que la mayoría del área de estudio son de carácter arcilloso de baja plasticidad, mientras que ciertas áreas corresponden a limo de baja y alta plasticidad.

Finalmente, se clasificó al área de estudio en tres zonas basado en su grado de susceptibilidad, el grado con muy baja susceptibilidad representa el 2% del área de estudio y corresponde a sectores de condiciones favorables y estables, el grado medio representa el 8% del área y se compone de zonas estables con pendientes medias de 20 a 35 grados con posibles deslizamientos rotacionales, mientras que el grado moderado está conformado por el 90% del lugar y está constituido por sectores con pendientes mayores a los 35 grados y posibles deslizamientos rotacionales, caídas de roca y suelo en taludes, que requieren medidas correctivas al momento de establecer alguna obra civil.

Referencias

1. Cruden, D. M. (1996). Landslide Types and Processes. USGS Science for changing world, 3.
2. GAD Municipal de San Juan Bosco. (2016). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2018. En G. M. Bosco. Cuenca.

3. García Rodríguez, M. (2009). Obtenido de www.academia.edu: <https://html2-f.scribdassets.com/8uclyzvtvsw58nbjw/images/1-0a4e6876cc.jpg>
4. Gonzalez de Vallejo, L., Ferrer Gijón, M., Ortuño Abad, L., & Oteo Mazo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación S.A.
5. Ortiz Altamirano, R (2020). “Estudio geológico y geotécnico para delimitar zonas susceptibles a fenómenos de remoción en masa, en el área urbana del cantón san Juan Bosco”
6. Litherland. (1994). *The Metamorphic Belts of Ecuador*. Nottingham: Overseas Momoir of The Brithish Geological Survey.

© 2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)