



UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CUENCA
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

Deslizamientos: Caracterización de sus factores morfológicos y ambientales

Autor:

- Ing. Sandra Cobos MSc.

Coautor:

- Ing. Aracely Lima MSc.

Cuenca, 12 de diciembre de 2019

N° Proyecto	
--------------------	--



1 TABLA DE CONTENIDOS

1	TABLA DE CONTENIDOS.....	2
2	DATOS GENERALES DEL PROYECTO	3
3	INSTITUCIONES INVOLUCRADAS Y PARTICIPANTES Y BENEFICIARIOS.....	4
3.1	INSTITUCIONES INVOLUCRADAS EN EL PROYECTO.....	4
3.2	INSTITUCIONES INVOLUCRADAS EN EL PROYECTO.....	4
3.3	ESTUDIANTES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO.....	8
3.4	BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	14
4	DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.....	14
4.1	RESUMEN DEL PROYECTO.....	14
4.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
4.3	MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	15
4.4	PALABRAS CLAVE.....	18
4.5	HIPÓTESIS O PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	18
4.6	DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.....	19
4.7	OBJETIVOS	20
4.7.1	GENERAL	20
4.7.2	ESPECÍFICOS	20
4.8	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
4.9	RESULTADOS ESPERADOS.....	21
4.10	ASPECTOS BIOÉTICOS Y SOCIALES	22
4.11	LABORATORIO AL CUAL SE SUSCRIBE LA PROPUESTA.....	23
5	IMPACTO DEL PROYECTO	23
5.1	IMPACTO LEGAL, SOCIAL, TÉCNICO Y/O ECONÓMICO.....	23
5.2	IMPACTO AMBIENTAL	23
5.3	RIESGOS DEL PROYECTO	24
5.4	PLAN DE SOSTENIBILIDAD.....	25
6	DIFUSIÓN DE RESULTADOS.....	25
6.1	EFFECTOS MULTIPLICADORES.....	25
6.2	TRANSFERENCIA DE RESULTADOS.....	26
7	PLANIFICACIÓN Y FINANCIAMIENTO	26
7.1	FACILIDADES DE TRABAJO.....	26
7.2	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	28
7.3	PRESUPUESTO Y PROGRAMACIÓN FINANCIERA.....	28
8	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS CIENTÍFICAS CITADAS	28
9	DECLARACIÓN FINAL	30



2 DATOS GENERALES DEL PROYECTO

TÍTULO			
Deslizamientos: Caracterización de sus factores morfológicos y ambientales			
TIPO DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN			
Investigación Básica <input type="checkbox"/>	Investigación (I+D+I) <input checked="" type="checkbox"/>	Investigación (I+V) <input type="checkbox"/>	
DIRECTOR DEL PROYECTO			
Sandra Lucía Cobos Mora			
GRUPO DE INVESTIGACIÓN			
Ciudad, Ambiente y Tecnología			
LÍNEA Y ÁMBITO DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL			
Para información sobre las líneas de investigación <i>referirse al Documento Bases para Convocatoria...</i> , sección 8.1			
Ciencias exactas, naturales y tecnológicas			
Territorio ciudad y medio ambiente / Geotécnica			
TIPO DEL PROYECTO			
Senior <input type="checkbox"/>	Junior <input type="checkbox"/>	Interinstitucional <input checked="" type="checkbox"/>	Parte un programa <input type="checkbox"/>
En caso de ser parte de un programa, escriba el nombre del mismo			
TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO			
Duración del proyecto en meses	12 meses		
FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO			
Monto financiamiento UCACUE	10000		
Monto otras fuentes de financiamiento	6 700,80		
Monto total del financiamiento proyecto	16 700, 80		



3 INSTITUCIONES INVOLUCRADAS Y PARTICIPANTES Y BENEFICIARIOS

INSTITUCIONES INVOLUCRADAS EN EL PROYECTO

En el caso de que la investigación sea colaborada o co-ejecutada con una o más instituciones, involucrando aporte monetario, personal científico e infraestructura, se deberá completar los datos de dichas instituciones en la tabla a continuación. Además, deberá **adjuntar** la Carta-Compromiso, rubricada por el Representante Legal de cada una de las instituciones que participen, en la cual se establezca claramente la naturaleza de la participación y el grado de responsabilidad de cada institución durante la ejecución del proyecto.

Institución Ejecutora Principal:		Universidad Católica de Cuenca		
Dirección:	Ciudad:	Correo electrónico:	Dirección Web:	Teléfonos / Fax:
Av. de las Américas y Humbolt	Cuenca	info@ucacue.edu.ec	https://www.ucacue.edu.ec/	593 (07) 2-830-751 / 2-830-877 / 2-824-365

Institución Co Ejecutora 1:		Instituto de Investigación Geológico y Energético		
Dirección:	Ciudad:	Correo electrónico:	Dirección Web:	Teléfonos / Fax:
Av. de la República E7-263 y Diego de Almagro	Quito	martin.cordovez@geoenergia.gob.ec	www.geoenergia.gob.ec	593 (02) 3931390 Ext. 2010

INSTITUCIONES INVOLUCRADAS EN EL PROYECTO

PERSONAL DEL PROYECTO			
Función en el proyecto	Director del Proyecto		
Nombres y apellidos:	Sandra Lucía Cobos Mora		
Cédula de Identidad o Pasaporte:	0104682067	Para investigador de Ecuador: Categoría en el Registro Nacional de Investigadores de la SENESCYT (obligatorio)	No. REG-INV-19-03774
Institución a la que pertenece:	Universidad Católica de Cuenca		
Unidad Académica / Facultad	Ingeniería, Industria y Construcción	Carrera:	Ingeniería Civil



Grado académico más alto y/o especialización	Master en Tecnologías de la Información Geográfica Estudiante de doctorado en Geografía	Cargo actual:	Docente - Investigador
Teléfonos:	0995435654	Correo Electrónico:	scobosm@ucacue.edu.ec
Proyectos de Investigación desarrollados en los últimos cinco años (máximo tres) o experiencia en gestión con talento humano y recursos materiales y financieros.			
Nombre proyecto1:	Sistema Mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay		
Institución:	Monto financiado	Fecha inicio:	Fecha finalización:
Universidad Católica de Cuenca	65000	Marzo 2018	Diciembre 2019
Nombre proyecto2:	Urbamed		
Institución:	Monto financiado	Fecha inicio:	Fecha finalización:
Senescyt	40410	8/jun/2015	30/jun/2017
Experiencia en gestión:			
Institución	Cargo	Fecha Inicio	Fecha fin
Instituto Espacial Ecuatoriano	Responsable de la Infraestructura de Datos Espaciales	2012	2014
Universidad Católica de Cuenca	Directora de Proyecto de Investigación	Marzo - 2018	Diciembre - 2019
3 artículos de revista con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:			
Artículo 1:	Urban areas change detection using DEMs generated automatically from high spatial resolution stereo satellite images		



Revista:	Vol, Nro, fecha pub.	DOI:	Índice y Cuartil:
Killkana Técnica	Vol 1, Nro 1, Agosto 2017	https://doi.org/10.26871/killkana_tecnic a.v1i1.14	S/N
Artículo 2:	Criterios de selección para un sitio de disposición final de residuos sólidos no peligrosos. revisión de normas ambientales latinoamericanas y su contraste con la norma ecuatoriana		
Revista:	Vol, Nro, fecha	DOI:	Índice y Cuartil:
Revista internacional de contaminación ambiental	En revisión	En revisión	Q4
Artículo 3:	Sanitary landfill site selection using multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process: A case study in Azuay province, Ecuador		
Revista:	Vol, Nro, fecha	DOI:	Índice y Cuartil:
Waste Management & Research	En revisión	En revisión	Q2
Libros o capítulos de libro en los últimos 5 años. 3 de más alto impacto y relevancia:			
Título 1:	Basura Cero		
Editorial:	ISBN:	Fecha publicación:	Revisión de pares (si/no):
Kaicro	978-84-949044-4-8	2019	S/I
Título 2:	Análisis multicriterio basado en GIS para identificar potenciales áreas de emplazamiento de un relleno sanitario mancomunado en la provincia del Azuay		
Editorial:	ISBN:	Fecha publicación:	Revisión de pares: (si/no):
	978-9978-325-87-2	2017	S/I
Título 3:	Análisis multicriterio para la creación de un área ecológica de conservación municipal.		
Editorial:	ISBN:	Fecha publicación:	Revisión de pares: (si/no):



	978-959-261-5854	2018	SI
--	------------------	------	----

Función en el proyecto	Colaborador 1		
Nombres y apellidos:	Teresa Aracely Lima Abásolo		
Cédula de Identidad o Pasaporte:	1711385300	Para investigador de Ecuador: Categoría en el Registro Nacional de Investigadores de la SENESCYT <i>(opcional)</i>	Investigador Auxiliar 1 <i>REG-INV-15-01297</i>
Institución a la que pertenece:	Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE)		
Unidad Académica / Facultad	Magíster en Sistemas de Información Geográfica	Carrera:	
Grado académico más alto y/o especialización		Cargo actual:	Investigador Auxiliar 1
Teléfonos:	593 (2) 2976100 Ext. 1736	Correo Electrónico:	aracely.lima@geonerugia.gob.ec
Proyectos de Investigación desarrollados en los últimos cinco años (máximo dos) :			
Nombre proyecto1:	Tecnología Espacial y Geofísica en la Gestión de Riesgos Geodinámicos Externos para la Prevención y Mitigación de Inundaciones y Crecidas Torrenciales		
Institución:	Monto financiado	Fecha inicio:	Fecha finalización:
SENESCYT	USD 1'135.517	17/junio/2013	31/Diciembre/2015
Nombre proyecto2:	Asistentes Inteligentes para las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDEAIS)		
Institución:	Monto financiado	Fecha inicio:	Fecha finalización:
CYTED	68.000 EUROS	Enero/2019	DIC/2022



3 artículos con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:			
Artículo 1:	InSAR-Based Mapping to Support Decision-Making after an Earthquake		
Revista:	Vol, Nro, fecha pub.	DOI:	Cuartil:
Remote Sensing Journal	Vol. 10, Nro. 6, junio 2018	10.3390/rs10060899 https://doi.org/10.3390/rs10060899 https://www.mdpi.com/2072-4292/10/6/899	Q1
Artículo 2:	Infraestructura de Datos Espaciales para la Gestión de la Información Geológica del Ecuador		
Revista:	Vol, Nro, fecha	DOI:	Cuartil:
Revista institucional GeoLatitud. Revista Científica del INIGEMM	Vol. 1, Nro. 1, agosto 2017	ISSN 2588-0772	En proceso de indexación

Función en el proyecto	Colaborador 2		
Nombres y apellidos:	José Luis Solano Peláez		
Cédula de Identidad o Pasaporte:	0103101937	Para investigador de Ecuador: Categoría en el Registro Nacional de Investigadores de la SENESCYT (opcional)	INVESTIGADOR - ACREDITADO - REG-INV-19-03890
Institución a la que pertenece:	Universidad Católica de Cuenca		
Unidad Académica / Facultad	Ingeniería, Industria y Construcción	Carrera:	Ingeniería Ambiental
Grado académico más alto y/o especialización	Magister en Sistemas de Gestión Ambiental Estudiante de Doctorado en Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible	Cargo actual:	Docente - Investigador



Teléfonos:	0969232556 / 072826070	Correo Electrónico:	jsolano@ucacue.edu.ec / jsolanop7@gmail.com
Proyectos de Investigación desarrollados en los últimos cinco años (máximo dos) :			
Nombre proyecto1:	Sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay		
Institución:	Monto financiado	Fecha inicio:	Fecha finalización:
Universidad Católica de Cuenca – Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca EMAC EP	65000	Marzo/2018	Diciembre / 2019
Nombre proyecto2:	Los materiales en el estudio histórico – constructivo – ambiental de conjunto históricos. El caso de Cuenca.		
Institución:	Monto financiado	Fecha inicio:	Fecha finalización:
Universidad Católica de Cuenca	18442	Julio/2017	Diciembre/2018
3 artículos con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:			
Artículo 1:	Evaluación del Impacto Ambiental en la arquitectura patrimonial a través de la aplicación de la matriz de Leopold como un posible sistema de monitoreo interdisciplinario		
Revista:	Vol, Nro, fecha pub.	ISSN:	Cuartil:
ASRI: Arte y Sociedad Revista de Investigación	Nro. 14, 24 de enero del 2018	2174-7563	No aplica
Libros o capítulos de libro en los últimos 5 años. 3 de más alto impacto y relevancia:			
Título 1:	Basura Cero: Superando nuestros límites no los del planeta		
Editorial:	ISBN:	Fecha publicación:	Revisión de pares:
Editorial Kaicron SL – Málaga España	978-84-949044-4-8	Mayo/2019	No
Título 2:	Análisis multicriterio para la creación de un área ecológica de conservación municipal		
Editorial:	ISBN:	Fecha publicación:	Revisión de pares:



Universidad Tecnológica de la Habana – José Antonio Echeverría. Memorias del Quinto Congreso de Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable	978-959-261-585-4	Noviembre/2018	Si
Título 3:	Análisis multicriterio basado en GIS para identificar potenciales áreas de emplazamiento de un relleno sanitario mancomunado en la provincia del Azuay		
Editorial:	ISBN:	Fecha publicación:	Revisión de pares:
Universidad del Azuay. Memorias de la XVI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica	978-9978-325-86-5	Septiembre/2017	Si

Función en el proyecto	Colaborador 3		
Nombres y apellidos:	Luis Mario Almache Sánchez		
Cédula de Identidad o Pasaporte:	0103401451	Para investigador de Ecuador: Categoría en el Registro Nacional de Investigadores de la SENESCYT <i>(opcional)</i>	
Institución a la que pertenece:	Universidad Católica de Cuenca		
Unidad Académica / Facultad	Ingeniería, Industria y Construcción	Carrera:	Ingeniería Civil
Grado académico más alto y/o especialización	Magister en Geología Aplicada y Geotécnia	Cargo actual:	Subdirector de Carrera – Docente – Jefe de Laboratorio de Suelos y Materiales de Construcción
Teléfonos:	0983282066	Correo Electrónico:	lalmaches@ucacue.edu.ec
Proyectos de Investigación desarrollados en los últimos cinco años (máximo dos) :			



Nombre proyecto1:	Sistema Mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay		
Institución:	Monto financiado	Fecha inicio:	Fecha finalización:
Universidad Católica de Cuenca	65000	Marzo 2018	Diciembre 2019

Función en el proyecto	Colaborador 4 / Asesor		
Nombres y apellidos:	Víctor Rodríguez Galiano		
Cédula de Identidad o Pasaporte:	AAH931536	Para investigador de Ecuador: Categoría en el Registro Nacional de Investigadores de la SENESCYT (opcional)	
Institución a la que pertenece:	Universidad de Sevilla		
Unidad Académica / Facultad	Geografía e Historia	Carrera:	Geografía
Grado académico más alto y/o especialización	Doctor	Cargo actual:	Prof. Contratado
Teléfonos:	+34636501129	Correo Electrónico:	vrgaliano@us.es
Proyectos de Investigación desarrollados en los últimos cinco años (máximo dos) :			
Nombre proyecto1:	Estudio de cambios en la fenología de la vegetación de la Península Ibérica: la fenología observada desde satélite como indicadora de cambios en el clima		
Institución:	Monto financiado	Fecha inicio:	Fecha finalización:
Ministerio de Ciencia e Innovación. Universidades. Plan Nacional I+D+I. (Universidad de Sevilla).	42.000 €	01/01/2019	31/12/2021
Nombre proyecto2:	Monitoring vegetation phenology at multiple scales in Europe from the GMES satellite sensor time-series: a special consideration to natura 2000 areas		



Institución:	Monto financiado	Fecha inicio:	Fecha finalización:
Comisión Europea.	221.606,4 €	01/06/2013	31/05/2015
3 artículos con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:			
Artículo 1:	An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification		
Revista:	Vol, Nro, fecha pub.	DOI:	Cuartil:
ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing	2012	10.1016/j.isprsjprs.2011.11.002	Q1
Artículo 2:	Random Forest classification of Mediterranean land cover using multi-seasonal imagery and multi-seasonal texture		
Revista:	Vol, Nro, fecha	DOI:	Cuartil:
Remote Sensing of Environment	2012	10.1016/j.rse.2011.12.003	Q1
Artículo 3:	Machine learning predictive models for mineral prospectivity: An evaluation of neural networks, random forest, regression trees and support vector machines		
Revista:	Vol, Nro, fecha	DOI:	Cuartil:
Ore Geology Reviews	2015	10.1016/j.oregeorev.2015.01.001	Q1
Libros o capítulos de libro en los últimos 5 años. 3 de más alto impacto y relevancia:			
Título 1:	Quantitative risk management of groundwater contamination by nitrates using indicator geostatistics		
Editorial:	ISBN:	Fecha publicación:	Revisión de pares:
Springer	978-3-642-32407-9	2014	Si
Título 2:	Analysis of the prammetrization needs of different land cover classifiers: the case study of Granada Province (Spain)		
Editorial:	ISBN:	Fecha publicación:	Revisión de pares:
Springer	978-3-642-32407-9	2014	Si
Título 3:	Karst and Vegetation: Biodiversity and Geobotany in the Sierra de las Nieves Karst Aquifer (Málaga, Spain)		
Editorial:	ISBN:	Fecha publicación:	Revisión de pares:



Springer	78-3-030-14015-1	2018	Si
----------	------------------	------	----

ESTUDIANTES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO

Nombres completos	Cédula de Identidad	Correo Electrónico	Función	Unidad Académica / Carrera
Pablo Andres Vera Becerra	0150444966	Andresverab2107@gmail.com	Tesista	Ingeniería, Industria y Construcción
Marcos Daniel Mendez Andrade	0105250013	Danielmendez96@hotmail.com	Auxiliar de investigación / practicante	Ingeniería, Industria y Construcción
Juan Pablo Pacheco	0350155842	Pablito2531@gmail.com	Auxiliar de investigación / practicante	Ingeniería, Industria y Construcción
Daniel Alejandro Cabrera Andrade	0105904270	Daca98.666@gmail.com	Auxiliar de investigación / practicante	Ingeniería, Industria y Construcción
Teodoro Natanael Patiño Tenesaca	0302656202	Teodoronatanael5588@gmail.com	Auxiliar de investigación / practicante	Ingeniería, Industria y Construcción
Edwin Ismael Pauta Novillo	0106558059	Ismaelnovillo08@gmail.com	Auxiliar de investigación / practicante	Ingeniería, Industria y Construcción
Leonel Andrés Sánchez Molina	0106808173	Leonelandres0@gmail.com	Auxiliar de investigación / practicante	Ingeniería, Industria y Construcción
Henry Sebastián Serrano Meneses	0104521760	Henryserrano16@gmail.com	Auxiliar de investigación / practicante	Ingeniería, Industria y Construcción
Pablo Esteban Ramos Coronel	0104800164	Esteban12ramos@gmail.com	Auxiliar de investigación / practicante	Ingeniería, Industria y Construcción
Total :				



BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Descripción Beneficiarios Directos	Cantidad Estimada
Tesista	1
Practicantes	8
Docentes	3
Investigadora del IIGE	1
Descripción Beneficiarios Indirectos	Cantidad Estimada
Docentes de la Carrera de Ingeniería Civil	27
Docentes de la Carrera de Ingeniería Ambiental	7
Estudiantes	368
Técnicos del IIGE	20
Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias	20
Habitantes de la provincia del Azuay	800.000

Estimar. Beneficiarios directos

En la ejecución directa del proyecto se contempla a docentes, investigadores y alumnos, quienes son los beneficiarios directos a través de los procesos de investigación y de los resultados obtenidos del mismo.

Estimar. Beneficiarios indirectos

La escala del proyecto es a escala regional (provincial), por ello, se estipula como beneficiarios indirectos a todos los habitantes de la provincia, a lo que se suma estudiantes y docentes de las carreras participantes (Ingeniería Civil e Ingeniería Ambiental), técnicos e investigadores adicionales del IIGE y del Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. Todo esto a través de procesos de transferencia de resultados.

4 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

RESUMEN DEL PROYECTO

Los fenómenos tectónicos o eventos antrópicos originan movimientos de la superficie de la tierra, formando deformaciones que pueden concluir con la ocurrencia de deslizamientos, hundimientos, entre otros. Estos eventos se caracterizan por su carácter fuertemente destructivo, especialmente en zonas altamente vulnerables. Por ello, es indispensable contar con modelos predictivos que permitan identificar zonas susceptibles a fenómenos de esta índole, con la finalidad de contribuir a una acertada planificación territorial que favorezca el desarrollo socio económico de los pueblos, responsabilidad a cargo de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs). Técnicas de modelado que se convierten en el objetivo de un macro proyecto de investigación dividido en fases, donde este proyecto en particular, se constituye en la primera fase que persigue una caracterización y análisis de los factores geomorfológicos y ambientales de los eventos de deslizamientos



registrados en la provincia del Azuay. Esto con la finalidad de generar un inventario de datos técnico-científico que permita entrenar algoritmos de inteligencia artificial en la generación de modelos predictivos. Sin embargo, este análisis per se, se constituye ya en una herramienta poderosa de soporte a la toma de decisiones y una contribución a la academia y al ámbito científico por la generación de nuevo conocimiento referente a la relación de factores, su incidencia sobre el fenómeno de estudio y la metodología de levantamiento de información, estrechamente relacionado a las ciencias de la tierra. Este estudio parte de un registro histórico de deslizamientos que serán caracterizados en primera instancia utilizando teledetección óptica mediante imágenes satelitales multiespectrales con resolución espacial de (20 - 30 m) y 6 a 15 días de tiempo de revisita. A ello se suma los modelos digitales del terreno (MDT). El proceso metodológico a seguir incluye el análisis de series temporales de índices como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y la fracción de cobertura vegetal (Fcover), así como la extracción de parámetros geomorfológicos del suelo como la textura, rugosidad y convexidad. A más de ello, se contempla también estudios de observación in-situ orientados a la identificación geológica.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los desastres naturales tales como huracanes, terremotos, erosión, tsunami y deslizamientos de tierra, se han constituido en agentes de preocupación por entidades gubernamentales nacionales y locales debido a su constante ocurrencia. Estos hechos ocasionan numerosas pérdidas de vidas humanas y daños a la propiedad. Los deslizamientos en particular, representan aproximadamente el 9% de los desastres naturales ocurridos en todo el mundo durante la década de los 90' (Yilmaz, 2009), con tendencia en aumento a que sigan ocurriendo debido a: 1) fenómenos naturales como la precipitación, que gracias al cambio climático son cada vez más fuertes y 2) fenómenos antrópicos como consecuencias de procesos de urbanización sin planificación, el desarrollo y la deforestación.

Las zonas más peligrosas, se constituyen aquellas que se han visto caracterizadas por factores geográficos y ambientales que promueven la ocurrencia de deslizamientos como: pendientes pronunciadas, procesos de deforestación, degradación del suelo, lluvias torrenciales, entre otros aspectos (Saro, Woo, Kwan-Young, & Mounj-Jin, 2016). En la provincia del Azuay predominan las pendientes escarpadas, abarcando el 42,55% del territorio provincial. Estos terrenos presentan limitantes en el campo agrícola por la dificultad de ingresar maquinaria y el riego. Además, corren el riesgo de erosión hídrica y eólica, movimientos de masa. Así también, afectan directamente a las viviendas, producción agrícola y transporte vial.

Las medidas necesarias para combatir las consecuencias devastadoras de estos hechos, parte de una planificación territorial acertada, realizada sobre insumos técnicos que permita a los tomadores de decisiones, solventar problemas de desarrollo socio-económico existentes y mucho más evidentes en realidades como la andina. En respuesta a ello, se han desarrollado ampliamente los modelos computacionales predictivos de deslizamientos, buscándose por parte de la comunidad académica-científica alcanzar el menor nivel de incertidumbre, que sin duda alguna tiene una estrecha relación con la zona estudiada.

Hasta la fecha se ha conseguido tan solo un 80% de precisión en identificar que un terreno propenso a deslizamientos, sea clasificado como tal. Ante esto, el tipo y calidad de los datos utilizados en la fase de entrenamiento juegan un papel trascendental, ya que gracias a la experiencia que estos datos proporcionan, el algoritmo decide. Datos que para su levantamiento, requiere de fuertes inversiones de dinero, tiempo, recursos técnicos, herramientas sofisticadas de levantamiento, entre otros recursos. Su adquisición se puede complicar más aún por la dificultad de acceso, especialmente en zonas andinas como las correspondientes a la zona de estudio. Justamente este hecho, se constituye en una deficiencia importante a nivel de región, que hoy por hoy gracias al avance tecnológico, se cuenta con disciplinas como los Sistemas de Información Geográfica y Teledetección que permiten obtener y analizar los deslizamientos a partir de imágenes satelitales y procedimientos avanzados de cálculo, sin tener contacto directo con la superficie analizada; sin desmedro de los estudios in-situ.



Dentro de esta problemática, los métodos geofísicos y ensayos de materiales de suelos son indispensable para conocer diversas características del subsuelo, basándose en las propiedades tales como resistividad eléctrica, la propagación de ondas en el medio, la susceptibilidad magnética, la densidad de masa y demás parámetros geotécnicos que permitan describir un suelo en función de su litología, textura, tamaño de los granos, minerales presentes, estructura, color, presencia de material orgánico, porosidad, consistencia o resistencia. Sin embargo, sus principales inconvenientes son: disminución en la resolución de acuerdo a la profundidad; equipos sofisticados y de alto costo; la necesidad de calibración y de personal altamente calificado para el manejo de los equipos de levantamiento de información o de extracción de muestras; y la obtención de información indirecta que necesita ser correlacionada posteriormente. Es así, que sin desmedro de estas técnicas fundamentales para estudios a detalle, se presentan alternativas a través de técnicas de teledetección que facilitan y optimizan recursos para obtener información a una escala regional.

MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

Ante la ocurrencia de fenómenos físicos de origen natural o antrópico, es indispensable diferenciar terminología clave que permitirá contextualizar la presente investigación. Para ello, los términos amenaza, vulnerabilidad y riesgo, que comúnmente suelen ser utilizadas como sinónimos, tienen connotaciones diferentes. Amenaza se refiere a la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino en un período de tiempo y área determinados (Varnes, 1984). Otros en cambio, emplean el término para referirse a un evento o proceso potencialmente dañino caracterizado por una probabilidad, intensidad, magnitud, localización y otros (ONU/EIRD, 2004). Su ocurrencia produciría efectos adversos en las personas, los bienes y el medio ambiente. La vulnerabilidad es el grado de pérdida como resultado de la ocurrencia de un fenómeno geológico o la expectativa de daño sobre un determinado elemento expuesto. Se entiende también como la fragilidad del medio natural (Abad et al., 2010). Finalmente, el concepto de riesgo es la expectación de que algún evento produzca un impacto negativo sobre los elementos antrópicos de un área. Si estos elementos no están presentes entonces no existe el riesgo (Sieron, 2018). En este contexto, se establece la relación (1)

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} * \text{Vulnerabilidad} \quad (1)$$

Dentro de los procesos geológicos ligados a los riesgos geodinámicos externos se encuadran los movimientos del terreno en general. Dentro de ellos, los procesos que tienen lugar sobre la ladera como los deslizamientos, son los más comunes debido a que no están relacionados con un determinado tipo de litología y además, pueden ocurrir en infinidad de condiciones y sobre el cual influyen un gran número de factores que condicionan y desencadenan estos movimientos. En términos estrictos, un deslizamiento se constituye como el movimiento de una masa de roca, escombros o tierra por una pendiente, bajo la influencia de la gravedad (Reichenbach, Rossi, Malamud, Mihir, & Guzzetti, 2018). Es un fenómeno natural que afecta a cualquier tipo de ecosistema montañoso, y sus implicaciones pueden ser sobre las comunidades vegetales y las actividades humanas (Paolini & Sobrino, 2002). Para su ocurrencia, se evidencian dos tipos de factores. Los primeros, denominados factores intrínsecos o pasivos, son aquellos que dependen de la naturaleza, estructura y forma del terreno como: la litología, la estructura, las propiedades físicas de los materiales, el comportamiento hidrogeológico, las propiedades geomecánicas, el estado de esfuerzos, topografía, geomorfología, geología, uso y cobertura vegetal, entre otros. Ellos controlan o influyen sobre los diferentes tipos, mecánicas y modelos de movimientos que tendrá el terreno. Los segundos, son los factores externos o activos que se constituyen en aquellos que actúan sobre el material y modifican la estabilidad inicial de las laderas y taludes, como: aplicación de cargas estáticas, movimientos sísmicos, factores climáticos, cambios en las condiciones hidrogeológicas, variaciones en la geometría del talud, entre otros. Este último grupo de factores son los responsables de provocar o desencadenar la ocurrencia del fenómeno y a los cuales se les atribuye también la magnitud de ocurrencia.



Por la importancia que representa los riesgos a deslizamientos en temas de planificación territorial, se han realizado varios intentos para comprender la distribución espacio-temporal de éstos y así minimizar los posibles riesgos. Entre las metodologías abordadas para este fin, se distinguen técnicas heurísticas, determinísticas, estadísticas, entre otros. Las primeras, modelos cualitativos o heurísticos que se fundamentan en propiedades intrínsecas, determinándose el riesgo mediante visita in-situ o a partir de mapas cualitativos que establece ponderaciones a las diferentes variables. Una de las limitaciones de este método recae justamente en la subjetividad de estas ponderaciones y el insuficiente conocimiento sobre el área de interés. Los métodos cuantitativos o deterministas implican la estimación de valores cuantitativos de variables de estabilidad, su aplicación se recomienda en áreas donde los tipos de deslizamientos de tierra son simples y las propiedades intrínsecas son bastante homogéneas por lo que solo son aplicables a gran escala en áreas pequeñas. Entre sus limitaciones se tiene la dificultad en la obtención de los datos que se necesita y su alto grado de simplificación frente a datos incompletos. Se cuenta también con los métodos computacionales que requieren una gran cantidad de datos de entrada para generar resultados confiables. Estos métodos se han utilizado en Bornaetxea, Rossi, Marchesini, & Alvioli, (2018). Los algoritmos computacionales relacionan las variables dependientes con independientes y han sido ampliamente utilizados gracias a su naturaleza objetiva. Entre estos algoritmos se tiene: lógica difusa, redes neuronales artificiales (ANN), modelo neuro-difuso, entre otros (Yilmaz, 2009).

Para la aplicación de métodos computacionales y como un insumo de planificación per se, es fundamental contar con datos de entrenamiento y calibración. Estos datos pueden partir de un inventario de hechos históricos. Su calidad, vista desde los errores aleatorios y sistemáticos, tendrá un impacto significativo en la precisión del mapa resultante. Estos registros históricos se caracterizan por presentar sesgos típicos atribuibles a datos que corresponden a un espacio temporal particular, tipo de movimiento específico, mecanismo de activación específico, tamaño o la dirección de un solo evento desencadenante (Stanley & Kirschbaum, 2017). Además que, corresponden más a un registro de daños ocasionados y no a una descripción técnica - científica. Ante el sesgo que estos hechos pueden producir y la consecuente presencia de errores sistémicos en los datos de entrenamientos, los modelos empíricos de vulnerabilidad frente a deslizamientos se ven degradados.

En este marco, se han identificado varios estudios para la construcción de mapas de vulnerabilidad. En el Ecuador, el Servicio Nacional de Gestión de riesgos y Emergencias ha utilizado una metodología de análisis multicriterio (MCDA) con su técnica de procesamiento analítico jerárquico (AHP) basada en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Este proceso metodológico se fundamenta en la conformación de matrices de comparación por pares de Saaty para la estipulación de pesos a cada una de las variables, criterios o factores (en este proyecto se utilizarán estas tres palabras como sinónimos). Ese estudio ha utilizado variables como: densidad estructural definida por las fallas geológicas y lineamientos estructurales; pendiente del terreno; suelo definido por su textura; geología definido por la litología, textura, ángulo de fricción, cohesión, densidad del suelo y profundidad del suelo; precipitación, profundidad efectiva e índice de estabilidad. Sin embargo, en estudios realizados por (Medina, 2007; Pourghasemi & Rossi, 2017), en donde se ha realizado una exhaustiva revisión literaria, se identifica otros criterios ampliamente utilizados en el ámbito científico como: uso y cobertura del suelo, distancia de ríos, distancia de caminos, altitud, índice de humedad topográfica (TWI), curvatura en planta y curvatura de perfil, geomorfología, erosión, distancia a la vía, flujos de agua subterráneos, cursos de acumulación de agua, índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), actividad sísmica, distancia a zonas residenciales, proximidad a fondos de barrancos y a embalses (De la Riva, 2015; Herrás, Barredo, & Lomoschitz, 2002).

Para el levantamiento y análisis de estas variables, a más de los estudios in-situ, que se caracterizan por su precisión y alto costo, existen también métodos basados en teledetección y la interpretación visual de fotografías aéreas (Alvioli, Mondini, Fiorucci, Cardinali, & Marchesini, 2018). La teledetección, cuyos fundamentos se analizan desde el campo de la física, más concretamente desde la óptica y la electrónica, hace referencia a los procesos de adquisición de información de forma remota, sin tener contacto directo, de las propiedades físicas de los objetos, fenómenos geológicos, recursos naturales, actividades antrópicas y más; mediante mediciones de la energía reflejada en diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético (Soria & Matar de Saquis, 2016).



Longitudes que pueden ir desde angstroms (1×10^{-10} metros) hasta kilómetros (km). De esta forma, cada tipo de material u objeto sobre la superficie de la tierra reflejará la radiación incidente de forma distinta, lo que permitirá distinguirse de los demás, dando origen a la denominada firma espectral. Es así, que cada uno de estos materiales pueden ser analizados en función de la variaciones espectrales, espaciales y temporales de sus correspondientes firmas (Sacristán Romero, 2005).

Por razones prácticas, las longitudes de onda electromagnética se suelen agrupar en regiones de acuerdo a cierta homogeneidad entre ellas. Estas regiones son capturadas en diferentes bandas de una misma imagen satelital captadas por sensores colocados en satélites que orbitan en el espacio o puestos también en plataformas aeroportadas (UAV) o globos aeroestáticos. Los rangos del espectro electromagnético más común en la teledetección son (Chuvieco, 2010):

- Espectro visible (0,4 a 0,7 micrómetros): es la única radiación electromagnética que puede ver el ojo humano. Se divide en 3 rangos: azul (0,4 a 0,5 micrones), verde (0,5 a 0,6 micrones) y la rojo (0,6 a 0,7 micrones).
- Infrarrojo próximo o cercano (0,7 a 1,3 micrones): también conocido como infrarrojo reflejado y fotográfico. Esta banda resulta importante por su capacidad de detectar masas vegetales y concentraciones de humedad.
- Infrarrojo medio (1,3 a 8 micrones): en esta banda se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre.
- Infrarrojo lejano o térmico (8 a 14 micrones): incluye la porción emisiva del espectro terrestre.

PALABRAS CLAVE

Deslizamientos; Vulnerabilidad geológica; Riesgo; Teledetección; Sistemas de Información Geográfica; Azuay;

HIPÓTESIS O PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Las amenazas asociadas con los deslizamientos de tierra han sido profundamente analizada y cartografiada bajo diferentes preceptos, con la finalidad de generar los modelos predictivos más precisos y con menor incertidumbre para un territorio específico. Budimir, Atkinson, & Lewis, (2015) recoge una revisión literaria de los modelos más utilizados y los factores de mayor incidencia. Sin embargo, los resultados obtenidos hasta ahora muestran que menos del 80 por ciento de las unidades de tierra pueden clasificarse adecuadamente de acuerdo con su grado de inestabilidad. Esto depende directamente del tratamiento de datos, los factores utilizados y la información que se tenga de la zona de estudio, reconociendo que esta última, es inherentemente incierta. Sin embargo, este proceso de levantamiento de información enfrenta un obstáculo importante ¿dónde levantar? Este problema es un componente bien establecido de la toma de decisiones bajo incertidumbre (Sousa, Karam, & Einstein, 2014).

El análisis multivariado interrelaciona simultáneamente diferentes factores geomorfológicos y ambientales que varían en el espacio, tiempo y están íntimamente ligados a las condiciones geográficas de la zona. Todos los enfoques de tratamiento de datos son muy sensibles al tipo y la calidad de los factores elegidos para el análisis de la amenaza. Muy a menudo, estos factores se eligen porque pueden recopilarse fácilmente con las técnicas actuales de captura de datos. Sin embargo, no se conoce la relación directa o implicación que tiene sobre el fenómeno (Baeza & Corominas, 2001). Este análisis parte de la construcción de un mapa de inventario de deslizamientos de tierra, el mismo que se define como el mapeo sistemático de los deslizamientos existentes en una región y proporciona la distribución espacial de sus ubicaciones (Nandi & Shakoor, 2010). Como se indicó anteriormente, para su construcción se utilizan diferentes técnicas como estudios en campo, fotointerpretación y hasta se puede recurrir a la búsqueda de literatura para registros históricos de eventos de esta índole.

En función de lo expuesto, la provincia del Azuay cuenta con una cartografía de vulnerabilidad frente a deslizamientos, donde la mayor superficie de su territorio tiene una susceptibilidad alta a



movimientos en masa, por las propias condiciones geográficas de la zona (andina con pendientes escarpadas y la presencia de fallas geológicas). Este registro histórico es generado por el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias con el ECU 911 que presentan información desde el año 2016 e incluye localización y datos relacionados a sus implicaciones sociales. En función de lo expuesto, ¿Cuál es la relación espacio-temporal existente entre la ocurrencia de este fenómeno y su comportamiento espacial? ¿Cuáles son los factores ambientales y geomorfológicos que describen exactamente la ocurrencia de este fenómeno? ¿Existe alguna relación o factor común entre estos hechos? Para ello, se requiere de un análisis temporal en estos dos componentes (medioambiental y geomorfológico) que permita identificar causas, relación entre variables, constantes, condiciones geográficas de la zona, relación entre zonas afectadas y la temporalidad de la ocurrencia de los eventos.

DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

Las características de un deslizamiento están estrechamente relacionadas con los factores intrínsecos propias de la zona y factores externos que desencadenan en la ocurrencia de este fenómeno. Entre todos estos, esta investigación se centra en el análisis de factores ambientales y geomorfológicas que permitan analizar a este fenómeno en zonas con características geográficas andinas, con pendientes escarpadas y condiciones climatológicas especiales. Para ello, se toma como zona de estudio a la Provincia del Azuay. Esta investigación parte de un inventario histórico de movimientos de tierra levantado por el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias desde el año 2016 hasta la presente fecha. En donde, se registran aproximadamente 137 eventos georeferenciados, con una descripción social heterogénea más que científico-técnica.

El levantamiento de los factores objeto de este estudio se centra en insumos y procesos propios de teledetección. Entre los principales insumos se cuenta con imágenes ópticas multiespectrales. Comúnmente, se lleva a cabo a partir de sensores NOAA / AVHRR, SPOT / VEGETATION o TERRA / MODIS, SPOT-VEGETATION, SEAWIFS, MERIS, MODIS y AVHRR con resoluciones espaciales entre 8 km a 250 m y una frecuencia temporal de 8 a 16 días. Esta escala de trabajo dificulta estudios a escala regional o local, como los estipulados en esta investigación. Por ello, la respuesta a estas dificultades surge a través de: (1) La Misión Europea Sentinel-2 con resolución de 10-20 m cada cinco días con dos satélites, bajo ángulos de visión constantes en cada ubicación; (2) SPOT4 del Centro Nacional de Estudios Espaciales (CNES) de la Agencia Francesa (CNES), experimento que duró un corto periodo de tiempo; y (3) Landsat 8 con una resolución espacial de 30 m y un período de revisión de 16 días (Li et al., 2015).

Entre los procesos claves a considerar para la extracción de características ambientales y geomorfológicas, se contempla procesos de observación visual, foto interpretación y otros métodos analíticos. Para la fotointerpretación se puede ayudar de la composición o combinación de bandas a falso color, que favorece la discriminación litológica a través de características como humedad, cubierta vegetal, desgaste, entre otros. Así también, para este y otros procesos analíticos, se puede contemplar la fusión de imágenes entre canales multiespectrales y pancromáticos para cambiar la resolución espacial, debido a que el canal pancromático suele ser de mejor detalle que la multiespectral.

Las imágenes multiespectrales permiten la extracción de diferentes índices que favorecen el análisis de variables medioambientales asociados a la ocurrencia de un deslizamiento, entre los cuales se tiene:

NDVI: permite obtener información sobre el estado y desarrollo de la vegetación. En el ámbito de deslizamientos, permite identificar áreas afectadas cuando el NDVI es bajo y áreas no afectadas con valores altos, debido a la existencia de cubiertas vegetales saludable (Casagli et al., 2017). Este índice analizado en una serie temporal, proporciona información sobre los cambios en la distribución espacial de las zonas bioclimáticas, indicando variaciones en los patrones de circulación a gran escala o cambios en el uso de la tierra (Jönsson & Eklundh, 2004).

Fcover: Determina el porcentaje de vegetación existente. El monitoreo a través de una serie temporal de éste índice, evalúa la dinámica de la expansión o pérdida de vegetación, de especial relevancia



para un análisis del suelo (Li et al., 2015). La fracción de la vegetación verde, se utiliza para separar la vegetación y el suelo en los procesos de equilibrio energético, incluida la temperatura y la evapotranspiración. Para este cálculo intervienen las bandas que cubren el infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo medio (SWIR) (Jia et al., 2016; Riihimäki, Luoto, & Heiskanen, 2019).

El análisis de la geomorfología parte del estudio de la forma del terreno, a partir de su geometría (Iwahashi & Pike, 2007), reconocible a través de visitas en campo, fotografías aéreas o imágenes satelitales. Como insumo básico para estos factores, se cuenta con el modelo digital de terreno (MDT) generado por el programa SIGTIERRAS, que define la topografía del terreno. A partir del cual y con algoritmos espaciales y métodos geocientíficos provistos por herramientas SIG como SAGA, se puede obtener modelos derivados como la pendientes (Chousianitis et al., 2016); textura y rugosidad (LaHusen, Duvall, Booth, & Montgomery, 2016; Sánchez Serrano, Tejero López, & Bergamín de la Viña, 1998) y convexidad (Medina Cajamarca & Tacuri Espinoza, 2014; Park, Lee, Lee, & Lee, 2018). Esta información se consigue debido a que el MDT no solo tienen información de altitud, como es explícito en el valor de sus píxeles; sino también, contienen información relativa a la relación vecindad y distancia entre los diferentes niveles de vecindad.

El levantamiento del tipo de suelo, se realizará mediante técnicas de observación mediante el tacto y la sedimentación. Estas técnicas permiten obtener aproximaciones bastante certeras de la textura del suelo que después se pueden profundizar con estudios que requieren mayor inversión por el tipo de equipos en campo y en laboratorio que se requieren; así como también de personal altamente calificado para realizarlos. La técnica que se utilizará en esta investigación corresponde a la del tacto, basada en la manipulación con los dedos de una porción de muestra seca y/o mojada, para experimentar la rugosidad, la maleabilidad, pegajosidad en la palma de la mano, entre otras características. A partir de estas observaciones se presenta un sistema de claves de clasificación que permiten atribuir a la muestra una clase textural. La ventaja de esta técnica es que no requiere de equipamiento sofisticado. Sin embargo, las habilidades y destrezas del técnico juegan un papel trascendental. Otra técnica posible es la de sedimentación, aquí en cambio consiste en colocar la muestra del suelo en una probeta con agua y observar la sedimentación de las partículas por orden de tamaño (Molera Marimón & Llijós Viza, 1995)

Finalmente, las diferentes variables extraídas con técnicas de teledetección y/o técnicas in-situ descritas con anterioridad, serán estudiadas, analizadas, representadas e interpretadas de acuerdo a la metodología de análisis multivariante que permita evaluar la utilidad conjunta de los datos, como una alternativa exploratoria más que confirmatoria. Esto debido a que serán los propios datos quienes permitan encontrar respuestas o explicaciones valiosas ante la ocurrencia de deslizamientos (Jaramillo, 2008; Valladares, Martínez, & Vega, s. f.). El análisis multivariante puede proporcionar la contribución relativa de cada variable a la vulnerabilidad de deslizamientos (Irigaray & Chacón, 2002). Entre las técnicas de análisis multivariante aplicable a fenómenos geológicos se tiene: análisis de matriz de correlación (componentes principales, análisis de factores, análisis de regresión, entre otras) o técnicas dirigidas a determinar la relación entre variables como por ejemplo análisis discriminante, análisis por agrupación, análisis multivariado de varianza, entre otros.

OBJETIVOS

4.1.1 GENERAL

- Realizar una caracterización de los deslizamientos mediante un análisis de sus factores geomorfológicos y ambientales.

4.1.2 ESPECÍFICOS

- Conocer la realidad de la provincial del Azuay frente a amenazas de deslizamientos mediante información bibliográfica y la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica
- Generar un inventario científico – técnico de amenazas asociadas a deslizamientos mediante técnicas de teledetección y levantamiento in-situ.



- Explicar el comportamiento de los deslizamientos que tienen lugar en la provincia del Azuay en función de sus factores geomorfológicos y ambientales.

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Los eventos de naturaleza geológica que implican riesgos potenciales para la sociedad (eje. deslizamientos), se caracterizan por su difícil predicción y graves consecuencias. A nivel mundial y Ecuador no es la excepción, son los causantes de la mayor cantidad de muertes en desastre, a lo que se suma daños en los recursos naturales y en la infraestructura, como viviendas, carreteras y puentes (Pourghasemi & Rossi, 2017). Aunque el factor más peligroso es el grado de desconocimiento y la falta de información sobre estos fenómenos (Abad et al., 2010). Evaluar el peligro relacionado con los deslizamientos de tierra con información y antecedentes limitados es un desafío constante para ingenieros, geólogos, planificadores, propietarios de tierras, desarrolladores y entidades gubernamentales (Nandi & Shakoor, 2010). Comprender los patrones del paisaje, los cambios y las interacciones entre las actividades humanas y los fenómenos naturales son esenciales para el manejo adecuado de la tierra y la mejora en las decisiones. La aplicación de datos de teledetección permite estudiar los cambios en el suelo en menos tiempo, a bajo costo y con mayor precisión. Las imágenes satelitales de alta resolución espacial, su procesamiento y el avance de tecnologías GIS, ha permitido monitoreo y modelados más rutinario y consistente (Rawat & Kumar, 2015).

El garantizar una vida digna en igualdad de oportunidades para las personas, es una forma de asumir el papel del Estado para lograr el desarrollo. Para ello, se hace hincapié en el acceso a los servicios básicos y el disfrute de un hábitat seguro, que supone los espacios públicos, de recreación, vías, movilidad, transporte sostenible y calidad ambiental. En este contexto, la pertinencia territorial juega un papel trascendental, al encontrar los puntos en común para articular las políticas públicas entre los ejes del desarrollo, y garantizar la sustentabilidad de los recursos naturales, la transformación productiva, la reducción de brechas territoriales, así como la resiliencia de la población. Es aquí, que la gestión de riesgos, se considera como ejes fundamentales para:

- Construcción, operación y mantenimiento de la inversión pública (por ejemplo: sistema vial, la vivienda de interés social, equipamiento social y espacios públicos).
- Implementación de sistemas constructivos seguros y energéticamente eficientes en zonas de alta exposición a amenazas de origen natural y antrópico.
- Controlar y planificar la expansión urbana, para evitar la ocupación de espacios con alto riesgo de amenazas de origen natural y antrópico.
- Identificar las infraestructuras y los equipamientos expuestos a amenazas de origen natural y antrópico.

Así también, la anhelada equidad en toda su extensión, parte de territorios seguros y resilientes, con una reducción de vulnerabilidades ante riesgos naturales. Para ello, identificar las zonas propensas a eventos naturales y antrópicos adversos es trascendental y el punto de partida para mitigar su impacto y, a partir de esto, elaborar estrategias que incluyan medidas de prevención y reducción de riesgos; así como generar mapas de vulnerabilidad ambiental.

Para esto, la teledetección ha sido un método integral de investigación de deslizamientos a nivel detallado durante muchas décadas, que ha agregado una nueva dimensión a la investigación de gestión de desastres al proporcionar información precisa y en tiempo real. También, desempeña un papel en la producción de un mapa de inventario de deslizamientos de tierra y en la generación de mapas temáticos relacionados con la ocurrencia de este fenómeno (Shahabi & Hashim, 2015). Varios trabajos anteriores han demostrado la importancia de los datos de teledetección tanto en la extracción de factores causales como en el hallazgo de áreas propensas a deslizamientos. Entre las ventajas se destaca la capacidad temporal de las imágenes de teledetección para realizar un análisis temporal de los deslizamientos, de forma que permita entender su comportamiento y el de los factores que lo desencadenan. Además, estos datos se pueden manipular fácilmente a través de un SIG e interoperar con algoritmos computacionales de alto rendimiento para delimitar áreas probables de deslizamientos de tierra (Kumar, Anbalagan, 2015).



Frente a lo expuesto y a lo que se ha abordado en los diferentes apartados, un inventario histórico de deslizamientos que cuente con una caracterización detallada de los factores geomorfológicos y ambientales que influyeron en su ocurrencia, se constituye per se en un insumo a la toma de decisiones y como un conjunto de datos de entrenamiento para la construcción de modelos predictivos exactos y con menor incertidumbre.

RESULTADOS ESPERADOS

Objetivo específico 1: Conocer la realidad de la provincial del Azuay frente a amenazas de deslizamientos mediante información bibliográfica y la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica.

Como resultado de este objetivo se desarrollará un modelo de conocimiento de las amenazas frente a deslizamientos, considerando las condiciones propias de la zona de estudio (Provincia del Azuay). Se esquematiza como un aporte en la generación de nueva información en el ámbito de riesgos y de ciencias de la tierra.

Objetivo específico 2: Generar un inventario científico – técnico de amenazas asociadas a deslizamientos mediante técnicas de teledetección y levantamiento in-situ.

Se generará un inventario científico – técnico de amenazas frente a deslizamientos. Este inventario contribuye directamente a la toma de decisiones para la planificación y el ordenamiento territorial de los 15 cantones de la Provincia. Por su sola consideración en los próximos planes de ordenamiento territorial, tendrían una vigencia de 5 años. Para la caracterización de los deslizamientos mediante factores ambientales y geomorfológicos se propone técnicas de teledetección como una herramienta eficiente a escala regional con inversiones más bajas.

Objetivo específico 3: Explicar el comportamiento de los deslizamientos que tienen lugar en la provincia del Azuay en función de sus factores geomorfológicos y ambientales.

Para este objetivo, se formulan como resultados un análisis multivalente, modelo cartográfico de las variables que influyen en la ocurrencia de los deslizamientos en la provincia del Azuay y base de datos geoespacial producto del análisis. Se constituye como el principal aporte del proyecto en el ámbito científico por la generación de nuevo conocimiento para la gestión de riesgos en la zona de interés y su contraste con realidades mucho más debatidas por la cantidad de estudios de esta índole que presentan.

Los resultados del objetivo 2 y 3 se constituyen como el punto de partida para la generación de modelos computacionales predictivos de amenazas frente a deslizamientos. Estos modelos suponen una mejora sustancial a las técnicas tradicionales de sobre-posición de información geográfica. Para el Ecuador, se registran ciertas aplicaciones de modelos computacionales en zonas específicas. Sin embargo, por la precisión de la información utilizada, no se puede escalar fácilmente a otras realidades. Además, las variables que forman parte de aquellos estudios, en la mayoría de los casos responden a técnicas costosas como los estudios geotécnicos. La teledetección como principal herramienta de este proyecto, implica una cobertura casi global a bajos costos por lo que facilita su replicabilidad en otros contextos geográficos y con la opción de introducir estudios temporales de las variables analizadas.

ASPECTOS BIOÉTICOS Y SOCIALES

El presente proyecto de investigación no contempla la existencia de aspectos bioéticos y sociales, puesto que se trabajará de primera mano con objetos geográficos inertes, sobre el cual, en esta primera fase, se aplicará únicamente instrumentos de teledetección y observación en campo, por lo que tampoco se generará daño alguno al entorno natural, su paisaje, ecosistema y menos aún a las poblaciones aledañas.



LABORATORIO AL CUAL SE SUSCRIBE LA PROPUESTA

Laboratorio	Centro	
Biotecnología	CIITT	
Principios Activos y Soberanía Alimentaria	CIITT	
Contaminación Ambiental y Aguas Residuales	CIITT	
Psicometría y Neurociencias Cognitivas	CIITT	
Simulación en tiempo real	CIITT	
Luminotecnia	CIITT	
Biología Molecular y Genética	CIITT	
Analítica Computacional de Datos	CIITT	X
Internet de las Cosas	CIITT	
Realidad Virtual	CIITT	
Observatorio de Fenómenos Sociales	CIITT	
Biología Molecular y Genética	Cuenca o Azogues	
Saberes Ancestrales	MACAS	

5 IMPACTO DEL PROYECTO

IMPACTO LEGAL, SOCIAL, TÉCNICO Y/O ECONÓMICO

El proyecto busca entender la dinámica de los movimientos en masa en la provincia del Azuay. Esta zona tiene una susceptibilidad alta ante la ocurrencia de fenómenos de esta índole. Por ello, es importante realizar el análisis y evaluación de las variables geofísicas y ambientales que influyen, con el fin de contar con información científica de relevancia que aporte y contribuya en la gestión preventiva del riesgo. La investigación aporta con el conocimiento científico, el cual permite a los tomadores de decisiones realizar planificación y un ordenamiento territorial acertado.

La UCACUE y el IIGE con la consecución del proyecto de investigación, beneficiarán con capacitación a las autoridades, técnicos relacionados con las ramas de riesgo, estudiantes y comunidad en general. Proceso que promoverá la educación, investigación, formación de talento humano local, intercambio de conocimientos sobre las temáticas que se abordarán durante el desarrollo del proyecto y la generación de información científica útil para la gestión preventiva de movimientos en masa.

La evaluación de la susceptibilidad, vulnerabilidad y peligrosidad del territorio frente a riesgos de carácter geológico tiene un impacto socioeconómico directo. La ocurrencia de estos fenómenos, pueden constituirse en un desastre natural, no por su mera existencia, sino como resultado del accionar humano o falta de este. A tal punto que han llegado a causar importantes daños materiales



que afectan a infraestructuras de carácter público y/o privado (a menudo afectan la red de carreteras del país y otras infraestructuras críticas, dejando comunidades enteras destruidas o sin comunicación) y hasta cobran numerosas vidas. El estudio detallado de la amenaza del territorio posibilita la clasificación del mismo en áreas de alta, media y baja susceptibilidad con relación a las diferentes catástrofes de origen geológico. El área de estudio por su ubicación geográfica, es sin duda, susceptible de sufrir las consecuencias de dichos procesos geomorfológicos. Por tanto, el principal impacto de este proyecto deriva en la generación de insumos que permitan desarrollar una acertada planificación territorial en su componente físico, estratégico y operacional y la elaboración de acciones antes de la ocurrencia de un fenómeno de esta índole. Es importante resaltar que la prevención y la mitigación más que ser soluciones físicas, son soluciones sociales, que permitan el generar estrategias proactivas más que reactivas.

En la planificación territorial, los tomadores de decisión podrán evaluar zonas vulnerables para la construcción, que limitará básicamente la expansión urbana horizontal. Así también, les pone a los planificadores en una confrontación para la evaluación de costo beneficio de la construcción en laderas a corto, mediano y largo plazo en busca de la eficiencia económica y resiliencia comunitaria. Entre otras planificaciones que se pueden realizar, es la cuantía asignada para la reparación de pérdidas en caso de la ocurrencia de estos fenómenos, al menos eso pasa en países industrializados (Klose, Maurischat, & Damm, 2016).

Un beneficio adicional será el de la adquisición y tratamiento de un importante volumen de imágenes de satélite. Cabe destacar que todas las imágenes que se adquieran y traten en el marco de este proyecto, constituirán una base de imágenes con una gran potencialidad para su uso en otras áreas de ciencias de la tierra, ciencias de la construcción y ciencias ambientales.

IMPACTO AMBIENTAL

Como implicaciones ambientales negativas por la ejecución del proyecto, no se identifica ninguna. Por lo contrario, la ocurrencia de deslizamientos repercute directamente en el cambio del paisaje de la zona modificando relieve, topografía, geomorfología, uso de suelo (Huisa Ccori, Tejada Bedoya, & Sarmiento Mejía, 2019), teniendo fuertes impactos ambientales, que con la caracterización de los factores y el análisis de los mismos, que repercute finalmente en un inventario científico - técnico, se puede estipular planes de manejo ambiental, control y mitigación de daños.

RIESGOS DEL PROYECTO

RIESGOS	ESTRATEGIAS PARA SUPERARLOS
Retrasos en la ejecución presupuestaria causaría retraso en el cumplimiento de actividades planificadas. Esto a su vez afectaría en la adquisición de insumos, desarrollo de la investigación, obtención de resultados y su difusión.	La UCACUE entregue los fondos de acuerdo a la planificación aprobada o que se conceda la prórroga según tiempo de desfase.
Un recorte presupuestario causaría incumplimiento parcial de las actividades y consecuentemente entrega de productos de menor calidad.	Se solicitaría un certificado de la asignación presupuestaria a las instituciones participantes
Una falta de apoyo de los actores relacionados al proyecto causaría incumplimiento de actividades planificadas.	Implementación de mecanismos de adhesión y compromisos por parte de los actores involucrados. La Universidad contempla en su reglamento la



	participación de estudiantes como ayudantes de investigación.
La demora en la adquisición de imágenes satelitales, repercutiría en el retraso de las actividades planificadas.	Seguimiento adecuado y oportuno a la gestión administrativa-financiera del proyecto.
La falta de información causaría retraso en el análisis y evaluación de variables geográficas.	El SNGR y el IIGE cuentan con información histórica de la zona de estudio. Además, la falta de información in-situ se puede solventar con procesos de teledetección como se estipula en la metodología.
La falta de tiempo dedicado a la investigación por carga de trabajo concerniente a otros proyectos y/o actividades propias de las actividad profesionales de cada actor	La UCACUE y el IIGE definirá un porcentaje de tiempo de trabajo específico semanal para la ejecución del proyecto. En el caso de la UCACUE, según reglamento, debe asegurar el descargo de horas correspondiente a su gestión docente.

PLAN DE SOSTENIBILIDAD

Los resultados de la investigación, en esta primera fase, permitirán contar con información científica actualizada y una línea base descriptiva como geográfica de deslizamientos ajustada a la zona de estudio, mediante la construcción de un inventario técnico, académico y científico. Información imprescindible para los tomadores de decisiones y la elaboración de la planificación y ordenamiento territorial. Su solo reconocimiento dentro de la planificación territorial, involucra ya una permanencia de al menos 5 años, hasta una nueva actualización. Además, que esta propuesta se plantea como una primera fase de un proyecto que tiene como objetivo final, la construcción de modelos predictivos ajustados a la zona de estudio que permitirán responder y generar planes de prevención y mitigación ante eventos de esta índole, de forma que sus implicaciones no sean devastadoras.

Desde el punto de vista de transferencia de conocimiento y tecnología, la presente investigación está encaminada a fortalecer a las instituciones ejecutoras del proyecto, así como instituciones afines, la capacitación del recurso humano y aplicación de tecnología en el campo de la investigación de los procesos de movimientos en masa, dejando una línea base para una mejora continua. La cooperación entre la UCACUE y el IIGE está en función de las competencias de las instituciones, lo cual permitirá a cada uno de los actores programar y ejecutar a mediano y largo plazo acciones que garanticen la sostenibilidad del proyecto.

En virtud de lo expuesto, luego de concluir el proyecto se difundirá a los diferentes beneficiarios, a fin de transferir información que contribuirá en la gestión preventiva ante la ocurrencia de movimientos en masa. Además, se plantea entre los actores a los cuales se socializará el proyecto, a instituciones públicas, como el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias; y Gobiernos Autónomos Descentralizados involucrados, para continuar con nuevas investigaciones que se deriven de esta línea base.

6 DIFUSIÓN DE RESULTADOS

EFFECTOS MULTIPLICADORES

- La generación de nuevas investigaciones y desarrollo de nuevas metodologías, procesos o técnicas aplicables al campo de investigación relacionado al proyecto.



Tal como se ha venido indicando, este proyecto se configura como una primera fase de un macro proyecto que pretende realizar modelos predictivos de deslizamientos para la provincial del Azuay, lo que contribuirá a la innovación tecnológica con la integración de machine learning, técnicas de teledetección y algoritmos evolutivos. Además, que la generación de este inventario y análisis de los factores activos y pasivos para la ocurrencia de fenómenos geológicos, per se, utiliza tecnologías de vanguardia, vinculando insumos y procesos propios de la teledetección integrándose con los Sistemas de Información Geográfica, por lo que le vuelve fácilmente replicable en otras realidades y contextos. La ventaja de este inventario, es el levantamiento de variables a través de la utilización de imágenes satelitales, las mismas que a través de sus múltiples programas, presentan una cobertura global, permanente y continua, con una diversidad de resoluciones que dependerán de la escala de trabajo.

- La formación de recursos humanos a nivel de pre y post grado

En el proyecto de investigación se contempla la figura de auxiliares de investigación, siendo ellos estudiantes de la Universidad Católica de Cuenca en su formación de pregrado de la carrera de Ingeniería Civil. Esta experiencia les permitirá nutrir e interactuar a los docentes con grupos de investigación y adquirir destrezas en este ámbito. Convirtiéndose estos procesos, en espacios abiertos para su formación permanente, a más que dentro de sus deberes y derechos se consagra la participación en actividades de investigación e innovación y de vinculación con la sociedad de acuerdo a las normas y disposiciones pertinentes. Así también, el proyecto de investigación deriva en un proyecto de tesis para un estudiante de Ingeniería Civil. Además, la colaboración de un investigador de trayectoria y destacado en el ámbito de esta investigación, permite también nutrir a los docentes de esta alma mater y generar redes de colaboración e investigación en pro de las funciones sustantivas de la UCACUE.

TRANSFERENCIA DE RESULTADOS

Para la transferencia de resultados, se contempla la publicación de un artículo científico en una revista internacional de alto impacto. Entre las revistas candidatas en las cuales se puede publicar se contempla:

Publicaciones con ISSN planificadas en la propuesta							
Cantidad	Nombre de la revista	Base de datos	País	Cuartil			
				Q1	Q2	Q3	Q4
1	Remote Sensing applications: Society and Environment	SCOPUS	<u>Netherlands</u>		X		

Es importante destacar que, dado el interés socio-económico que tienen los resultados de este proyecto, parte de los resultados del proyecto, se pueden socializar fuera del ámbito científico y universitario. Las vías usuales para esto son la publicación de artículos de divulgación científica en periódicos de carácter local y regional; así como la organización de mesas redondas y otros foros de debate, en donde se invite a los responsables de las distintas administraciones y organismos, tanto públicos como privados, implicados en la gestión y ordenación del territorio.

7 PLANIFICACIÓN Y FINANCIAMIENTO

FACILIDADES DE TRABAJO

La Universidad Católica de Cuenca, en consonancia con la Constitución de la República del Ecuador, El Plan Nacional Toda una Vida 2017-2021, normativas del CACES y los reglamentos generales de la



LOES, establece como una de sus funciones sustantivas a la investigación y vinculación con la comunidad como fuente de saberes, generadora y soporte de la docencia. Procesos que se encuentran a cargo del Vicerrectorado de Investigación, Innovación, Vinculación con la sociedad y Posgrados. A esto se suma el Centro de Investigación, Innovación y Trasferencia de Tecnología – CIITT que dispone del laboratorio de Análítica Computacional de Datos que permitirá el procesamiento y análisis de una gran cantidad de información espacializada que cubra la zona de estudio a nivel geográfico y alfanumérico.

La Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción cuenta con su propio centro de investigación, el cual conformamos profesores e investigadores de diversas áreas y dominios del conocimiento, acordes a esta propuesta. En términos concretos, lo antes expuesto se operativiza a través del Plan Estratégico de Desarrollo Institucional (PEDI), El Plan Operativo Anual y políticas, normas y procedimientos que regulan el proceso académico, integrado a la docencia y vinculación con la sociedad. A través de la línea de investigación de Ciencias Exactas, naturales y tecnológicas en el ámbito del Desarrollo regional y local y Geotecnia. Es importante indicar que el proyecto, al ser aprobado, se enmarca en una convocatoria de la UCACUE, por lo que la Universidad compromete esos recursos para la ejecución del mismo.

El Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), como entidad Co Ejecutora, es el responsable de prevenir las amenazas geológicas (movimientos en masa) en apoyo al ordenamiento territorial. A fin de garantizar una adecuada ejecución de las actividades del proyecto, basa su rol apegado a lo establecido en el Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021 como parte de su política 1.11: “Impulsar una cultura de gestión integral de riesgos que disminuya la vulnerabilidad y garantice a la ciudadanía la prevención, la respuesta y atención a todo tipo de emergencias y desastres originados por causas naturales, antrópicas o vinculadas con el cambio climático”.

La Ley de Minería, Art. 10, así como en el Reglamento de la Ley de Minería Art.18, literales d, e, g, que determinan que son atribuciones del IIGE: Realizar estudios relacionados a riesgos geológicos, mineros y metalúrgicos; Generar, sistematizar, focalizar y administrar la información geológica en todo el territorio nacional; Prevenir la incidencia de las amenazas geológicas y antrópicas. Además, de acuerdo al Estatuto Orgánico de Gestión por Procesos, el IIGE a través de la Dirección de Gestión Científica dentro de sus atribuciones y responsabilidades, tiene como competencia: Gestionar los procesos de investigación básica y aplicada en el ámbito geológico y energético, así como su desarrollo tecnológico; coordinar la investigación científica e innovación en geología y energía, con la colaboración de universidades, centros de investigación a nivel nacional e internacional, e investigadores asociados. Dentro de la investigación aplicada se consideran la identificación y modelamiento de amenazas geológicas.

De conformidad con el Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación donde se considera a los Institutos públicos de Investigación, entre ellos el IIGE, como entes que pueden realizar actividades relacionadas con el conocimiento, la creatividad y la innovación. El Art. 7 del Reglamento al Código de Conocimiento, se considera al IIGE como IPI y lo vincula como actor del sistema nacional de ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales.

Es importante indicar que este proyecto cuenta también con la asesoría de un docente principal de la Universidad de Sevilla, cuya línea de investigación es el análisis de diferentes variables ambientales a través de técnicas e insumos de teledetección y la generación de modelos predictivos a través de inteligencia artificial. Dentro de su trayectoria profesional se puede destacar estancias post-doctorales del reconocido programa europeo Marie Curie, vinculado a la Universidad de Southampton en Reino Unido, además de ser investigador principal de varios proyectos de investigación a nivel europeo.

En referencia al equipo principal de investigación que se estipula en este proyecto, se cuenta con investigadores con perfiles de acorde al proyecto en función de su formación académica y experiencia profesional. Es así, que se cuenta con una ingeniera en sistemas, geóloga, químico y civil con dominios en el campo metodológico que involucra especialmente técnicas y procesos de teledetección como también en el ámbito del problema que involucra sólidos conocimientos de geología y geotecnia.



CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Anexo I: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES Y RESPONSABILIDADES.

PRESUPUESTO Y PROGRAMACIÓN FINANCIERA

Anexo II 1: DETALLE DE PRESUPUESTO.

Anexo II 2: PRESUPUESTO CONDENSADO.

Anexo II 3: PRESUPUESTO POR FUENTES DE FINANCIAMIENTO.

8 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS CIENTÍFICAS CITADAS

- Abad, M., López-González, N., Delgado, J., Rodríguez-Vidal, J., Chamorro, S., & Cáceres, M. (2010). *Análisis y cartografía de peligrosidad geológica en el Litoral de Ceuta*. 19.
- Alvioli, M., Mondini, A. C., Fiorucci, F., Cardinali, M., & Marchesini, I. (2018). Topography-driven satellite imagery analysis for landslide mapping. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 544-567. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1458050>
- Baeza, C., & Corominas, J. (2001). Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(12), 1251-1263. <https://doi.org/10.1002/esp.263>
- Bornaetxea, T., Rossi, M., Marchesini, I., & Alvioli, M. (2018). Effective surveyed area and its role in statistical landslide susceptibility assessments. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 1-22. <https://doi.org/10.5194/nhess-2018-88>
- Budimir, M. E. A., Atkinson, P. M., & Lewis, H. G. (2015). A systematic review of landslide probability mapping using logistic regression. *Landslides*, 12(3), 419-436. <https://doi.org/10.1007/s10346-014-0550-5>
- Casagli, N., Frodella, W., Morelli, S., Tofani, V., Ciampalini, A., Intrieri, E., ... Lu, P. (2017). Spaceborne, UAV and ground-based remote sensing techniques for landslide mapping, monitoring and early warning. *Geoenvironmental Disasters*, 4(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s40677-017-0073-1>
- Chousianitis, K., Del Gaudio, V., Sabatakakis, N., Kavoura, K., Drakatos, G., Bathrellos, G. D., & Skilodimou, H. D. (2016). Assessment of Earthquake-Induced Landslide Hazard in Greece: From Arias Intensity to Spatial Distribution of Slope Resistance Demand. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 106(1), 174-188. <https://doi.org/10.1785/0120150172>
- Chuvienco, E. (2010). *Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde el espacio* (Ariel).
- De la Riva, J. (Ed.). (2015). *Análisis espacial y representación geográfica innovación y aplicación*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza, Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio.
- Gobierno Provincial del Azuay. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Azuay actualizado*.
- Herrás, J., Barredo, J. I., & Lomoschitz, A. (2002). Elaboración de mapas de susceptibilidad de deslizamientos mediante SIG, teledetección y métodos de evaluación multicriterio, aplicación a la depresión de Tirajana (Gran Canaria). *Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y aplicaciones en España, Instituto Geológico y Minero de España*.
- Huang, Y., & Zhao, L. (2018). Review on landslide susceptibility mapping using support vector machines. *CATENA*, 165, 520-529. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.03.003>
- Huisa Ccori, C., Tejada Bedoya, Z. G., & Sarmiento Mejía, Z. (2019). Estudio del Diseño de Talud de las Escombreras Mineras para Mitigar el Impacto Ambiental por Deslizamiento. *Ciencia & Desarrollo*, (13), 7-11. <https://doi.org/10.33326/26176033.2011.13.269>
- Irigaray, & Chacón. (2002). *Métodos del análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante S.I.G.*



- Iwahashi, J., & Pike, R. J. (2007). Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature. *Geomorphology*, *86*(3-4), 409-440. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.09.012>
- Jaramillo, L. A. (2008). Indicadores ambientales sintéticos: Una aproximación conceptual desde la estadística multivariante. *Gestión y Ambiente*, *11*(1).
- Jia, K., Liang, S., Gu, X., Baret, F., Wei, X., Wang, X., ... Li, Y. (2016). Fractional vegetation cover estimation algorithm for Chinese GF-1 wide field view data. *Remote Sensing of Environment*, *177*, 184-191. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.019>
- Jönsson, P., & Eklundh, L. (2004). TIMESAT—a program for analyzing time-series of satellite sensor data. *Computers & Geosciences*, *30*(8), 833-845. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2004.05.006>
- Klose, M., Maurischat, P., & Damm, B. (2016). Landslide impacts in Germany: A historical and socioeconomic perspective. *Landslides*, *13*(1), 183-199. <https://doi.org/10.1007/s10346-015-0643-9>
- Kumar, R., & Anbalagan, R. (2015). Remote sensing and GIS based artificial neural network system for landslide susceptibility mapping. *IEEE*
- LaHusen, S. R., Duvall, A. R., Booth, A. M., & Montgomery, D. R. (2016). Surface roughness dating of long-runout landslides near Oso, Washington (USA), reveals persistent postglacial hillslope instability. *Geology*, *44*(2), 111-114. <https://doi.org/10.1130/G37267.1>
- Li, W., Weiss, M., Waldner, F., Defourny, P., Demarez, V., Morin, D., ... Baret, F. (2015). A Generic Algorithm to Estimate LAI, FAPAR and FCOVER Variables from SPOT4_HRVIR and Landsat Sensors: Evaluation of the Consistency and Comparison with Ground Measurements. *Remote Sensing*, *7*(11), 15494-15516. <https://doi.org/10.3390/rs71115494>
- Medina, B. Y. (2007). *Deslizamientos e impactos ambientales de los huracanes Mitch y Stan, en Guatemala*. 11. Brasil.
- Medina Cajamarca, L. I., & Tacuri Espinoza, E. (2014). *Automatización del trazado de geoformas del relieve mediante sistemas de información geográfica, a partir de un modelo digital de terreno*. Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Molera Marimón, J., & Llijós Viza, A. (1995). Estudio de cuatro adaptaciones escolares de métodos de observación y determinación de la textura del suelo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*.
- Nandi, A., & Shakoor, A. (2010). A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses. *Engineering Geology*, *110*(1-2), 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.10.001>
- ONU/EIRD. (2004). *Glosario del Libro Vivir con el Riesgo, Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres*.
- Paolini, L., & Sobrino, J. A. (2002). *Detección de deslizamientos de ladera mediante imágenes Landsat TM: el impacto de estos disturbios sobre los bosques subtropicales del noroeste de Argentina*. 8.
- Park, S.-J., Lee, C.-W., Lee, S., & Lee, M.-J. (2018). Landslide Susceptibility Mapping and Comparison Using Decision Tree Models: A Case Study of Jumunjin Area, Korea. *Remote Sensing*, *10*(10), 1545. <https://doi.org/10.3390/rs10101545>
- Pourghasemi, H. R., & Rossi, M. (2017). Landslide susceptibility modeling in a landslide prone area in Mazandarn Province, north of Iran: A comparison between GLM, GAM, MARS, and M-AHP methods. *Theoretical and Applied Climatology*, *130*(1-2), 609-633. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1919-2>
- Rawat, J. S., & Kumar, M. (2015). Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, *18*(1), 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.02.002>
- Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M., & Guzzetti, F. (2018). A review of statistically-based landslide susceptibility models. *Earth-Science Reviews*, *180*, 60-91. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.001>



- Riihimäki, H., Luoto, M., & Heiskanen, J. (2019). Estimating fractional cover of tundra vegetation at multiple scales using unmanned aerial systems and optical satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 224, 119-132. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.030>
- Sacristán Romero, F. (2005). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Civilizar*, 5(9), 1. <https://doi.org/10.22518/16578953.701>
- Sánchez Serrano, F., Tejero López, R., & Bergamín de la Viña, J. F. (1998). Análisis de la variabilidad del relieve a partir de modelos digitales del terreno. *Rev. Soc. Geol.*
- Saro, L., Woo, J. S., Kwan-Young, O., & Moungh-Jin, L. (2016). The spatial prediction of landslide susceptibility applying artificial neural network and logistic regression models: A case study of Inje, Korea. *Open Geosciences*, 8(1). <https://doi.org/10.1515/geo-2016-0010>
- Shahabi, H., Hashim M. (2015). Landslide susceptibility mapping using GIS-based statistical models and Remote sensing data in tropical environment. *Scientific Reports*. DOI:10.1038/srep09899
- Sieron, K. (2018). Vulnerabilidad socioambiental ante fenómenos naturales en las localidades de Texcaltitán, Tonalapan y Nacimiento de Xogapan. *UVserva*, (5). <https://doi.org/10.25009/uvserva.v0i5.2574>
- Soria, M. V., & Matar de Saquis, M. A. (2016). *Nociones sobre teledetección*. 79.
- Sousa, R. L., Karam, K., & Einstein, H. H. (2014). Exploration analysis for landslide risk management. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 8(3), 155-170. <https://doi.org/10.1080/17499518.2014.958174>
- Stanley, T. A., & Kirschbaum, D. B. (2017). *Effects of Inventory Bias on Landslide Susceptibility Calculations*. Presentado en 3ed North American Symposium on Landslides, Virginia, USA.
- Valladares, Y. C., Martínez, V. M. V., & Vega, S. (s. f.). *Aplicación de técnicas estadísticas multivariantes en el análisis de datos*. (2017), 12.
- Varnes, D. J. (1984). *Landslide Hazard Zonation: A review of principles and practice: UNESCO*.
- Yilmaz, I. (2009). Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat—Turkey). *Computers & Geosciences*, 35(6), 1125-1138. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2008.08.007>

9 DECLARACIÓN FINAL

El equipo de investigadores, representado por el Director del Proyecto, y la Entidad Postulante Principal, a través de su Representante, de forma libre y voluntaria declaran lo siguiente:

- *Que el proyecto descrito en este documento es una obra original, cuyos autores forman parte del equipo de investigadores y por lo tanto asumimos la completa responsabilidad legal en el caso de que un tercero alegue la titularidad de los derechos intelectuales del proyecto, exonerando a la UCACUE de cualquier acción legal que se derive por este causal.*
- *Que el presente proyecto no causa perjuicio alguno al ambiente y no transgrede norma ética alguna, y que en el caso de que la investigación requiera de permisos previo a su ejecución, el Director del Proyecto remitirá una copia certificada de los mismos a las autoridades competentes en la UCACUE.*
- *Que este proyecto no se ha presentado en ninguna otra institución pública o privada, para el financiamiento del presupuesto solicitado a la UCACUE. El incumplimiento de este acuerdo será causal para que el proyecto no sea financiado o para la terminación anticipada unilateral del convenio a firmar con la UCACUE.*
- *De otorgarse financiamiento por la UCACUE para la ejecución del proyecto, aceptamos que los bienes adquiridos con estos fondos permanecerán bajo la responsabilidad de la entidad postulante durante la ejecución del proyecto, pero la UCACUE se reserva el derecho de determinar el destino final de los mismos, una vez finalizado el proyecto.*



- Aceptamos que, si el proyecto se accede a financiamiento de la UCACUE y como parte de los resultados del mismo se genera algún producto o procedimiento susceptible de obtener derechos de propiedad intelectual, de los cuales se deriven beneficios, éstos serán de la UCACUE o compartidos con la entidad postulante, la(s) instituciones que compartieron la investigación y el equipo de investigadores, según los términos definidos en el respectivo convenio específico.

Fecha: Cuenca, 12 de diciembre de 2019

Nombre: Sandra Cobos

CI: 0104682067

DIRECTOR DEL PROYECTO

Nombre:

CI:

INSTITUCIÓN CO-EJECUTORA

Nombre: José Luis Solano

CI: 0103101937

CODIRECTOR DEL PROYECTO

ANEXOS

NOTA: Los tres Anexos al MODELO PARA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DE LA UCACUE constan en un archivo de formato MS-Excel con el título "ANEXOS PRESENTACION DE PROYECTOS". Una vez que los Anexos hayan sido completados en el archivo Excel, debe imprimirlos y adjuntarlos al FORMATO DE PRESENTACION DE PROYECTOS.

ANEXO I: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES Y RESPONSABILIDADES

ANEXO II-1: DETALLE DEL PRESUPUESTO

ANEXO II-2: PRESUPUESTO CONDENSADO

ANEXO II-3: PRESUPUESTO POR FUENTE DE FINANCIAMIENTO
