

# **MEDIDAS DE PREVENCIÓN ANTE RIESGOS DE EROSIÓN Y FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA. ÁREA DE INCIDENCIA “CIUDAD ARCÁNGEL”, CANTÓN IBARRA, ECUADOR**

***PREVENTION MEASURES FOR EROSION RISKS AND MASS  
REMOVAL PHENOMENA, “CIUDAD ARCÁNGEL” INCIDENCE AREA,  
IBARRA CANTÓN, ECUADOR***

---

*Recibido: 06/05/2021 - Aceptado: 21/02/2022*

---

## **GALO VINICIO VALLES PERALTA**

Supervisor de Calidad en el proyecto Actualización del Registro Social,  
Empresa Pública de la Universidad Técnica del Norte LAUEMPRENDE  
Ibarra - Ecuador

Magíster en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas  
Universidad Técnica del Norte

galovllsp@yahoo.es

<https://orcid.org/0000-0002-8544-617X>

---

## **DIEGO RAMIRO VILLALBA CALDERÓN**

Director General de Ambiente del Gobierno Autónomo Descentralizado  
de la provincia de Imbabura.  
Ibarra - Ecuador

Magíster en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas  
Universidad Técnica del Norte

villalbadiego@yahoo.com

<https://orcid.org/0000-0002-3794-6604>

---

## **JOSÉ ALÍ MONCADA RANGEL**

Docente de la Universidad Técnica del Norte  
Ibarra - Ecuador

Doctor en Desarrollo Sostenible  
Universidad Simón Bolívar

jmoncada@utn.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0003-4132-0724>

---

## **JOSÉ RAÚL GUZMÁN PAZ**

Docente de la Universidad Técnica del Norte  
Ibarra - Ecuador

Máster Science en Sistemas de Información Geográfica  
Universidad de Salzburgo

jrguzmán@utn.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0003-4503-8777>

---

### **Cómo citar este artículo:**

Valles, G., Villalba, D., Moncada, J. & Guzmán, J. (Enero - Junio de 2022). Medidas de prevención ante riesgos de erosión y fenómenos de remoción en masa. Área de incidencia "Ciudad Arcángel", cantón Ibarra, Ecuador. *Sathiri* (17)1, 268-287. <https://doi.org/10.32645/13906925.1115>

## Resumen

El manejo de los riesgos permite reducir, prevenir, preparar, dar respuesta, realizar acciones de recuperación, reconstrucción y articular acciones encaminadas a salvaguardar la integridad de la población e infraestructura pública y privada en un territorio. El objetivo de esta investigación fue proponer medidas de prevención ante los riesgos de erosión y fenómenos de remoción en masa, en el área de incidencia del proyecto "Ciudad Arcángel", cantón Ibarra, provincia de Imbabura, Ecuador. Se aplicó una encuesta a 69 pobladores para conocer las características socio económicas de la población. Se utilizó una ortofotografía, dos modelos digitales de elevación e información del Instituto Ecuatoriano Espacial para elaborar los mapas base, un mapa de susceptibilidad a deslizamientos utilizando el método de la matriz y dos mapas de susceptibilidad a erosión, uno aplicando el método ecuación universal para la pérdida de suelo (USLE) y el segundo a través de interferometría (análisis multitemporal). Los mapas se validaron aplicando una matriz de confusión, identificando áreas susceptibles a deslizamientos y erosión. La población encuestada evidenció una vulnerabilidad a deslizamientos estimada en un 70% y a erosión del suelo en un 67,4%. Las medidas propuestas fueron: fortalecer las capacidades locales para la gestión del riesgo a fin de contar con comunidades resilientes, fortalecer los marcos legales locales con estudios técnicos de sustento y la incorporación de la variable gestión de riesgos en los procesos de planificación territorial, uso y gestión del suelo.

**Palabras claves:** riesgos ambientales, deslizamientos, erosión, prevención, mitigación.

## Abstract

Risk management allows to reduce, prevent, prepare, respond, achieve recovery, reconstruction, and joint actions aimed at the population and public and private infrastructure safeguarding their integrity in a territory. The aim of the study was to propose prevention measures against erosion risks and mass removal phenomena in the "Ciudad Arcángel" incidence area, Ibarra, Imbabura province. A survey was applied to 69 residents to know the population socio-economic characteristics; An orthophotography, two digital elevation models, and information from the Ecuadorian Spatial Institute were used to elaborate: basic maps, a landslide susceptibility map using the matrix method, and two erosion susceptibility maps, one applying the universal equation method for soil loss (USLE) and the second through interferometry (multitemporal analysis), validated maps applying the confusion matrix, identifying areas susceptible to landslides and erosion. The surveyed population has 70% vulnerability to landslides and 67.4% to soil erosion. The proposed measures were: to strengthen local capacities for risk management to have resilient communities, strengthen local legal frameworks with technical support studies, and the variable risk management incorporated at the processes of land use and management and land planning.

**Keywords:** environmental risks, landslides, erosion, prevention, mitigation

## Introducción

El manejo inadecuado de los riesgos de desastres a nivel mundial ha generado la muerte de más de 700.000 personas y alrededor de 23 millones se han quedado sin hogar. En general, más de 1.500 millones de personas se han visto perjudicadas por los desastres en diversas formas, por ello la reducción del riesgo es una inversión en la prevención de pérdidas futuras y su gestión eficaz contribuye al desarrollo sostenible (Naciones Unidas, 2015).

Latino América y el Caribe conforman la segunda región más propensa a los desastres naturales a nivel global. Desde el año 2000, la zona ha sufrido el impacto de 66 deslizamientos de tierra particularmente destructivos que causaron casi 3.000 muertes (Oficina de las Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios [OCHA] 2020). En América del Sur, Ecuador se ubica en décimo puesto dentro de las naciones con mayor situación de riesgo por concepto de sensibilidad al cambio climático (Ministerio del Ambiente [MAE] 2017).

En la región Sierra Norte del país, el 67,45% del territorio de la provincia de Imbabura tiene una predisposición a la erosión de baja a moderada. En Ibarra, 5.250,06 ha de zonas con influencia de riego (más del 50%) tienen riesgo moderado a la erosión del suelo (Gobierno Provincial de Imbabura, 2017). Las prácticas inadecuadas del uso del suelo en el área de estudio han acelerado la erosión de la tierra, incrementando las cargas de sedimentos en los ríos, arroyos y un desgaste de los suelos provocando que las fronteras agrícolas se expandan y se continúe con la eliminación de la vegetación natural. La falta de estudios técnicos e inadecuada planificación urbana provocó que se establezca infraestructura en zonas de riesgo las cuales son impactadas por diversos eventos adversos que se presentan en el territorio.

Uno de los mecanismos para reducir sostenidamente la vulnerabilidad es la planificación del desarrollo y el ordenamiento de los usos del territorio; otro es la construcción del sistema de gestión de riesgos, construir una cultura de prevención y preparación en la sociedad, además la preparación e implementación de los planes de desarrollo y ordenamiento territorial, entre otros desafíos (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2017).

En el estudio realizado por D`Ercole y Trujillo (2003) sobre vulnerabilidad y amenazas, se evidenció que el cantón Ibarra de la Provincia de Imbabura tiene un grado de amenaza global alto y muy alto para deslizamientos de tierra (Avilés et al., 2017). En este contexto, el sector denominado "Ciudad Arcángel", área de estudio abordada en el presente trabajo, registró afectaciones por deslizamientos de tierra en el año 2017, lo que puso en riesgo a varias viviendas de la zona. El objetivo del presente estudio fue proponer medidas de prevención ante los riesgos de erosión y fenómenos de remoción en masa, en el área de incidencia "Ciudad Arcángel", cantón Ibarra, provincia de Imbabura, las cuales pueden servir de guía y soporte técnico para la toma de decisiones a nivel local.

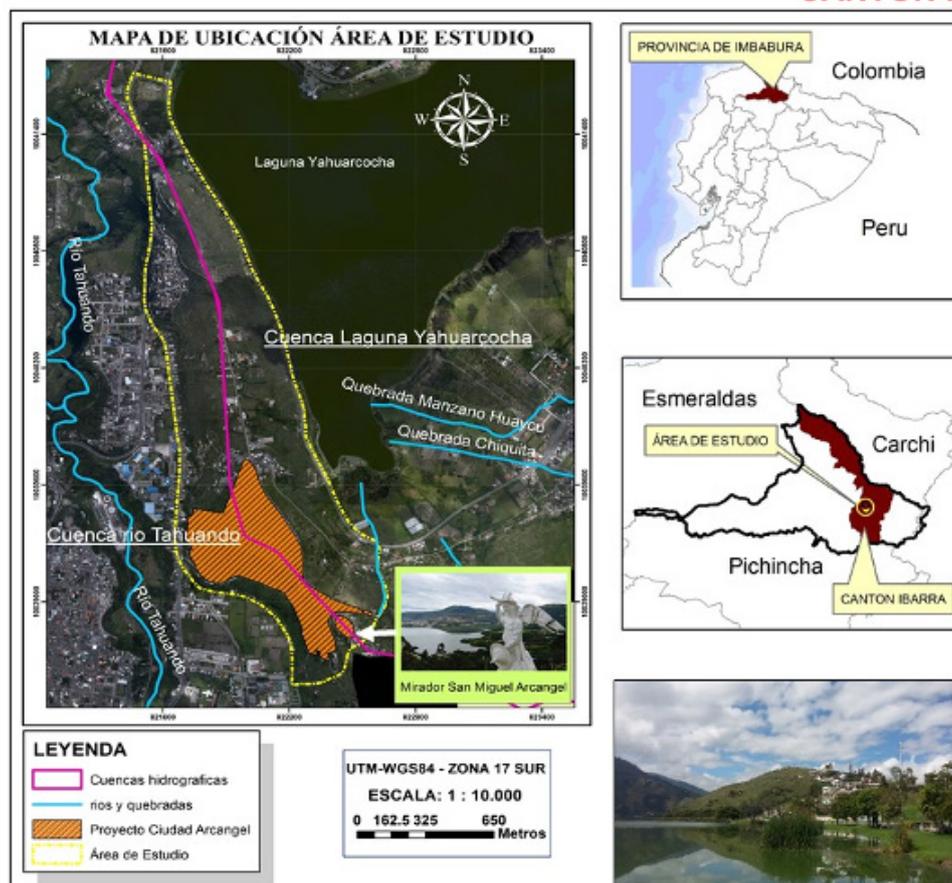
## Materiales y métodos

**Descripción del área de estudio.** El estudio se realizó en el sector Ciudad Arcángel, parroquia urbana Sagrario de la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura, Ecuador. Los datos geográficos más relevantes de la zona se presentan en la Tabla 1 y su ubicación en la Figura 1.

**Tabla 1.**  
*Datos geográficos del área de estudio*

Parámetro	
Coordenadas	punto centroide: 0° 21' 43.86" N; 78° 06' 28.20" W; altitud 2292 m.s.n.m.
Superficie	160,9 ha
Perímetro	7,3 Km
Precipitación	500 a 700 m.m
Temperatura	12 a 14 °C
Rango altitudinal	2216 m.s.n.m y 2423 m.s.n.m
Clima	Ecuatorial mesotérmico semi húmedo
Zona de vida	Transición bosque seco montano bajo a bosque húmedo montano.
Periodos	Lluvioso: de febrero a mayo y de octubre a noviembre. Seco: junio a septiembre.
Población	1900 habitantes aproximadamente.
Barrios	Santa Marianita del Olivo, La Quinta del Olivo, Olivo Alto, Mirador del Olivo, La Portada, El Olivo sector Av. 17 de Julio, San Miguel Arcángel y parte del barrio La Victoria.
Límites	Norte: vía de ingreso a la laguna Yahuarcocha, Sur: Sector Yuracucito; Este: vía Autódromo de Yahuarcocha; Oeste: vía panamericana Norte.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de base de datos del Instituto Ecuatoriano Espacial, escala 1:25.000; GAD Municipal de Ibarra, (2012) Actualización del plan de manejo integral de la microcuenca hidrográfica de Yahuarcocha, provincia de Imbabura.



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio

## Procedimiento

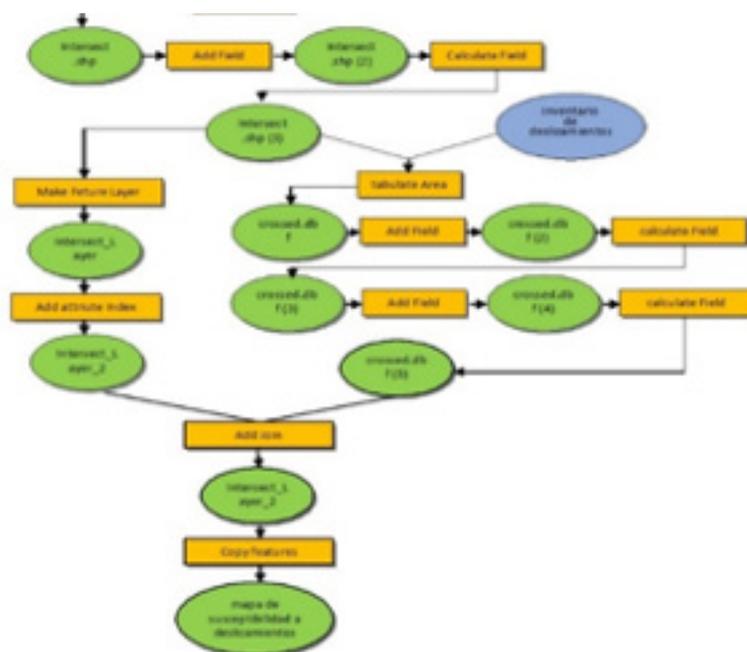
**Diagnóstico de los componentes biótico, abiótico y socio económico.** La descripción del componente biótico (flora) se realizó con información obtenida de la prospección de fuentes bibliográficas y fue verificada en salidas de campo. Para el componente abiótico se utilizaron: (1) una ortofoto georreferenciada con escala 1:1.000 del año 2017; (2) un Modelo Digital de Elevación (DEM) con densidad LiDAR y 1 metro de resolución del año 2017, y (3) información de la base de datos del Instituto Ecuatoriano Espacial, escala 1:25.000 del año 2014. Se procesó esta información con la utilización del software ArcGIS 10.4 para generar mapas base (altitud, pendientes, orientación, suelos, textura del suelo y geológico).

Para la caracterización del componente socioeconómico se aplicó una encuesta a 69 unidades familiares, siguiendo un muestreo no probabilístico de tipo intencional, con el fin de diagnosticar las condiciones socio económicas de la población. La información recabada se registró en un cuestionario elaborado ad hoc, visitando cada uno de los hogares incluidos en el estudio.

## Zonificación de áreas susceptibles a erosión y fenómenos de remoción en masa mediante Sistemas de Información Geográfica

**Susceptibilidad a deslizamientos.** Se utilizó el método de la "matriz" (en inglés *Gis Matrix Method*) que corresponde a una técnica de análisis estadístico bivalente, mediante el uso de SIG, y desarrollado con *ModelBuilder*, modelos que están disponibles en la herramienta *ArcToolbox* del software ArcGIS 10.4 (Irigaray *et al.*, 1999). La susceptibilidad a los deslizamientos se realizó en una serie de subetapas: Inventario de deslizamientos; elaboración y análisis factores determinantes; análisis de la susceptibilidad; y validación de los mapas de susceptibilidad obtenidos (Jiménez, 2021). En la figura 2 se muestra el modelo con el que se desarrolló el mapa de susceptibilidad a deslizamientos, utilizando el software ArcGIS 10.4.





**Figura 2.** Modelo mapa deslizamientos

**Susceptibilidad a erosión.** Para el análisis de susceptibilidad a erosión del suelo se utilizaron las metodologías de interferometría (análisis multitemporal) y USLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo).

La metodología utilizada para zonificar la erosión se denomina interferometría procesamiento multitemporal (Yandún, 2018). Esto corresponde a un análisis de dos Modelos Digitales de Elevación (DEM) de diferentes años. En la investigación se consideró un DEM del 2017 y un DEM del 2010 (Camargo et al., 2014). Se realizó una primera validación a través de una corrección geométrica entre los DEM con puntos de control. Seguidamente se extrajo información altitudinal (m.s.n.m) de los dos DEM, con el fin de evaluar su correlación y calidad y para comprobar su georreferenciación exacta entre los dos DEM del año 2010 y 2017 (Camargo et al., 2014). Luego se realizó un ajuste geométrico entre imágenes debido a que la comparación entre ellas se realiza píxel por píxel y se consideró importante referirse exactamente al área de estudio (Chuvienco, 1998).

Una segunda validación se realizó con la comparación de estadísticos descriptivos como la altitud mínima; máxima; media y desviación estándar, expresados en metros para las dos DEM (Camargo et al., 2014). Con la seguridad de tener alineados de manera exacta los DEM del año 2010 y 2017, se realizó la sustracción de información de estos DEM, para contar con un raster con el nombre "Resta" obteniendo la información de lugares específicos donde se presentó pérdida de suelo, denominado erosión en el período de 7 años (op. cit.).

En la figura 3 se muestra el modelo utilizado para la elaboración del mapa de susceptibilidad a erosión con la utilización del software ArcGis 10.4.

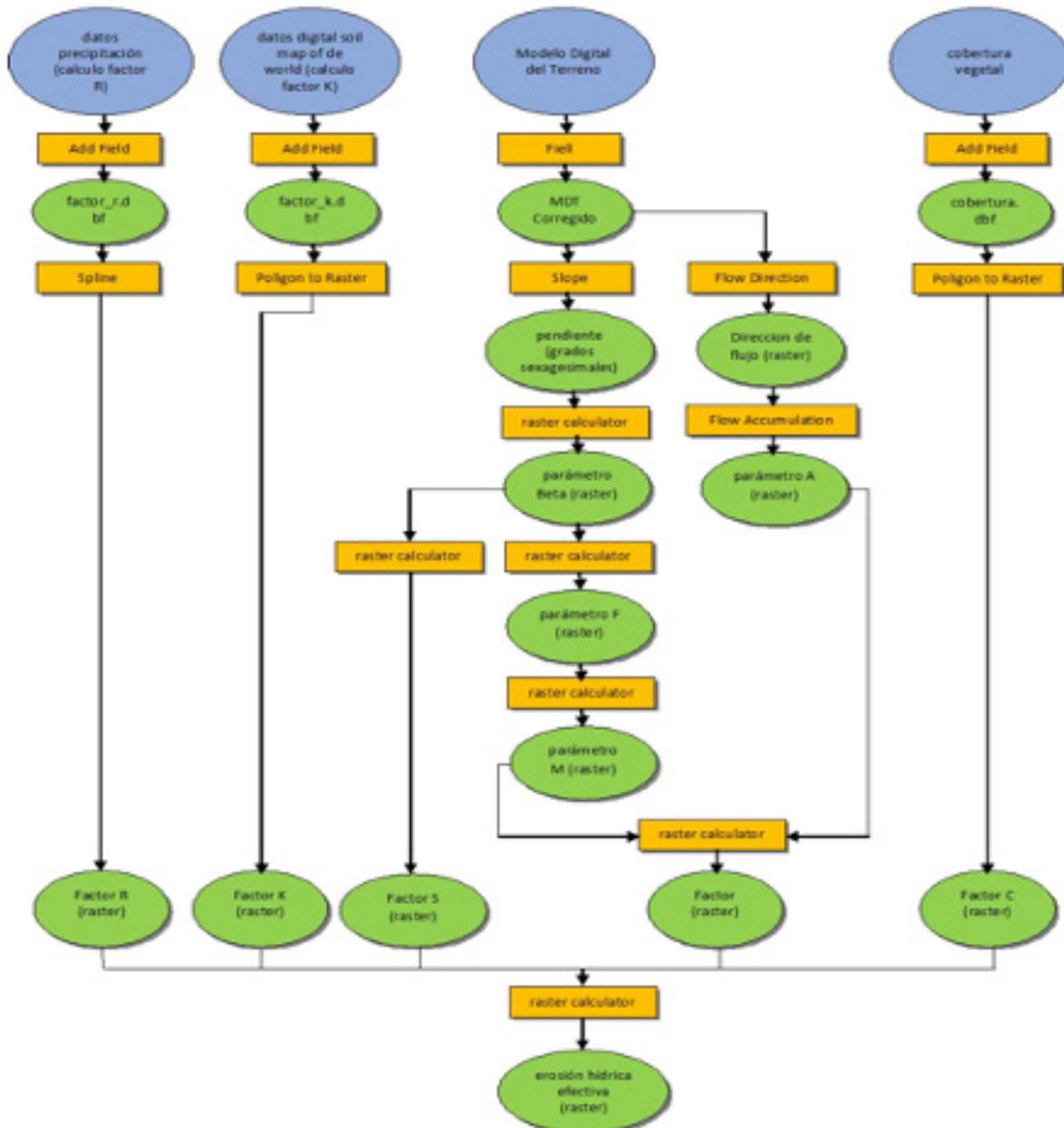


Figura 4. Modelo mapa erosión (USLE)

**Validación de resultados.** Se realizó al mapa de susceptibilidad a deslizamientos y mapas de susceptibilidad a erosión tanto para la metodología USLE e interferometría, esto como mecanismo de auditoría de los resultados obtenidos. Se realizó una primera validación con salidas de campo, a fin de comparar la información de los mapas de susceptibilidad obtenidos con los softwares y determinar si estos tienen relación con la realidad (Guzmán, 2015). Una segunda validación se realizó utilizando los softwares ArcGIS 10.4 y ENVI 5.3, se elaboró la matriz de confusión, metodología aplicada al mapa de erosión USLE e interferometría y mapa de deslizamientos (Ministerio de Agricultura y Riego del Perú, 2018).

## Diseño de medidas de prevención y mitigación ante riesgos de erosión y deslizamientos.

El diseño de las medidas de prevención y mitigación se realizó con base en los resultados obtenidos del diagnóstico y considerando el análisis de los mapas de susceptibilidad a deslizamientos y erosión.

## Resultados y discusión

### Diagnóstico de los componentes biótico, abiótico y socio económico Componente biótico

**Cobertura vegetal.** El flanco derecho del área de estudio es parte de cuenca de la Laguna Yahuarcocha y posee en su mayoría vegetación herbácea, mientras que el flanco izquierdo que pertenece a la cuenca media del río Tahuando posee, en su mayoría, vegetación arbustiva, lo que evidencia que, a menor cobertura vegetal, mayor erosión. En la tabla 2 se presentan los valores la cobertura vegetal existente dentro del área de estudio.

**Tabla 2.**  
*Cobertura vegetal del área de estudio*

Cobertura	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Vegetación herbácea	49	30,43
Vegetación arbustiva	40	24,84
Área urbana	37	22,98
Potrero degradado	35	21,74

### Componente abiótico.

**Altitud:** el intervalo más representativo es de 2266 a 2316 m.s.n.m con un 35,82 % de la superficie, seguido del intervalo 2216 a 2266 m.s.n.m con un 33,58 % (tabla 3).

**Tabla 3.**  
*Distribución del territorio en relación con altitudes (m.s.m.n)*

Altitud (m.s.n.m)	Área (Ha)	Porcentaje (%)
2216 - 2266	54,05	33,58
2266 - 2316	57,66	35,82
2316 - 2366	34,19	21,24
2366 - 2416	14,94	9,28
2416 - 2423	0,13	0,08

**Pendiente:** el 25,15 % del terreno presenta pendientes muy fuertes, de 25 a 35 grados, seguido de un 22,12% con pendiente fuerte de 15 a 25 grados (Tabla 4). La pendiente tiene influencia directa sobre la erosión y los movimientos de ladera factor considerado relativo pendiente-estabilidad (Jiménez, 2012).

**Tabla 4.**  
*Distribución del territorio en relación con pendientes*

<b>Pendiente</b>	<b>Angulo (Grados)</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Suave	0 - 5	21,74	13,51
Moderada	5 - 15	35,37	21,98
Fuerte	15 - 25	35,61	22,12
Muy Fuerte	25 - 35	40,48	25,15
Vertical o subvertical	35 - 90	27,75	17,24

**Orientación:** con un 35,68% al Oeste, seguido de un 34,77% del territorio del área de estudio posee una orientación Este (Tabla 5). La relación de la orientación con los movimientos de ladera es indirecta, ya que las condiciones de umbría y solana determinan, por ejemplo, la humedad superficial del terreno. (Jiménez, 2021).

**Tabla 5.**  
*Distribución del territorio en relación con la orientación*

<b>Aspecto</b>	<b>Angulo (Grados)</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Plano	-1 - 1	0,16	0,10
Norte	1 - 45; 315 - 359	28,89	17,95
Este	45 - 135	55,96	34,77
Sur	135 - 225	18,50	11,49
Oeste	225 - 315	57,43	35,68

**Suelos:** en la tabla 6 se indican las clases de suelo que se encuentran en el área de estudio, abarcando un 44,43% de suelos Entic Haplustolls y 28,68% de suelos Vitrandic Argiustolls (Servicio de Conservación de Recursos Naturales, 2014).

**Tabla 6.**  
*Distribución del territorio en relación con los suelos*

<b>Clase de suelo</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Entic Haplustolls	71,50	44,43
Vitrandic Argiustolls	46,16	28,68
Entic Durustolls	22,68	14,09
NO APLICABLE	11,98	7,44
Durinodic Ustorthents	6,47	4,02
Vitrandic Haplustolls	1,28	0,80
Typic Haplustolls	0,56	0,35
Typic Ustorthents	0,30	0,19

**Textura del suelo:** el suelo con textura franco arenoso se encuentra en los flancos izquierdo y derecho del área de estudio, ocupando un 48,79% de la zona, seguido de un 28,69% con suelo franco arcilloso (Tabla 7).

**Tabla 7.**  
*Distribución del territorio en relación con la textura del suelo*

Textura	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Franco arenoso	78,52	48,79
Franco arcilloso	46,16	28,69
Areno francoso	22,99	14,28
No aplicable	11,98	7,44
Franco	1,28	0,80

**Geología:** se caracteriza por presencia de volcánicos Angochagua que ocupan un 87,85% del total del área de estudio, seguido de volcánicos Imbabura con 3,92% en la tabla 8 se muestra su distribución (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015).

**Tabla 8.**  
*Distribución del territorio en relación con la geología*

Geología	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Volcánicos Angochagua	141,37	87,85
No aplicable	11,96	7,43
Volcánicos Imbabura	6,31	3,92
Depósitos fluvio lacustres	1,29	0,80

## Componente socio económico

**Vulnerabilidad a deslizamientos.** Se estimó una vulnerabilidad al impacto por deslizamientos del 70 % en la población encuestada (Tabla 9). Esto puede deberse a que las familias manifestaron un bajo nivel de preparación ante la presencia de eventos adversos. Al respecto, el 95% de los hogares indicó no tener un plan familiar de emergencia, un 92% no cuenta con mochila de emergencia, un 73% carece de capacitación en autoprotección, y entre el 79% y 95% de los hogares muestreados no cuentan con rutas de evacuación. Asimismo, indicaron que para el momento del estudio, no habían participado en simulacros como preparación ante situaciones de emergencia.

**Tabla 9.**  
*Vulnerabilidad de la población a deslizamientos*

TIPO	INDICADOR	VULNERABILIDAD POR INDICADOR	VULNERABILIDAD POR TIPO	CALIFICATIVO	PORCENTAJE	VULNERABILIDAD GLOBAL	PORCENTAJE
SOCIAL	Número de integrantes por hogar	1.7	1.5	MEDIA	50		
	Edades de la población	1.7					
	Discapacidad integrantes del hogar	1.1					
EDUCATIVA	Nivel de instrucción	2.0	2.2	ALTA	74		
	Nivel de preparación del hogar (evento adverso)	2.5					
	Tenencia de la vivienda	1.5					
	Tipo de vivienda	1.3					

FÍSICA	Material construcción vivienda	2.1	1.5	MEDIA	50	2.10	70.0
	Estado vivienda	1.2					
	Servicios básicos	1.4					
	Calidad de los servicios básicos	1.3					
ECONÓMICA	Principal actividad económica	2.3	2.2	ALTA	75		
	Ingreso mensual del hogar	2.1					
AMBIENTAL	Tenencia de tierras	2.9	2.5	ALTA	83		
	Destino de las tierras	2.1					
	Disponibilidad de agua de riesgo	2.9					
	Prácticas conservación de suelos	2.3					
ORGANIZACIONAL	Tipos de organizaciones existentes	2.8	2.7	ALTA	89		
	Participación la mujer en la toma de decisiones	1.7					
	Organización con reglamentos y estatutos	2.0					
CULTURAL	Percepción riesgo impacto deslizamiento	2.0	2.0	MEDIA	68		

Nota: Calificativo vulnerabilidad: 1 Bajo: 2 Medio: 3 Alto

**Vulnerabilidad a erosión del suelo.** En referencia a la vulnerabilidad a la erosión del suelo, se estimó un valor de 67,4% (Tabla 10), lo que se evidencia en que solo el 35% de encuestados realiza prácticas de conservación del suelo (vegetación en linderos). El 48% de los encuestados manifestó que presentan un impacto bajo por la presencia de erosión en el suelo, es decir, no se visibiliza la importancia del suelo en el desarrollo de la población.

**Tabla 10.**  
*Vulnerabilidad de la población a la erosión del suelo.*

TIPO	INDICADOR	VULNERABILIDAD POR INDICADOR	VULNERABILIDAD POR TIPO	CALIFICATIVO	PORCENTAJE	VULNERABILIDAD GLOBAL	PORCENTAJE
SOCIAL	Número de integrantes por hogar	1.7	1.5	MEDIA	50	2.02	67.4
	Edades de la población	1.7					
	Discapacidad Integrantes del hogar	1.1					
EDUCATIVA	Nivel de instrucción	2.0	2.0	MEDIA	69		
FÍSICA	Tenencia de la vivienda	1.5	1.5	MEDIA	50		
	Tipo de vivienda	1.3					
	Material construcción vivienda	2.1					
	Estado vivienda	1.2					
	Servicios básicos	1.4					
	Calidad de los servicios básicos	1.3					
ECONÓMICA	Principal actividad económica	2.3	2.2	ALTA	75		
	Ingreso mensual del hogar	2.1					
AMBIENTAL	Tenencia de tierras	2.9	2.5	ALTA	83		
	Destino de las tierras	2.1					
	Disponibilidad de agua de riesgo	2.9					
	Prácticas conservación de suelos	2.3					
ORGANIZACIONAL	Tipos de organizaciones existentes	2.8	2.7	ALTA	89		
	Participación la mujer en la toma de decisiones	1.7					
	Organización con reglamentos y estatutos	2.0					
CULTURAL	Percepción riesgo impacto erosión	1.7	1.7	MEDIA	55		

Calificativo vulnerabilidad: 1 Bajo: 2 Medio: 3 Alto

## Zonificación de áreas susceptibles a erosión y fenómenos de remoción en masa mediante Sistemas de Información Geográfica

**Susceptibilidad a deslizamientos.** Con la aplicación del método de la “matriz” para la elaboración del mapa de susceptibilidad a deslizamientos se obtuvo los siguientes resultados:

**Inventario de movimientos de ladera:** El inventario de movimientos de ladera es el mapa más importante para la evaluación de la susceptibilidad (Jiménez, 2021). Se realizó un inventario preliminar en gabinete sobre ortofotografía del año 2017, a escala 1:1000 y se fortaleció con salidas de campo realizadas en el mes de noviembre del 2017, obteniendo los siguientes resultados:

- ▶ 26 movimientos de ladera, distribuidos en 23 deslizamientos y 3 hundimientos.
- ▶ De estos movimientos, 17 se generaron por incidencia antrópica y 9 de origen natural.
- ▶ Un 84% posee áreas entre 34,79 m<sup>2</sup> y 660,0 m<sup>2</sup>.
- ▶ El flanco izquierdo del área de estudio presentó 12 movimientos (3 de origen natural y 9 por acción antrópica).
- ▶ El flanco derecho presentó 14 movimientos (6 de origen natural y 8 de origen antrópico).
- ▶ Estos movimientos afectan a un área total de 1,82 Ha, lo que corresponde al 1,13 % de la superficie del área de estudio.
- ▶ La superficie máxima afectada por movimientos de ladera fue de 6204,26 m<sup>2</sup>, la superficie mínima afectada tenía 34,79 m<sup>2</sup> y la superficie promedio de afectación fue de 723,71 m<sup>2</sup>.

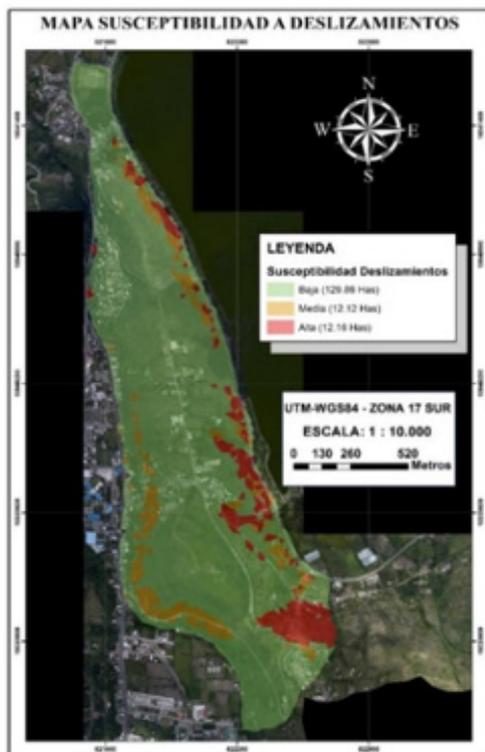
**Factores determinantes.** El estudio tuvo como objetivo la evaluación de la susceptibilidad en el espacio, no en el tiempo, por tanto, se consideran sólo los factores determinantes. Para esto se emplearon cuatro factores. Los tres primeros (pendiente, orientación y altitud) se obtuvieron del Modelo Digital de Elevación (DEM) a escala 1:1000 con un metro de resolución del año 2017. El cuarto factor corresponde a los suelos, factor no relacionado con el DEM, que debe ser una capa vectorial que se obtuvo de la base de datos del Instituto Espacial Ecuatoriano a escala 1:25.000 año 2014.

**Análisis de la susceptibilidad.** Se basa en el procesamiento de tres matrices: (1) La matriz movimientos de ladera (LM) se creó calculando el área o extensión de terreno afectada por las superficies de ruptura del inventario de movimientos de ladera, en cada combinación de clases de los factores. (2) La matriz de toda la zona (TSM) corresponde a la extensión total ocupada por cada una de las combinaciones de clases de factores. Finalmente, en (3) matriz susceptibilidad (SM), cada celda expresa el valor resultante del dividir el valor de la matriz LM, entre la matriz TSM. El valor de cada celda de la matriz SM representa el porcentaje de zonas de ruptura de movimientos de ladera, en cada combinación de factores determinantes, con respecto al área total ocupada por la respectiva combinación de factores (Jiménez, 2012).

.....  
Cómo citar este artículo:

Los mapas de susceptibilidad se basan en niveles de clasificación, automáticamente asignados a cada zona usando el método de las roturas naturales (Natural Breaks) (Irigaray et al. 2007). En este método, para crear las clases, se determinan estadísticamente los valores límite identificando los saltos de valor que muestran diferencias relativamente grandes entre pares de datos (Jiménez, 2012).

El dato de salida del "susceptibility\_model" es una capa vectorial: "Suscep\_matrix.shp". Esta capa es el resultado del análisis, es decir, la susceptibilidad a deslizamientos de tierra. Los valores obtenidos fueron visualizados por medio de tres niveles de susceptibilidad (bajo, medio, alto) así las clases distinguidas se describen en la figura 5, donde se observa la distribución espacial de las áreas susceptibles a deslizamientos.



Niveles de clasificación de susceptibilidad a deslizamientos

Susceptibilidad	Área (Ha)	Porcentaje (%)	Descripción
Baja	129.86	84.25	los terrenos no muestran ninguna propensión natural a generar movimientos en masa de magnitud significativa.
Media	12.12	7.86	los terrenos muestran cierta propensión natural a generar movimientos en masa de magnitud significativa.
Alta	12.16	7.89	los terrenos muestran gran propensión natural a generar movimientos en masa de magnitud significativa.

Figura 5. Distribución espacial de la susceptibilidad a deslizamientos

**Validación mapa de susceptibilidad a deslizamientos.** Se determinó que el mapa de susceptibilidad a deslizamientos tiene una confiabilidad del 72,49%, lo que significa que existe concordancia entre el mapa de deslizamientos obtenido a través del método de la matriz y la información recolectada en campo, con un coeficiente Kappa de 0,54 que según Landis y Kotch, 1977 de acuerdo con su valoración tiene una fuerza de concordancia moderada.

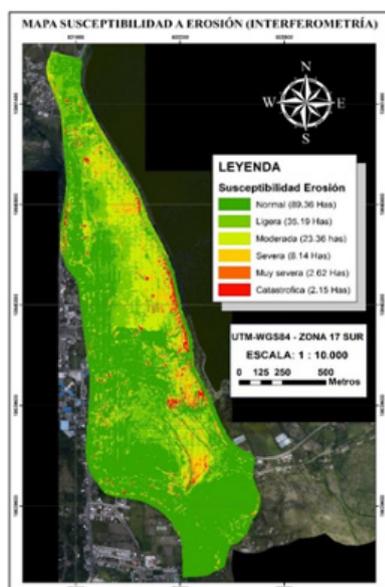
## Susceptibilidad a erosión

**Método interferométría.** Se utilizaron dos Modelos Digitales de Elevación (DEM): el obtenido a través de tecnología LiDAR, que tiene una nube de datos con densidad media de 8 puntos/m<sup>2</sup> y un metro de resolución año 2017 y el Modelo Digital de Elevación (DEM) de SIGTIERRAS año 2010 con 3 metros de resolución.

Se realizó la primera validación con una correlación geométrica entre los DEM mediante una muestra aleatoria de 50 puntos, con la herramienta create random points herramienta de ArcGIS 10.4 se crearon los 50 puntos al azar (Chuvienco, 1998). Con las 50 muestras se extrae la información de altitud del Modelo Digital de Elevación (DEM) del año 2010 y 2017 para realizar una prueba de correlación, se obtiene como resultado un 99 % de correlación en altitud. La segunda validación se realizó mediante la comparación de los estadísticos descriptivos (altitud mínima, máxima, media y desviación estándar) expresados en metros para los dos DEM, con un resultado satisfactorio al tener coincidencia cercana, estableciendo la confianza necesaria para usar los DEM en el cálculo de la erosión.

Se realizó la sustracción de información del DEM año 2017 y año 2010, utilizando la herramienta algebra de mapas del software ArcGIS 10.4, obteniendo el raster con el nombre "resta" que cuenta con información de lugares específicos donde sucedió pérdida de suelo en un período de siete años. El raster "resta" proporciona información cuantitativa de las áreas erosionadas en el tiempo de siete años, observándose cambios en la topografía del suelo en centímetros, al ocurrir la pérdida de suelo por arrastre hídrico especialmente, determinando estos datos como erosión hídrica, con una pérdida de suelo de 181.255,15 m<sup>3</sup> en toda el área de estudio.

Para elaborar el mapa de susceptibilidad a erosión se clasificó las áreas en seis niveles, mismos que se clasificaron de manera automática con el método de clasificación por cortes naturales (natural breaks) del programa ArcGIS 10.4. Se observa que el flanco derecho presenta mayor erosión esto debido a que la cobertura vegetal es herbácea en su mayoría, lo que evidencia que tiene menor protección ante agentes como la precipitación, mientras que el flanco izquierdo presenta vegetación arbustiva observándose que existe menor erosión del suelo (figura 6).



Territorio con susceptibilidad a erosión (Interferométría)

Susceptibilidad	Pérdida de suelo (Tn/Ha/Año) (FAO, 1980)	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Normal	< 0,5	89,36	55,57
Ligera	0,5 – 5	35,19	21,88
Moderada	5 – 15	23,36	14,53
Severa	15 – 50	8,14	5,06
Muy severa	50 – 200	2,62	1,63
Catastrófica	> 200	2,15	1,34

**Validación mapa de susceptibilidad a erosión (USLE).** Se determina que el mapa de susceptibilidad a erosión tiene una confiabilidad del 46,32%, lo que significa que existe concordancia entre el mapa de erosión y la información recolectada en campo, con un coeficiente Kappa de 0,1 que, según Landis y Kotch (1977) y de acuerdo con su valoración, tiene una fuerza de concordancia leve.

**Medidas de prevención y mitigación ante riesgos de erosión y fenómenos de remoción en masa.** Las propuestas presentadas se orientan a prevenir y mitigar los riesgos de deslizamientos y erosión. Estas medidas fueron analizadas técnicamente para considerar la factibilidad de desarrollarlos, financiarlos e implementarlos con su respectivo seguimiento y evaluación por parte de las instancias correspondientes, estas medidas propuestas, son un ordenamiento lógico de ideas que están encaminadas a mejorar la calidad de vida de los habitantes, considerando aspectos sociales, infraestructura, institucionales e investigación (Tablas 11 y 12).

**Tabla 11.**

*Medidas propuestas para prevención y mitigación ante deslizamientos*

<b>Medida propuesta</b>	<b>Resultados esperados</b>
Fortalecimiento de capacidades locales para la gestión del riesgo	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Comités locales de gestión de riesgos.</li> <li>✓ Señalética, rutas de evacuación y puntos de encuentro.</li> <li>✓ Campañas en medidas preventivas, crear cultura de prevención.</li> <li>✓ Planes comunitarios de gestión de riesgos.</li> </ul>
Infraestructura para mitigación y prevención de deslizamientos	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Estudio técnico para estabilización de taludes.</li> <li>✓ Estudio técnico canal de riego factibilidad de reubicación o embovedado.</li> </ul>
Fortalecimiento de los marcos legales locales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ordenanzas sustentadas con estudios técnicos.</li> <li>✓ Fortalecimiento del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial cantonal (PDOT).</li> </ul>
Desarrollo de investigación científica y divulgación de la información para el análisis de amenazas, vulnerabilidades y riesgo a deslizamientos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Convenios para realizar estudios detallados.</li> <li>✓ Capacitación y difusión de la información de los estudios realizados.</li> <li>✓ Entrega formal de estudios.</li> <li>✓ Creación de base de datos accesible a la ciudadanía.</li> </ul>

**Tabla 12.**  
*Medias propuestas para prevención y mitigación ante erosión*

Medida propuesta	Resultados esperados
Reforestación y revegetación con especies nativas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Participación de la población.</li> <li>✓ Superficies reforestadas con especies nativas.</li> <li>✓ Mejora del paisaje de la zona y del estado de su biodiversidad.</li> </ul>
Recuperación del suelo para la implementación de huertos familiares como medida de adaptación al cambio climático.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Huertos familiares como proceso de adaptación al cambio climático.</li> <li>✓ Suelo recuperado a través de prácticas agrícolas familiares.</li> </ul>
Recuperación de áreas erosionadas con la implementación de prácticas de conservación de suelos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Participación de la comunidad.</li> <li>✓ Barras vivas, cortinas rompe vientos, vegetación en linderos, con especies propias del sector.</li> <li>✓ Mejora del paisaje de la zona.</li> </ul>
Desarrollo de investigación científica y divulgación de la información para el análisis de amenazas y vulnerabilidades y riesgo a erosión del suelo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Convenios entre las Universidades e Instituciones para realizar estudios sobre el recurso suelo.</li> <li>✓ Intercambio de experiencias.</li> <li>✓ Eventos de capacitación y difusión.</li> <li>✓ Base de datos accesible de libre acceso.</li> </ul>

## Conclusiones

Ciudad Arcángel se encuentra ocupando parte de la microcuenca baja de la laguna Yahuarcocha y parte de la cuenca media del río Tahuando. El rango de altitud de la zona oscila entre 2416 a 2423 m.s.n.m, con un 69,25% de la superficie con pendientes entre moderada, fuerte y muy fuerte, que van de 5 a 35 grados, una orientación del 35,68% del territorio hacia el oeste y un 34,77 hacia el este, con un 48% del total de la superficie con suelos franco arenosos, y un 87% con presencia de volcánicos Angochagua.

La población residente encuestada evidenció una vulnerabilidad a deslizamientos del 70%, es decir, una baja capacidad de respuesta ante la presencia de eventos adversos que se presenten en el sector. Con respecto a la erosión del suelo, se determinó una vulnerabilidad del 67,4%, debido a que las malas prácticas agrícolas han generado la pérdida de la fertilidad de los suelos y pocos hogares realizan cultivos en sus predios. Esto demuestra que no existen actividades que garanticen la seguridad alimentaria de los hogares y, por ende, son más vulnerables a los efectos del cambio climático. El cambio de actividad económica de agricultura a trabajos remunerados, en su mayoría, con ingresos menores al salario básico unificado, incide en el aumento de la vulnerabilidad.

Un 84,25%, del territorio posee susceptibilidad baja a deslizamientos, mientras que en un 7,86% es media y en un 7,89% resultó alta, ubicándose en los flancos derecho e izquierdo del área de estudio, donde se observa crecimiento urbano. Se debe prestar atención a los procesos

de planificación territorial, a fin de evitar construcciones en zonas de riesgo. Con el método de la matriz de confusión, el mapa de susceptibilidad a deslizamientos indicó una confiabilidad del 72,49%, con un coeficiente de Kappa de 0,54, es decir, una fuerza de concordancia moderada.

El método de interferometría determinó que el 55,57% de la superficie del área de estudio presentaba erosión normal (<0,5 Tn/Ha/año), seguido de un 21,88% con erosión ligera (0,5 a 5 Tn/Ha/año) y 14,53% de erosión moderada (5 a 15 Tn/Ha/año), con una pérdida de suelo de 181.255,15 m<sup>3</sup> en toda el área de estudio en siete años. Con el método de la matriz de confusión, el mapa arrojó una confiabilidad del 71,52%, con un coeficiente de Kappa de 0,54 es decir una fuerza de concordancia moderada.

La aplicación de metodología "USLE" indicó que el 75,57% del área de estudio presentó una erosión normal (<0,5 Tn/Ha/Año), seguido de un 18,99% con erosión ligera (0,5 a 5 Tn/Ha/Año). Con el método de la matriz de confusión, el mapa posee una confiabilidad del 46,32%, y un coeficiente de Kappa de 0,1, es decir, concordancia leve.

## Recomendaciones

Realizar procesos de preparación, prevención y respuesta con la población con la finalidad de fortalecer las capacidades locales y formar comunidades resilientes capaces de responder y recuperarse ante la presencia de eventos adversos.

Establecer mecanismos de articulación con las universidades e instituciones públicas y privadas para realizar investigaciones referentes a vulnerabilidades, amenazas, riesgos de erosión y movimientos en masa, con el propósito de contar con una base técnica para la toma de decisiones, una base de datos accesible para utilizarlas en futuros estudios y fortalecer los marcos legales locales relacionados a la gestión del riesgo y los procesos de planificación territorial.

Considerar la variable gestión de riesgos en la implementación de infraestructura pública y privada a fin de evitar daños a la inversión realizada y la variable ambiental.

Promover la gestión sostenible del suelo, con la ejecución de programas de revegetación con especies autóctonas y agricultura urbana, promoviendo un proceso de adaptación y mitigación del cambio climático.

Realizar estudios geotectónicos y considerar la normativa ecuatoriana para la construcción (NEC), a fin de garantizar que la infraestructura pública y privada implementada en la zona no se vea afectada por eventos adversos que se presenten.

## Referencias

- Avilés, L. Cañar, M. Andrade, S. Moreno, J. Medina, G. López, A. y Pico, P. (2017). Amenaza por deslizamiento de tierras cantón Ibarra, Ecuador. *CienciaAmérica*, 6(2), 55-60.
- Camargo, C. Andrades, J. y García, V. (2014). Evaluación de MDE para la estimación de volúmenes por procesos de erosión aplicando análisis de autocorrelación espacial en una cuenca de los andes venezolanos caso de estudio: microcuenca torrencial la Machirí. *Colombia Forestal*, 17(1), 40-59.

.....  
Cómo citar este artículo:

- Chuvienco, E. (1998). El factor temporal en teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios. *t.* [http://www.aet.org.es/revistas/revista10/AET10\\_4.pdf](http://www.aet.org.es/revistas/revista10/AET10_4.pdf)
- D`Ercole, R. y Trujillo, M. (2003). *Amenazas, vulnerabilidad, capacidades y riesgo en el Ecuador. Los desastres un reto para el desarrollo.* COOPI/IRD/Oxfam. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers11-03/010032419.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-03/010032419.pdf)
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Ibarra (2012). *Actualización del plan de manejo integral de la microcuenca hidrográfica de Yahuarcocha, provincia de Imbabura.* Autor
- Gobierno Provincial de Imbabura. (2017). *Plan Provincial de Riego y Drenaje de Imbabura.* [https://www.imbabura.gob.ec/phocadownload/K-Planes-programas/Plan\\_Provincial\\_De\\_Riego\\_Y\\_Drenaje\\_De\\_Imbabura\\_2017\\_2037.pdf](https://www.imbabura.gob.ec/phocadownload/K-Planes-programas/Plan_Provincial_De_Riego_Y_Drenaje_De_Imbabura_2017_2037.pdf)
- Guzmán, J. (2015). *Análisis multitemporal de las zonas forestales en la zona de Intag Ecuador periodo 2010 al 2013.* [Tesis de Maestría]. Universidad de Salzburgo, Austria. [https://issuu.com/unigis\\_latina/docs/guzman](https://issuu.com/unigis_latina/docs/guzman)
- Instituto Espacial Ecuatoriano - MAGAP (2015). *Memoria técnica, cantón Ibarra, geomorfología, proyecto: "Generación de geo información para la gestión del territorio a nivel nacional. escala 1: 25 000".* Autor.
- Irigaray, C., Fernández del Castillo, T., El Hamdouni, R. y Chacón, J. (1999). *Verification of landslide susceptibility mapping: a case study. Earth Surface Processes Landforms, 24, 537-544.* <http://hera.ugr.es/doi/15000862.pdf>
- Jiménez, J. (2012). *Movimientos de ladera en la vertiente meridional de sierra nevada (Granada, España) identificación, análisis y cartografía de susceptibilidad y peligrosidad mediante SIG.* [Tesis doctoral]. Universidad de Granada, Granada, España. <https://www.ugr.es/~jorgejp/tesis/archivos/texto.pdf>
- Jiménez, J. (2021). *Cartografía de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en la cuenca media del río Beiro, Granada. Revista Digital del Cedex, 198, 31-44.* <http://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/2441>
- Landis, J.R. & Koch, G.G. (1977). *The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics, 33, 159-174.*
- Ministerio de Agricultura y Riego del Perú (2018). *Manual Técnico Metodología para la clasificación de coberturas a partir del procesamiento de imágenes satelitales.* <http://www.gisandbeers.com/RRSS/Publicaciones/Manual-de-procesamiento-deimagenes-satelite-ENVI.pdf>
- Ministerio del Ambiente (2017). *Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático.* <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/TERCERA-COMUNICACION-BAJA-septiembre-20171-ilovepdf-compressed1.pdf>
- Naciones Unidas (2015) Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. [https://www.unisdr.org/files/43291\\_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf](https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf)

- Oficina de las Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios (OCHA). (2020). *Desastres naturales en América Latina y el Caribe 2000 - 2019*. [https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/OCHA-DESASTRES\\_NATURALES\\_ESP%20%281%29.pdf](https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/OCHA-DESASTRES_NATURALES_ESP%20%281%29.pdf)
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021*.
- Servicio de Conservación de Recursos Naturales (2014). *Claves para la Taxonomía de Suelos*. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_051546.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf)
- Wischmeier, W. y Smith, D (1978). *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. United States Department of agriculture. <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>
- Yandún, C.A. (2018). *Evaluación de riesgos ambientales en la gestión del riego en el canal de San Rafael y Monteolivo, de la cuenca del río Escudillas, Ibarra, Ecuador* [Tesis de Maestría]. Universidad Técnica del Norte, Ibarra. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8163/1/PG%20636%20TESIS.pdf>