



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**



**INSTITUTO DE POSTGRADO**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

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

Trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de Magíster en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

**DIRECTOR:**

**MSC. GUILLERMO BELTRAN MICHILENA**

**AUTORES:**

**VALLES PERALTA GALO VINICIO  
VILLALBA CALDERÓN DIEGO RAMIRO**

**IBARRA - ECUADOR**

**2019**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de tutor del Trabajo de Grado, presentado por Ing. Galo Vinicio Valles Peralta e Ing. Diego Ramiro Villalba Calderón, para optar por el grado de Magíster en Gestión Integral de Cuencas hidrográficas II, doy fe de que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación (pública o privada) y evaluación por parte del jurado examinador que se designe. En la ciudad de Ibarra, a 18 días del mes de enero del 2019.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Guillermo Beltrán Michilena', is written over a horizontal line.

MSc. Guillermo Beltrán Michilena  
C.C. 1800859512

## APROBACIÓN DEL JURADO CALIFICADOR

“MEDIDAS DE PREVENCIÓN ANTE RIESGOS DE EROSIÓN Y FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA, EN EL ÁREA DE INCIDENCIA “CIUDAD ARCÁNGEL”, CANTÓN IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA”

Por:

Galo Vinicio Valles Peralta

Diego Ramiro Villalba Calderón

Trabajo de Grado de Maestría aprobado en nombre de la Universidad Técnica del Norte, por el siguiente jurado, a 18 días del mes de enero del 2019.

MSc. Guillermo Beltrán Michilena  
C.C. 1800859512



MSc. José Raúl Guzmán Paz  
C.C. 1002597076

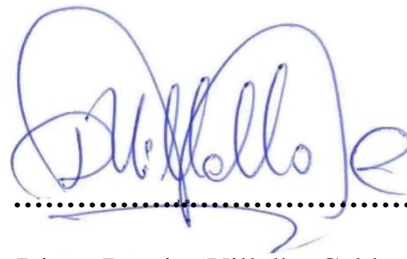


## AUTORÍA

Yo, Galo Vinicio Valles Peralta y Diego Ramiro Villalba Calderón declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado, ni calificación profesional, que he consultado referencias bibliográficas que se incluyen en este documento y que todos los datos presentados son resultado de nuestro trabajo.



Galo Vinicio Valles Peralta  
C.C. 0401379417



Diego Ramiro Villalba Calderón  
C.C. 1002194247



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**INSTITUTO DE POSTGRADO**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**



**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR**  
**DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejamos sentada nuestra voluntad de participar en este proyecto, para lo cual ponemos a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>		0401379417 1002194247	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>		Galo Vinicio Valles Peralta Diego Ramiro Villalba Calderón	
<b>DIRECCIÓN:</b>		Tulcán, Av. Veintimilla y General Nariño Ibarra, Av. Mariano Acosta 12-75 y Av. Fray Vacas Galindo	
<b>EMAIL:</b>		galovllsp@yahoo.es villalbadiego@yahoo.com	
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062 246052 062 606808	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0991475969 0992058278

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	“MEDIDAS DE PREVENCIÓN ANTE RIESGOS DE EROSIÓN Y FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA, EN EL ÁREA DE INCIDENCIA “CIUDAD ARCÁNGEL”, CANTÓN IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA”
<b>AUTORES:</b>	Galo Vinicio Valles Peralta Diego Ramiro Villalba Calderón
<b>FECHA:</b>	18/01/2019
<b>SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO</b>	
<b>PROGRAMA:</b>	<input type="checkbox"/> PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Magíster en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	MSc. Guillermo Beltrán Michilena

## **2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD**

Yo, Galo Vinicio Valles Peralta con cédula de ciudadanía Nro. 0401379417 y Diego Ramiro Villalba Calderón, con cédula de ciudadanía Nro. 1002194247, en calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizamos a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

## **3. CONSTANCIAS**

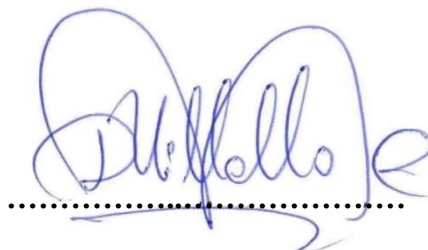
Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 18 días del mes de enero del 2019

## **LOS AUTORES**



Galo Vinicio Valles Peralta  
C.C. 0401379417



Diego Ramiro Villalba Calderón  
C.C. 1002194247

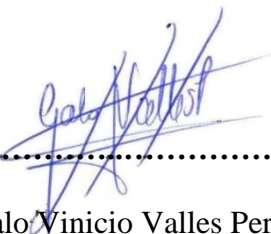
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO  
A FAVOR DE LA  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Galo Vinicio Valles Peralta con cédula de ciudadanía Nro. 0401379417 y Diego Ramiro Villalba Calderón, con cédula de ciudadanía Nro. 1002194247, manifestamos nuestra voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autores del trabajo de grado denominada: MEDIDAS DE PREVENCIÓN ANTE RIESGOS DE EROSIÓN Y FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA, EN EL ÁREA DE INCIDENCIA “CIUDAD ARCÁNGEL”, CANTÓN IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA. que ha sido desarrollada para optar por el título de Magíster en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.


En muestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 18 días del mes de enero del 2019.



.....

Galo Vinicio Valles Peralta  
C.C. 0401379417



.....

Diego Ramiro Villalba Calderón  
C.C. 1002194247

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo con todas las fuerzas de mi corazón, a mi compañera de vida, a quién es mi conexión a tierra y cómplice en la crianza de mis hijos, mi esposa Lorena, por su apoyo incondicional y ánimo que me brinda día con día para alcanzar nuevos objetivos, tanto profesionales como personales.*

*A mis tres tesoros Mateo Nicolás, Juan Diego y Raffaella Loren a quienes siempre cuidaré para verlos hechos buenas personas, capaces de involucrarse en la sociedad y que puedan valerse por sí mismos.*

*A mi mentora mi Mamí y hermanos sobrinas, quienes son mi ejemplo de constancia y guía desde mi infancia, en especial a mi Papí (+) que siempre nos incentivó a mejorar nuestro nivel académico.*

*A Galo mi compañero de investigación un caballero y un excelente ser humano que ha tenido mucha paciencia durante el período de la investigación ya que por todas las actividades que estamos desarrollando el amanecer se convirtió en nuestro mejor aliado.*

*A Ing. Álvaro Castillo A., quien me enseñó QUE NUNCA SOMOS PRODUCTO TERMINADO y que siempre necesitamos actualizarnos, capacitarnos, para ser mejores profesionales y tomar las mejores decisiones para nuestro trabajo y desempeño profesional, que las personas sí queremos trascender en el tiempo deber ser por nuestro trabajo y servicio hacia los demás.*

*Diego Villalba*



## DEDICATORIA

*A Dios y a mis padres Wilma Peralta y Luis Valles quienes me dieron la vida, sabiduría, apoyo incondicional y su infinito amor para salir adelante, convirtiéndose en el pilar fundamental en mi formación personal y profesional.*

*A mi Esposa e Hijos, Hermanos y Amigos quienes con su constancia me apoyaron día a día.*

*Galo Vallés P.*

## DEDICATORIA ESPECIAL

*A Juan Alcívar (+) amigo, compañero, que nos dejaste, este esfuerzo va dedicado a ti, pues partiste de forma repentina y nos dejaste tu ejemplo de dedicación y sacrificio para alcanzar los sueños.*

*A la memoria de Juan Alcívar quien vive en nuestros corazones por el resto de nuestras vidas.*

## RECONOCIMIENTO

Al finalizar la investigación queremos dejar constancia de nuestro reconocimiento.

A la Universidad Técnica del Norte, al Instituto de Posgrado y su coordinación de Maestría en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, a sus respetables catedráticos por las orientaciones brindadas a favor de nuestra formación profesional y humana.

Al MSc. Guillermo Beltrán Director de este trabajo de investigación por la orientación y consejos dados con sus conocimientos y experiencia, al MSc. José Guzmán Paz por el apoyo incondicional técnico y personal brindado en el desarrollo de esta investigación, a Ing. María Vizcaino por su apoyo desinteresado.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra, en la persona del Ing. Álvaro Castillo por permitirnos realizar este trabajo de investigación.

A estudiantes de la Universidad Técnica del Norte por el apoyo en el desarrollo de la presente investigación, a nuestros compañeros de aula por los momentos compartidos.

Agradecimiento especial a todas las personas y 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, por su colaboración y permitirnos desarrollar el presente trabajo.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
APROBACIÓN DEL JURADO CALIFICADOR .....	iii
AUTORÍA.....	iv
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN .....	v
CESIÓN DE DERECHOS .....	vii
DEDICATORIA .....	viii
DEDICATORIA ESPECIAL.....	x
RECONOCIMIENTO.....	xxi
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	xii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xix
RESUMEN .....	xxii
ABSTRACT.....	xxiii
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Problema de investigación .....	1
1.2 Objetivos de la investigación.....	3
1.3 Preguntas de investigación.....	3
1.4 Justificación .....	4
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>5</b>
<b>MARCO REFERENCIAL .....</b>	<b>5</b>
2.1 Antecedentes .....	5
2.2 Referentes teóricos.....	6
2.2.1. La gestión de riesgos en el ecuador .....	6
2.2.2. Definiciones .....	7
2.2.3. Percepción social del riesgo de desastres.....	7
2.2.4. Construcción social del riesgo .....	8
2.2.5. Construcción de la vulnerabilidad.....	8
2.2.5.1 Tipos de Vulnerabilidad.....	9

2.2.6. Deslizamientos .....	10
2.2.6.1. Partes de un deslizamiento .....	10
2.2.6.2. Metodología para determinar la susceptibilidad a deslizamientos .....	12
2.2.6.3. Método de la matriz .....	12
2.2.7. Erosión .....	13
2.2.7.1. Principales causas .....	14
2.2.7.2. Metodología para determinar la susceptibilidad a erosión .....	15
2.2.7.3. Método ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) .....	15
2.2.7.4. Método de interferometría .....	15
2.2.8. Sistemas de Información Geográfica .....	15
2.2.9. Modelo Digital del Terreno .....	16
2.2.10. Ortofotografía .....	16
2.3. Marco legal .....	16
<b>CAPITULO III</b> .....	20
<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	20
3.1. Tipo de investigación .....	20
3.1.1. Investigación bibliográfica .....	20
3.1.2. La investigación de campo .....	20
3.1.3. Investigación descriptiva .....	20
3.2. Diseño de la investigación .....	21
3.3. Descripción del área de estudio .....	21
3.4. Materiales y equipos utilizados .....	23
3.5. Procedimiento de investigación .....	23
3.6. Diagnóstico de los componentes biótico, abiótico, social y económico .....	24
3.6.1. Componente biótico .....	24
3.6.2. Componente abiótico .....	24
3.6.3. Componente socio económico .....	27
3.6.4. Evaluación de la vulnerabilidad .....	28
3.7. Zonificar áreas susceptibles a erosión y fenómenos de remoción en masa mediante sistemas de información geográfica .....	29
3.7.1. Susceptibilidad a deslizamientos .....	29

3.7.2. Susceptibilidad a erosión .....	32
3.7.2.1. Método interferometría (análisis multitemporal).....	32
3.7.2.2. Método ecuación universal de la pedida de suelo (USLE) .....	33
3.7.3. Validación de resultados .....	37
3.8. Diseñar medidas de prevención y mitigación ante riesgos de erosión y fenómenos de remoción en masa. ....	46
<b>CAPITULO IV</b> .....	<b>47</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>47</b>
4.1. Diagnóstico de los componentes biótico, abiótico, social, y económico del área de estudio .....	47
4.1.1. Componente biótico .....	47
4.1.2. Componente abiótico .....	50
4.1.3. Componente social y económico .....	59
4.1.4. Análisis de la vulnerabilidad.....	74
4.1.4.1. Indicadores y rangos utilizados para el cálculo de la vulnerabilidad.....	74
4.1.4.2. Análisis por tipo de vulnerabilidad a deslizamientos.....	75
4.1.4.3. Análisis por tipo de vulnerabilidad a erosión.....	78
4.1.4.4. Análisis por barrios de vulnerabilidad a deslizamientos.....	81
4.1.4.5. Análisis por barrios de vulnerabilidad a la erosión.....	82
4.2. Zonificación de áreas susceptibles a erosión y fenómenos de remoción en masa mediante sistemas de información geográfica .....	83
4.2.1. Susceptibilidad a deslizamientos .....	83
4.2.1.1. Inventario de movimientos de ladera .....	85
4.2.1.2. Factores determinantes.....	87
4.2.1.3. Análisis de la susceptibilidad.....	90
4.2.1.4. Validación mapa de susceptibilidad a deslizamientos .....	96
4.2.2. Susceptibilidad a erosión .....	97
4.2.3. Método interferometría .....	97
4.2.3.1. Validación mapa de susceptibilidad a erosión (interferometría).....	105
4.2.4. Método USLE .....	106
4.2.4.8. Validación mapa de susceptibilidad a erosión (USLE).....	116
4.3. Medidas de prevención y mitigación ante riesgos de erosión y fenómenos de remoción en masa .....	117

Conclusiones y recomendaciones .....	129
Conclusiones .....	129
Recomendaciones .....	132
Referencias Bibliográficas .....	133
Anexos .....	137

## **Anexos 1. Formatos**

Formato 1. Encuesta aplicada

## **Anexo 2. Tablas**

**Tabla 1.** Inventario de movimientos en masa

## **Anexos 3. Láminas**

- Lámina 1. Mapa de ubicación área de estudio
- Lámina 2. Mapa base
- Lámina 3. Mapa de altitud
- Lámina 4. Mapa de pendientes
- Lámina 5. Mapa de orientación
- Lámina 6. Mapa de suelos
- Lámina 7. Mapa de textura de suelo
- Lámina 8. Mapa cobertura vegetal
- Lámina 9. Mapa geología
- Lámina 10. Mapa ubicación aplicación de encuestas
- Lámina 11. Mapa Inventario de deslizamientos
- Lámina 12. Mapa susceptibilidad a deslizamientos
- Lámina 13. Modelo digital del terreno año 2017
- Lámina 14. Modelo digital del terreno año 2010
- Lámina 15. Mapa susceptibilidad a erosión (interferometría)
- Lámina 16. Mapa susceptibilidad a erosión (USLE)

## **Anexo. 4 fotografías**

- Fotos 1. Aplicación de encuestas
  - Foto 1.1 Encuesta vía antigua a Yahuarcocha
  - Foto 1.2 Encuesta barrio Santa Marianita del Olivo
  - Foto 1.3 Encuesta barrio Mirador del Olivo
- Fotos 2. Viviendas afectadas por deslizamientos
  - Foto 2.1. Vivienda afectada por deslizamiento (Vía al Arcángel)
  - Foto 2.2. Vivienda y camino peatonal afectada por deslizamiento (Olivo Alto)
  - Foto 2.3. Casa comunal afectada parcialmente por deslizamiento (La Quinta del Olivo)
- Foto 3. Canal de riego el 15 (ubicado en el flanco derecho área de estudio)
- Foto 4. Canal de riego (Flanco izquierdo del área de estudio Barrio la Quinta del Olivo)
- Foto 5. Canal de riego (Ubicado en el flanco izquierdo del área de estudio)
- Fotos 6. Identificación de movimientos en masa
  - Fotos 6.1. Movimiento 1

Fotos 6.2. Movimiento 2  
Fotos 6.3. Movimiento 3  
Fotos 6.4. Movimiento 4  
Fotos 6.5. Movimiento 5  
Fotos 6.6. Movimiento 6  
Fotos 6.7. Movimiento 7  
Fotos 6.8. Movimiento 8 – 9  
Fotos 6.9. Movimiento 10  
Fotos 6.10. Movimiento 11  
Fotos 6.11. Movimiento 12  
Fotos 6.12. Movimiento 13  
Fotos 6.13. Movimiento 14 - 15 -16 -17  
Fotos 6.14. Movimiento 18 – 19  
Fotos 6.15. Movimiento 20  
Fotos 6.16. Movimiento 21 - 22 - 23 – 24  
Fotos 6.17. Movimiento 25 – 26  
Fotos 7. Identificación puntos de validación  
Fotos 7.1 Identificación puntos en campo validación mapa movimientos en masa  
Fotos 7.2 Identificación puntos en campo validación mapa erosión  
Fotos 8. Cobertura vegetal  
Fotos 8.1. Vegetación arbustiva  
Fotos 8.2. Vegetación herbácea



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Coordenadas ubicación área de estudio .....	22
Tabla 2	Características sensor lidar .....	25
Tabla 3	Características cámara fotogramétrica digital.....	25
Tabla 4	Temas investigados con la aplicación de la encuesta .....	27
Tabla 5	Ponderación y calificativos para evaluación de vulnerabilidad .....	28
Tabla 6	Tipo de vulnerabilidad, indicador y niveles de vulnerabilidad .....	29
Tabla 7	Valoración del coeficiente Kappa.....	38
Tabla 8	Especies vegetales representativas.....	47
Tabla 9	Cobertura vegetal .....	49
Tabla 10	Fauna representativa .....	49
Tabla 11	Distribución del territorio en relación con altitudes (m.s.m.n) .....	51
Tabla 12	Distribución del territorio en relación con pendientes .....	52
Tabla 13	Distribución del territorio en relación con la orientación .....	54
Tabla 14	Distribución del territorio en relación con los suelos .....	55
Tabla 15	Distribución del territorio en relación con la textura del suelo.....	57
Tabla 16	Distribución del territorio en relación con la geología .....	58
Tabla 17	Nivel de instrucción de la población encuestada .....	61
Tabla 18	Integrantes del hogar distribuidos por grupo generacional .....	61
Tabla 19	Integrantes por hogar distribuido por número de integrantes .....	62
Tabla 20	Edades de la población.....	62
Tabla 21	Discapacidades integrantes del hogar .....	62
Tabla 22	Tenencia de la vivienda .....	63
Tabla 23	Tipo de vivienda .....	63
Tabla 24	Material de construcción de la vivienda .....	64
Tabla 25	Estado de la vivienda .....	64
Tabla 26	Porcentaje de cobertura de los servicios básicos dentro del área de estudio.....	65
Tabla 27	Calificativos de vulnerabilidad para la cobertura de los servicios básicos .....	65
Tabla 28	Principal actividad económica de los habitantes.....	67

Tabla 29 Ingreso mensual del hogar (usd).....	67
Tabla 30 Uso de las tierras.....	69
Tabla 31 Tierras que cuentan con agua de riego.....	70
Tabla 32 Prácticas de conservación de suelos.....	70
Tabla 33 Tipo de prácticas de conservación de suelos .....	70
Tabla 34 Tipo de organización comunitaria .....	71
Tabla 35 Participación de la mujer en la toma de decisiones .....	71
Tabla 36 Legalización de las organizaciones existentes .....	72
Tabla 37 Percepción nivel impacto por deslizamiento .....	72
Tabla 38 Percepción nivel impacto por erosión.....	73
Tabla 39 Nivel de preparación del hogar .....	73
Tabla 40 Tipos de vulnerabilidad, indicadores y niveles de vulnerabilidad .....	75
Tabla 41 Descripción por tipo de vulnerabilidad a deslizamientos .....	77
Tabla 42 Descripción por tipo de vulnerabilidad a erosión .....	80
Tabla 43 Análisis por barrios de vulnerabilidad a deslizamientos.....	82
Tabla 44 Análisis por barrios de vulnerabilidad a erosión.....	83
Tabla 45 Superficie afectada por movimientos en masa.....	86
Tabla 46 Niveles de clasificación de susceptibilidad a deslizamientos .....	93
Tabla 47 Territorio con susceptibilidad a deslizamientos.....	94
Tabla 48 Datos extraídos de los DEM 2017 y 2010 .....	101
Tabla 49 Comparación de los estadísticos descriptivos DEM 2017 vs DEM 2010.....	102
Tabla 50 Territorio con susceptibilidad a erosión (Interferometría).....	104
Tabla 51 Datos de precipitación para cálculo del factor R .....	109
Tabla 52 Cálculo factor K.....	110
Tabla 53 Factores de cobertura vegetal para el cálculo del factor C.....	113
Tabla 54 Territorio con susceptibilidad a erosión (USLE) .....	115
Tabla 55 Medias propuestas para prevención y mitigación ante deslizamientos.....	125
Tabla 56 Medias propuestas para prevención y mitigación ante erosión.....	127

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes de un deslizamiento .....	11
Figura 2. Determinación de la susceptibilidad a movimientos de ladera mediante el método de la matriz. ....	13
Figura 3. Ubicación del área de estudio .....	22
Figura 4. Sensor lidar .....	25
Figura 5. Cámara fotogramétrica digital y controlador del sistema.....	25
Figura 6. Equipo aéreo .....	26
Figura 7. Equipo GPS de soporte en tierra.....	26
Figura 8. Capas temáticas para iniciar elaboración de matriz de confusión .....	39
Figura 9. Capa temática de susceptibilidad en raster .....	40
Figura 10. Ubicación archivo ENVI Tool.tbx.....	40
Figura 11. Conversión de capa raster a formato .dat.....	41
Figura 12. Capa .dat vista en ENVI Classic.....	41
Figura 13. Herramienta Edit ENVI Header .....	42
Figura 14. Determinación de clases en ENVI.....	42
Figura 15. Capa de susceptibilidad clasificada .dat para la validación.....	43
Figura 16. Capa para validación (polígonos).....	43
Figura 17. Herramienta Region of Interest (ROI) Tool .....	44
Figura 18. Obtención regiones de interés ROIs .....	44
Figura 19. Herramienta Confusion Matrix Using Ground Truth ROIs.....	45
Figura 20. Ingreso de datos para matriz de confusión .....	45
Figura 21. Matriz de confusión obtenida a través de ENVI.....	46
Figura 22. Distribución espacial de la cobertura vegetal .....	48
Figura 23. Distribución espacial de altitud (m.s.n.m).....	51
Figura 24. Distribución espacial de la pendiente (grados).....	52
Figura 25. Distribución espacial de la orientación (grados) .....	53
Figura 26. Distribución espacial de los suelos .....	54

Figura 27. Distribución espacial de la textura del suelo .....	57
Figura 28. Distribución espacial de la geología .....	58
Figura 29. Ubicación de hogares encuestados .....	60
Figura 30. Servicios básicos y valoración de su calidad.....	66
Figura 31. Distribución de predios por área.....	68
Figura 32. Tenencia de la tierra (predios).....	69
Figura 33. Nivel de preparación de los hogares para responder ante un evento adverso.....	74
Figura 34. Herramienta susceptibility.....	84
Figura 35. Model Builder, para mapa deslizamientos.....	84
Figura 36. Modelo deslizamientos .....	85
Figura 37. Distribución de movimientos en masa por área.....	86
Figura 38. Ubicación espacial inventario de deslizamientos .....	87
Figura 39. DEM 2017 y subproductos: altitud, orientación y pendiente .....	88
Figura 40. Suelos, dato de entrada susceptibilidad a deslizamientos.....	90
Figura 41. Matriz de la superficie total del área de estudio (TSM) .....	91
Figura 42. Matriz mapa de deslizamiento (LM) .....	92
Figura 43. Matriz de susceptibilidad a deslizamientos (SM).....	93
Figura 44. Distribución espacial de la susceptibilidad a deslizamientos .....	95
Figura 45. Resultado matriz de confusión para mapa de deslizamientos.....	96
Figura 46. Polígonos levantados en campo para validación mapa susceptibilidad a deslizamientos ...	97
Figura 47. Modelo mapa erosión (método interferometría).....	98
Figura 48. DEM año 2017 y 2010 utilizados para análisis de susceptibilidad a erosión .....	99
Figura 49. Puntos de control aleatorios en el DEM .....	99
Figura 50. Correlación geométrica DEM año 2007 y 2010.....	100
Figura 51. Raster “resta” (DEM 2017 – DEM 2010).....	102
Figura 52. Clasificación de las áreas de susceptibilidad a erosión.....	103
Figura 53. Distribución espacial de la susceptibilidad a erosión (interferometría).....	104
Figura 54. Resultado matriz de confusión para mapa de erosión (interferometría).....	105
Figura 55. Polígonos levantados en campo para validación mapas susceptibilidad a erosión.....	106

Figura 56. Modelo mapa erosión (USLE).....	107
Figura 57. Raster factor R.....	109
Figura 58. Raster factor K.....	111
Figura 59. Raster de parámetros para cálculo del factor L .....	112
Figura 60. Raster factor S .....	113
Figura 61. Raster factor C.....	114
Figura 62. Propiedades de raster erosión hídrica .....	115
Figura 63. Distribución espacial de susceptibilidad a erosión (USLE).....	116
Figura 64. Resultado matriz de confusión para mapa de erosión (USLE).....	117

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## INSTITUTO DE POSGRADO PROGRAMA DE MAESTRÍA

“MEDIDAS DE PREVENCIÓN ANTE RIESGOS DE EROSIÓN Y FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA, EN EL ÁREA DE INCIDENCIA “CIUDAD ARCÁNGEL”, CANTÓN IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA”

Autores: Galo Vinicio Valles Peralta y Diego Ramiro Villalba Calderón

Tutor: MSc. Guillermo Beltrán Michilena

Año: 2019

### RESUMEN

La finalidad 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, esta investigación es de tipo: bibliográfico, de campo y descriptiva, su diseño de investigación de campo, con enfoque cuantitativo y mixto con alcance descriptivo y exploratorio, de tipo transversal y debido a que los resultados serán empleados por instituciones públicas y privadas a futuro es de tipo prospectivo.

Se empleó una encuesta para conocer las características socio económicas de la población, además y una ortofoto georeferenciada a escala 1:1.000 año 2017, un Modelo Digital de Elevación de 1 metro de resolución, un Modelo Digital de Elevación de SIGTIERRAS año 2010 con 3 metros de resolución, e información de la base de datos del Instituto Ecuatoriano Espacial, año 2014; escala 1:25000, información utilizada para levantar mapas base que permitieron obtener con el Sistema de Información Geográfica SIG, utilizando ArcMap 10.4, Global Mapper, un mapa de susceptibilidad a deslizamientos aplicando el método de la matriz y los mapas de susceptibilidad a erosión con el método ecuación universal para la pérdida de suelo USLE e interferometría (análisis multitemporal), los mapas fueron validados con salidas de campo y la aplicación de la matriz de confusión utilizando el software ENVI 5.3, mapas que permitieron conocer las áreas susceptibles a deslizamientos y erosión insumos utilizados para plantear medidas de prevención y mitigación.

Entre los resultados se tiene que la población encuestada posee una vulnerabilidad a deslizamientos del 70% y a erosión del suelo de 67,4%, por ello es importante entre otras propuestas iniciar con procesos de fortalecimiento de capacidades locales para la gestión del riesgo a fin de contar con comunidades resilientes. El mapa de erosión específicamente interferometría calcula una pérdida de suelo de 181.255,15 m<sup>3</sup> en 7 años. Se identificaron 26 movimientos de ladera, afectando a un área de 1,82 Ha, lo que corresponde al 1,13 % de la superficie del área de estudio, se evidencian viviendas asentadas en áreas con pendiente, el mapa de susceptibilidad a deslizamientos determina que ciertas áreas del flanco izquierdo y derecho tiene susceptibilidad media con 7,86% y alta 7,89% respectivamente, por ello se plantea la incorporación de la variable gestión de riesgos en los procesos de planificación territorial uso y gestión del suelo, a fin de evitar asentamientos humanos en zonas de riesgos y daño a la infraestructura pública y privada entre otras medidas planteadas para incorporar la variable gestión de riesgos de manera transversal.

**Palabras clave:** riesgos ambientales, deslizamientos, erosión, prevención, mitigación

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**INSTITUTO DE POSGRADO**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA**

"PREVENTION MEASURES FOR EROSION RISKS AND MASS REMOVAL PHENOMENA, IN THE INCIDENCE AREA OF " CIUDAD ARCÁNGEL ", IBARRA CANTON, IMBABURA PROVINCE"

Authors: Galo Vinicio Valles Peralta and Diego Ramiro Villalba Calderón  
Tutor: MSc. Guillermo Beltrán Michilena  
Year: 2019

**SUMMARY**

The investigation purpose was to propose prevention measures against the erosion risks and mass removal phenomena, in the incidence area of the "Ciudad Arcángel" project, Ibarra canton, Imbabura province, this following research type is: field and descriptive, its field research design, with a quantitative and mixed approach with descriptive and exploratory scope, cross-sectional type and since the results will be used by public and private institutions in the future it is prospective.

A survey was used to know the population socio-economic characteristics, as well as a georeferenced orthophoto at a scale of 1: 1,000 year 2017, a Digital Elevation Model of 1 meter resolution, a Digital Elevation Model of SIGTIERRAS 2010 with 3 meters of resolution, and the database information of the Ecuadorian Space Institute (Instituto Ecuatoriano Espacial), year 2014; scale 1: 25000, information used to build base maps that allowed to obtain with the Geographic Information System GIS, using ArcMap 10.4, Global Mapper, a susceptibility map from landslides applying the method of the Matrix and the susceptibility maps to erosion with the universal equation method for soil loss USLE and interferometry (multitemporal analysis), the maps were validated with field outputs and the application of the confusion matrix using the software ENVI 5.3, maps that allowed to know the areas susceptible to landslides and erosion supplies used to propose prevention and mitigation measures.

Among the results, the surveyed population has a vulnerability to landslides of 70% and soil erosion of 67.4%, which is why it is important, among other proposals, to start with strengthening processes of local capacities for the risk management related to having resilient communities. The erosion map specifically interferometry calculates a soil loss of 181,255.15 m<sup>3</sup> in 7 years. Twenty-six hillside movements were identified, affecting an area of 1.82 Ha, which corresponds to 1.13% of the studied area surface, evidenced by dwellings settled in sloping areas, the landslide susceptibility map determines that certain areas of the left and right flank have medium susceptibility with 7.86% and high 7.89% respectively, for this reason the incorporation of the risk management variable in the territorial planning processes land use and management, in order to avoid human settlements in areas of risk and damage to public and private infrastructure among other measures proposed to incorporate the risk management variable in a transversal manner.

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

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Problema de investigación

Los desastres a nivel mundial se duplicaron en las dos últimas décadas y alcanzaron más de 400 por año. La vulnerabilidad ha aumentado en varios países y Ecuador no es la excepción. Una de sus causas es el incremento de los riesgos urbanos debido a los elevados índices de urbanización, incluyendo asentamientos no planificados e inseguros en áreas de riesgo (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos [SNGR], 2012).

Durante los últimos 25 años, grandes desastres afectaron los países de la región andina. Según la CEPAL (2003), el 33% de las pérdidas directas e indirectas (vidas humanas, infraestructura social y productiva) en la región fue causado por eventos naturales. En Sudamérica y en el Ecuador la alta incidencia se debe a la relación que existe entre las actividades antrópicas y la falta de ordenamiento territorial en el desarrollo urbano y rural, sin embargo en la actualidad instituciones como la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, realizan una gestión orientada a disminuir la incidencia negativa de estos fenómenos naturales, para que estas acciones sean efectivas es necesario la articulación de las instituciones que forman el sistema nacional descentralizado de gestión de riesgos en el país, con un marco legal que facilite la aplicabilidad de sus lineamientos.

Ecuador es un país con un elevado índice de vulnerabilidad ante factores de origen natural, por su posición geográfica en el planeta, se encuentra sometido a diversas amenazas naturales, principalmente de origen geológico e hidro-meteorológico, que cada cierto tiempo afectan, en mayor o menor grado a la población y su infraestructura.

El 35% de la población ecuatoriana se encuentra asentada en zonas amenazadas por deslizamientos, inundaciones, flujos de lodo y escombros. Una de las principales causas de pérdidas de vidas humanas son los deslizamientos con un 55% del total de la población afectada. (Ministerio del Ambiente [MAE], 2011. Segunda comunicación nacional sobre el cambio climático).



En el año 2012, las precipitaciones fueron las mayores de los últimos 10 años, en la provincia de Imbabura y en el cantón Ibarra se registraron varios daños en infraestructura y sistemas agropecuarios generando grandes pérdidas.

Las prácticas inadecuadas del uso del suelo han acelerado la erosión de la tierra, incrementando las cargas de sedimentos en los ríos y arroyos y un desgaste de los suelos provocando que las fronteras agrícolas se expandan y se continúe con la deforestación.

La falta de estudios técnicos e inadecuada planificación urbana provocó que se establezca infraestructura pública y privada en zonas de riesgos las cuales son impactadas por diversos eventos adversos que se presentan en el territorio.

Según la FAO (2015), la erosión se lleva de 25 a 40000 millones de toneladas de la capa arable del suelo cada año, esto reduce significativamente los rendimientos de los cultivos y la capacidad del suelo para almacenar y completar el ciclo del carbono, los nutrientes y el agua. Las pérdidas anuales en la producción de cereales debido a la erosión se estiman en 7,6 millones de toneladas. Si no se toman medidas para reducir la erosión, las proyecciones indican una reducción de producción de más de 253 millones de toneladas en el año 2050. Esta pérdida de rendimiento sería equivalente a eliminar 1,5 millones de kilómetros cuadrados de tierras agrícolas, o aproximadamente toda la tierra cultivable en la India.

## **1.2 Objetivos de la investigación**

### **1.2.1. Objetivo general**

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.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Realizar un diagnóstico de los componentes biótico, abiótico, social y económico del área de estudio.
- Zonificar las áreas susceptibles a erosión y fenómenos de remoción en masa mediante Sistemas de Información Geográfica.
- Diseñar medidas de prevención y mitigación ante riesgos de erosión y fenómenos de remoción en masa.

## **1.3 Preguntas de investigación**

¿La población dentro del área de estudio presentan vulnerabilidad frente a erosión y fenómenos de remoción en masa?

¿El área de estudio es susceptible a erosión y fenómenos de remoción en masa?

¿El análisis de la susceptibilidad permite plantear medidas de prevención ante riesgos de erosión y fenómenos de remoción en masa?

## **1.4 Justificación**

El presente estudio se enmarca en la línea de investigación de Biotecnología, Energía y Recursos Naturales Renovables de la Universidad Técnica del Norte. Cumpliendo con la pertinencia del perfil de egreso donde se desarrolla habilidades para el manejo de herramientas técnicas, sociales y económicas inherentes al ámbito de cuenca hidrográfica incluyendo herramientas SIG, desde la perspectiva de planificación y principios del desarrollo territorial.

Es importante conocer que las vulnerabilidades están asociadas, por definición, a la exposición ante las amenazas de origen antrópico, natural o socio natural y a la capacidad que las sociedades y personas desarrollan para proteger y hacer uso de los beneficios de las inversiones y esfuerzos que realizan a lo largo del tiempo en sus territorios.

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 [SEMPLADES], 2013. Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017).

Por ello la importancia de este estudio que será una guía y soporte técnico para la toma de decisiones a nivel local lo que permitirá ordenar el territorio y plantear medidas de prevención y mitigación ante el riesgo de erosión y fenómenos de remoción en masa para mejorar el uso, manejo y conservación de los suelos.

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra permitió y aportó con la información para este estudio considerando su responsabilidad en gestión de riesgos estipulado en la Constitución de la República del Ecuador y el Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Autonomías y Descentralización, el financiamiento económico fue por parte de los autores.

## **CAPITULO II**

### **MARCO REFERENCIAL**

#### **2.1 Antecedentes**

En los últimos años se está dando importancia a la gestión de los riesgos ambientales, desde el 2008 con la Constitución de la República del Ecuador, se inicia un cambio es decir de acciones concentradas en respuesta a la gestión del riesgo la cual incluye procesos de prevención, preparación, respuesta, rehabilitación y reconstrucción.

El Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial “PD y OT” del cantón Ibarra, 2015-2030, en su sección amenazas y peligros indica que el proceso de actualización del PD y OT se ha contemplado la gestión de riesgos de manera transversal ya que toda acción en el territorio genera un impacto multiplicador que debe ser considerado desde una visión preventiva y estratégica para dar viabilidad y que las actividades continúen de manera normal, garantizando a la población su seguridad y bienestar.

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra, cuenta con un plan de gestión de riesgos cantonal al 2017, mismo que indica que en el cantón Ibarra, se han producido una serie de eventos adversos que han puesto en evidencia su alta vulnerabilidad, por ello la importancia de realizar estudios específicos para contar con información actualizada que permita la toma de decisiones.

Existen estudios relacionados tales como los realizados por: Jiménez, J (2012) donde se analiza los movimientos de ladera en la vertiente meridional de Sierra Nevada (Granada, España), realiza la identificación, análisis y cartografía de susceptibilidad y peligrosidad mediante SIG, así también como el estudio realizado por Camargo C, Andrades J (2014) quienes realizan la evaluación del Modelo Digital de Elevación “DEM” 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.

Por tal razón, este estudio con la finalidad de zonificar las áreas susceptibles a fenómenos de remoción en masa y erosión del suelo y diseñar medidas de prevención y mitigación con el fin de contar con una herramienta para gestionar los riesgos ambientales en el territorio.

## **2.2 Referentes teóricos**

### **2.2.1. La gestión de riesgos en el Ecuador**

La gestión de riesgos es parte de la seguridad integral del Estado y es responsabilidad directa de cada entidad de los sectores público y privado dentro de su ámbito geográfico; la gestión de riesgos operará de manera continua como parte normal de su planificación y gestión. (SNGR 1, 2014).

La Constitución de la República del Ecuador del 2008, el “Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Autonomías y Descentralización” (COOTAD), define que la prevención, reacción, mitigación, reconstrucción y transferencia de recursos para amenazas es una competencia que los “Gobiernos Autónomos Descentralizados” (GAD) deberán gestionar en coordinación con el Gobierno Central. Por ello los “Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial” (PDyOT) elaborados por los GAD deben incluir como eje transversal, la gestión de riesgos para reducir o mitigar las posibles afectaciones, garantizar la seguridad de la población y evitar los impactos negativos en sus actividades socioeconómicas. Sin embargo, en el último reporte efectuado por los GAD municipales al sistema de información administrado por Senplades, manifiesta que 101 de 221 municipios del país, cuentan con planes de prevención de amenazas naturales en la fase del diagnóstico de sus PDyOT. (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [Senplades] (2015). Revista Chakana).

Las investigaciones científicas relacionadas al cambio climático permiten prever incrementos radicales de temperatura y variaciones en las precipitaciones a nivel de país o de región. Ambas variables tendrán una incidencia en la calidad de vida de los ecuatorianos. (Proyecto de ley Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2012).

## **2.2.2. Definiciones**

### **2.2.2.1. Gestión de riesgo**

La gestión de riesgos es un conjunto sistemático de disposiciones, recursos, medidas y acciones que deben basarse en el mejor conocimiento disponible, con el propósito de reducir la vulnerabilidad. La gestión de riesgos abarca la prevención, mitigación, respuesta, recuperación y reconstrucción (SGR (1), 2014).

### **2.2.2.2. Riesgo**

Probabilidad de ocurrencia de un peligro latente que provoca pérdida de vidas humanas, ambientales, económicas, sociales en un territorio particular durante un tiempo de exposición determinado (SGR (2), 2014).

### **2.2.3.3. Amenaza**

Fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos, así como daños materiales, sociales, económicos y ambientales (SGR (1), 2014).

### **2.2.2.4. Vulnerabilidad**

Condiciones, factores, procesos que incrementan la exposición o susceptibilidad de una comunidad o sistema al impacto de las amenazas y a los factores que dañan su resiliencia (SGR (1), 2014).

### **2.2.2.5. Mitigación**

Actividades y medios empleados para reducir, limitar los efectos negativos por el impacto de eventos adversos (SGR (1), 2014).

### **2.2.2.6. Prevención**

Conjunto de acciones cuyo objeto es evitar que sucesos naturales o generados por la actividad humana, causen eventos adversos (SGR (1), 2014).

### **2.2.3. Percepción social del riesgo de desastres**

La percepción del riesgo debe verse como punto de partida cuando se trabaja en la gestión local del riesgo, debido a que en la sociedad el riesgo es construido a partir de un entramado social donde la percepción cumple un papel fundamental dentro del proceso de preparación prevención y respuestas ante la presencia de los eventos adversos, es decir, permite identificar cómo el riesgo es entendido, construido y reproducido; esto posibilita la autogestión comunitaria en la medida en que las personas desarrollen acciones concretas para afrontar su situación de riesgo en su comunidad (Aguilar y Brenes, 2008).

Es evidente que el riesgo es percibido de forma distinta por cada individuo, ya que la percepción se va a ver influenciada por el marco de referencia personal, familiar y comunitario en que dicho individuo esté inmerso.

### **2.2.4. Construcción social del riesgo**

El concepto de construcción social asociado con los riesgos ha demostrado su utilidad analítica entre los investigadores de los desastres y sus efectos que éstos han provocado en la sociedad, se le han atribuido significados diversos, lo cual ha contribuido en algunos casos a confusiones en su utilización. Es natural que esto ocurra en la evolución de los planteamientos teóricos que se construyen en las ciencias para la interpretación de la realidad (Acosta, 2005).

La noción de la construcción social del riesgo se cimienta en la idea de que la naturaleza presenta una serie de posibles eventos físicos que pueden ser generados por la dinámica natural, pero su transformación en amenazas reales para la población está intermediada por la actividad antrópica. Es decir, una amenaza no es el evento físico natural en sí, sino el peligro asociado con ella, el nivel del cual es determinado, entre otras razones, por factores no naturales o físicos, tales como los grados de exposición o vulnerabilidad de la población.

### **2.2.5. Construcción de la vulnerabilidad**

Se refiere a la predisposición de los seres vivos, sus medios de vida y mecanismos de soporte a sufrir daños y pérdidas frente a la ocurrencia de eventos físicos potencialmente peligrosos.

Para Chardón citado por Edwards (2016), los principales factores socioculturales de la vulnerabilidad ante desastres son tres: La información y comunicación que accede la persona,

la percepción del riesgo y la actitud de la persona hacia las medidas derivadas del mismo. En cuanto a los comportamientos preventivos, estos están primariamente determinados por la percepción de riesgo de cada individuo, además intermediados por la percepción de su vulnerabilidad, es decir, de ser conscientes de que existe la posibilidad de ser afectados de manera directa por el evento adverso.

A pesar de la existencia de eventos adversos, se debe aceptar que el problema del riesgo de desastre, como se propone abordar en la gestión del riesgo, no se ubica en la esfera de eventos realmente extremos, sino en el rango normal de eventos recurrentes para los cuales, en principio, la sociedad dispone de mecanismos de planificación, de protección y de mitigación.

La predisposición al daño, es decir la vulnerabilidad de los elementos socioeconómicos expuestos, con referencia al espectro normal de eventos físicos recurrentes, es el resultado de condiciones sociales, políticas y económicas que asignan diversos niveles de debilidad o falta de resistencia a determinados grupos sociales. (Narváez, Lavell y Pérez, 2009).

#### ***2.2.5.1 Tipos de vulnerabilidad***

Existen diferentes tipos de vulnerabilidad, entre las más importantes se pueden mencionar las siguientes (Rodríguez A, Romero P y Callejas N, 2007).

- ⌘ **Vulnerabilidad social:** Se refiere a un conjunto de relaciones, comportamientos, formas de organización y manera de actuar de las personas y las comunidades que las coloca en condiciones de mayor o menor exposición.
- ⌘ **Vulnerabilidad educativa:** Está representada principalmente con la preparación académica en distintos niveles, que permite a los ciudadanos aplicar tales conocimientos en su vida cotidiana como herramienta válida para enfrentar las situaciones de peligro presentes en la zona que habitan.
- ⌘ **Vulnerabilidad física:** Está relacionada con la calidad o tipo de material utilizado y el tipo de construcción de las viviendas, infraestructura pública y privada, su ubicación y características.
- ⌘ **Vulnerabilidad económica:** Constituye el acceso que tiene la población a los activos económicos como vivienda, educación, servicios, tierras entre otros, determinada,



fundamentalmente, por el nivel de ingreso de la población lo cual permite determinar la vulnerabilidad de una población ante la presencia de un evento adverso.

- ⌘ **Vulnerabilidad ambiental:** Es aquella que se relaciona con la manera cómo una población utiliza los elementos de su entorno, debilitándose a sí misma y debilitando a los ecosistemas en su capacidad de absorber sin traumatismo los fenómenos de la naturaleza, es decir, cuanto mayor sea la degradación ambiental y cuanto menos sostenible sea el uso dado a los recursos naturales presentes, mayor será la vulnerabilidad.
- ⌘ **Vulnerabilidad organizacional:** La organización de un territorio influye significativamente en las acciones de prevención, preparación, respuesta, recuperación y rehabilitación ante la presencia de un evento adverso en el territorio, es decir a mayor organización menor será la vulnerabilidad.
- ⌘ **Vulnerabilidad cultural:** Depende en gran medida de la concepción de las personas sobre el papel de los seres humanos en el mundo, si en la ideología predominante se imponen concepciones falaces, generada por la falta de información, educación, comunicación, organización, la población aumenta su vulnerabilidad y puede sufrir daños y pérdidas frente a la ocurrencia de eventos adversos potencialmente peligrosos.

## **2.2.6. Movimientos en masa**

Según, Suarez (1998) los deslizamientos consisten en movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud (Cruden, 1991). El término deslizamiento incluye procesos de erosión como los procesos denudacionales. Algunos países utilizan nombres como deslaves. Los movimientos ocurren generalmente a lo largo de las superficies de falla, por caída libre, movimientos en masa, erosión o flujos. Algunos segmentos del talud o ladera pueden moverse hacia abajo mientras otros se mueven hacia arriba.

### **2.2.6.1. Partes de un deslizamiento**

En la figura 1, se muestra un deslizamiento típico o desplazamiento en masa, sus partes principales son las siguientes:

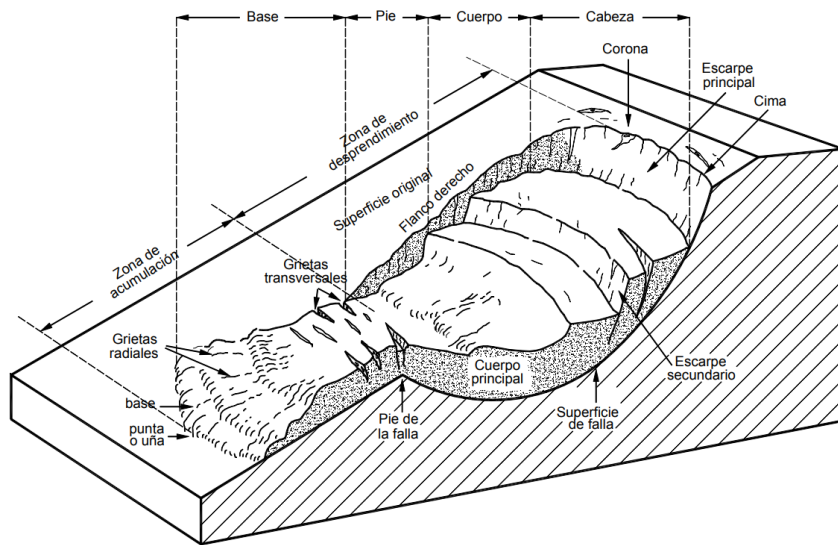


Figura 1. Partes de un deslizamiento  
Fuente: Suarez, 1998

Según, Suarez (1998) los deslizamientos tienen las siguientes partes:

- ⊗ **Cabeza:** Parte superior de la masa de material que se mueve. La cabeza del deslizamiento no corresponde necesariamente a la cabeza del talud. Arriba de la cabeza está la corona.
- ⊗ **Cima:** El punto más alto de la cabeza, en el contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- ⊗ **Corona:** El material que se encuentra en el sitio, (prácticamente inalterado), adyacente a la parte más alta del escarpe principal, por encima de la cabeza.
- ⊗ **Escarpe principal:** Superficie muy inclinada a lo largo de la periferia posterior del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material.
- ⊗ **Escarpe secundario:** Superficie muy inclinada producida por el desplazamiento diferencial dentro de la masa que se mueve. En un deslizamiento pueden formarse varios escarpes secundarios.
- ⊗ **Superficie de falla:** Área por debajo del movimiento y que delimita el volumen del material desplazado. El suelo por debajo de la superficie de la falla no se mueve, mientras que el que se encuentra por encima de ésta se desplaza. En algunos movimientos no hay superficie de falla.

- ⌘ **Pie de la superficie de falla:** La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.
- ⌘ **Base:** El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.
- ⌘ **Punta o uña:** El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.
- ⌘ **Cuerpo principal del deslizamiento:** El material desplazado que se encuentra por encima de la superficie de falla. Se pueden presentar varios cuerpos en movimiento.
- ⌘ **Superficie original del terreno:** La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.
- ⌘ **Costado o flanco:** Un lado (perfil lateral) del movimiento. Se debe diferenciar el flanco derecho y el izquierdo.
- ⌘ **Derecha e izquierda:** Se recomienda utilizar la orientación geográfica (norte, sur, este, oeste); pero si se emplean las palabras derecha e izquierda, deben referirse al deslizamiento observado desde la corona hacia el pie.

#### ***2.2.6.2. Metodología para determinar la susceptibilidad a movimientos de ladera***

La susceptibilidad frente a los movimientos de ladera expresa la mayor o menor tendencia del terreno a la generación de movimientos. Es la condición general de estabilidad del terreno. El mapa de susceptibilidad es la predicción espacial del grado del azar (Chacón et al, 1994; Irigaray, 1995).

#### ***2.2.6.3. Método de la matriz***

Según, Jiménez, J (2012) el análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en SIG, mediante el método de la matriz corresponde a un análisis estadístico bivariante que se basa en el análisis cruzado de los mapas condicionantes del terreno con el inventario de movimientos de ladera de los cuales se obtienen valores ponderados de susceptibilidad según la densidad de movimientos o el área afectada, este método está dentro de los métodos estadísticos cuantitativos, que están basados en el inventario de movimientos de ladera, apropiados para investigaciones regionales a media escala, considerados como métodos empíricos más objetivos que los heurísticos (Ermini et al. 2005).

El método de la matriz se basa en el procesamiento de tres matrices: la matriz de movimientos de ladera (LM), matriz de toda la zona (TSM) y matriz de susceptibilidad (SM). Inicialmente se establecen todas las posibles combinaciones entre las clases de los factores determinantes seleccionados. La matriz LM se crea 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. La matriz TSM corresponde a la extensión total ocupada por cada una de las combinaciones de clases de factores. Finalmente, en la matriz 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 (figura 2).

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, J 2012).

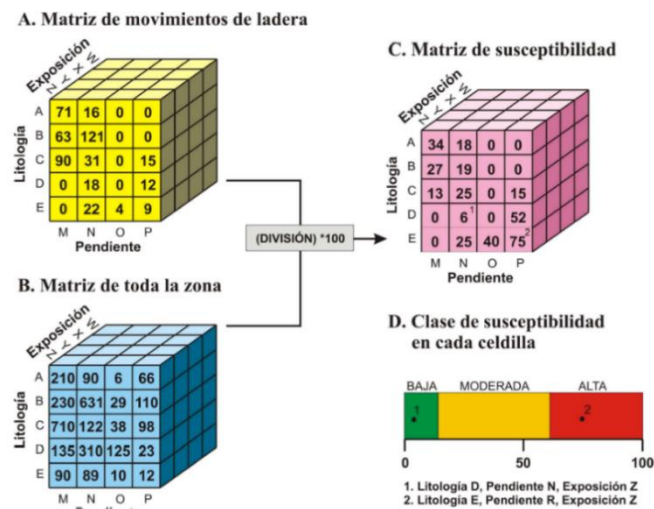


Figura 2. Determinación de la susceptibilidad a movimientos de ladera mediante el método de la matriz. Fuente: Irigaray, 1999

El mapa inventario de movimientos de ladera se utiliza para la evaluación de la susceptibilidad. El método de la matriz emplea un análisis estadístico bivariante, ofrece mejores resultados (Irigaray et al., 2006) que las técnicas de análisis estadístico multivariante.

### **2.2.7. Erosión**

Según FAO (2015), manifiesta que la erosión es la remoción del suelo de la superficie de la tierra por el agua, viento o labranza. La erosión hídrica ocurre principalmente cuando el flujo superficial transporta partículas del suelo desprendidas por el impacto de las gotas de lluvia o la escorrentía superficial, generalmente dando lugar a surcos o cárcavas.

Mientras que, Cisneros y Cholaky (2012), la erosión viene del latín erosio, es decir la erosión es el desgaste que se produce en la superficie del suelo por la acción de agentes externos como el viento, agua o por la fricción continua de otros cuerpos.

#### **2.2.7.1. Principales causas**

La erosión hídrica es un proceso complejo y sujeto a un conjunto de causas que ocurren en el ámbito de una cuenca hidrográfica como:

- ⊗ **Clima** el principal factor climático que influye en la erosión hídrica es la precipitación, y su energía cinética.
- ⊗ **Relieve** su grado o inclinación de la pendiente, su longitud es otro factor que define la de erosión de una ladera y la velocidad terminal de la escorrentía.
- ⊗ **Suelo** relacionado con la erosionabilidad o erodabilidad del suelo inciden en la susceptibilidad al desprendimiento y transporte por los agentes de la erosión. La erodabilidad es un efecto integrado de los procesos que regulan la absorción de la lluvia y la resistencia de las partículas del suelo al desprendimiento y posterior transporte.
- ⊗ **Sistema de producción** considerando las formas en que la sociedad hace uso de los recursos naturales, la relación entre la sociedad y naturaleza emparentada al uso y manejo de las tierras.

La eliminación de la vegetación, la quema indiscriminada y sobrepastoreo son factores que aceleran los procesos erosivos del suelo, aumentando la tasa de sedimentación de tierra. La contaminación de cursos superficiales con nutrientes derivados de fertilizantes fosforados, con pesticidas y otros agroquímicos es otra de las consecuencias del incremento de los procesos erosivos.

### **2.2.7.2. Metodología para determinar la susceptibilidad a erosión**

Para zonificar áreas con susceptibilidad a erosión se consideraron dos métodos USLE e interferometría (análisis multitemporal).

### **2.2.7.3. Método ecuación universal de pérdida de suelo (USLE)**

Para determinar el potencial de erosión del suelo se desarrollaron varias ecuaciones con base en los diversos parámetros que afectan la erosión, estos métodos han sido utilizados como una forma de evaluar el potencial de erosión de un área determinada. De estos modelos empíricos el más conocido es la Ecuación Universal de Pérdidas de suelo desarrollada por Smith y Wischmeier en 1978 (Tragsa, 1994). El modelo paramétrico permite la evaluación de las pérdidas de suelo, incluyendo tanto la erosión laminar como la erosión en surcos mediante la siguiente expresión (Suarez, 2001).

$$A = R.K.S.L.C.P$$

#### **Donde:**

A: pérdida de suelo por unidad de superficie.

R: factor lluvia es el número del índice de erosión pluvial.

K: factor erosionabilidad de suelo.

L: factor longitud de la ladera.

S: factor pendiente (adimensional).

C: factor cultivo y ordenación (adimensional).

P: factor prácticas de conservación del suelo (adimensional).

### **2.2.7.4. Método de interferometría**

Los inicios de la interferometría se dieron a conocer a principios de los años 70, documentado por (Graham, 1974), donde se describen las características generales de los sistemas interferométricos SAR aerotransportados, y las aplicaciones desarrolladas inicialmente a partir de la interferometría como son el mapeo topográfico.

## **2.2.8. Sistemas de información geográfica**

Es una de las herramientas que permiten integrar información espacial y alfanumérica. Su desarrollo responde a la necesidad de hacer análisis espaciales, difíciles de realizar manualmente, con diferente nivel de cobertura y resolución. La función principal de un SIG

es la de ayudar a planificadores y administradores en el manejo adecuado de la información espacial y en la toma de decisiones (Ruiz y Molina, 2001).

La cartografía automatizada, las operaciones y resultados con los sistemas de información geográfica, se han convertido en una herramienta indispensable para la toma de decisiones, desarrollo de actividades, investigaciones, métodos de planificación y ordenamiento del territorio entre otros.

### **2.2.9. Modelo digital del terreno**

El término digital terrain model tiene aparentemente su origen en el laboratorio de fotogrametría del Instituto de Tecnología de Massachussetts en la década de los 50. El trabajo realizado por (Miller y Laflamme, 1958), se determinan los primeros principios del uso de los modelos digitales para el tratamiento de problemas tecnológicos, científicos y militares (Felicísimo, 1994). Un MDT es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua (Felicísimo, 1994).

### **2.2.10. Ortofotografía**

La ortofotografía es una fotografía aérea corregida de todo tipo de deformaciones y distorsiones que se generan debido a la perspectiva de la cámara fotográfica y al desplazamiento del relieve. Estas correcciones son efectuadas a través del proceso de ortorectificación, lo que permite que sobre la ortofoto se puedan efectuar mediciones de precisión, tal como se haría sobre un mapa, es decir es una representación matricial de la realidad del terreno, por lo cual en ella se pueden apreciar los componentes del entorno, debidamente georeferenciados y con sus dimensiones.

La ortofotografía constituye la capa base de referencia de los sistemas de información de análisis espacial, su combinación por superposición con otras capas de información aporta una eficiente información territorial (García – Ferrer, 2011), citado por Instituto Geográfico Militar [IGM] (abril, 2013), revista técnica 2013, 4t edición.

## **2.3. Marco legal**

Se realizó un análisis de las principales referencias del marco legal para la gestión de los riesgos que han sido considerados en el presente estudio:

### 2.3.1. Constitución de la República del Ecuador

Dentro de la Constitución de la República del 2008, se puede resaltar los siguientes artículos que respaldan esta investigación:

**Art. 14.-** La Constitución reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Este artículo permite garantizar los derechos de la población a vivir en ambientes sanos libre de agentes que puedan perjudicar a la población y ecosistemas que les proveen de bienes y servicios.

**Art. 261.-** Menciona que el Estado central tendrá competencias exclusivas sobre, numeral 8. El manejo de desastres naturales, esto ha dado lugar a que se cree políticas públicas orientadas a gestión del riesgo considerando la prevención, preparación, respuesta y rehabilitación de sistemas afectados por eventos adversos.

**Art. 264.-** Indica que los gobiernos municipales tendrán competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley como lo indica el numeral 1. Planificar el desarrollo cantonal y formular los correspondientes planes de ordenamiento territorial, articulada a la planificación en todos los niveles de gobierno, y el numeral 2. Ejercer el control sobre el uso y ocupación del suelo en el cantón, esto permite controlar y regular asentamientos humanos en zonas de riesgo y reducir los daños provocados a población e infraestructura pública y privada con la presencia de eventos adversos.

**Art. 389.-** Menciona la responsabilidad del Estado de proteger a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad, permitiendo aumentar la resiliencia de la población en cada uno de los territorios.

**Art. 390.-** Manifiesta que los riesgos se gestionarán bajo el principio de descentralización subsidiaria, esto implica la responsabilidad directa de las instituciones dentro de su ámbito geográfico. Cuando sus capacidades para la gestión del riesgo sean insuficientes, las instancias de mayor ámbito territorial y mayor capacidad técnica y financiera brindarán el apoyo necesario con respeto a su autoridad en el territorio y sin relevarlos de su responsabilidad.



El artículo 389 y 390 incorporan la gestión del riesgo como un eje transversal dentro del Estado para la protección de la población, infraestructura pública y privada ante la presencia de eventos adversos, a través de la prevención, preparación, respuesta, rehabilitación y reconstrucción.

**Art. 409.-** Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil, permite establecer un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión. Esto permite generar política pública a nivel nacional y local para realizar acciones en áreas afectadas por procesos de degradación y desertificación, con el desarrollo de proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo utilizando de preferencia, especies nativas y adaptadas a la zona.

**Art. 415.-** El Estado central y los gobiernos autónomos descentralizados adoptarán políticas integrales y participativas de ordenamiento territorial urbano y de uso del suelo, que permitan regular el crecimiento urbano, artículo que se relaciona con el Art. 264.- lo que permite organizar el territorio con la finalidad de realizar un desarrollo planificado en base a las necesidades de cada territorio.

### **2.3.2. Plan Nacional del Buen Vivir 2013 – 2017**

**Política 3.8.-** La ejecución de esta política permite a la población acceder a un hábitat seguro e incluyente estableciendo mecanismos intersectoriales con los distintos niveles de gobierno, además para prevenir e impedir los asentamientos humanos irregulares, sobre todo en zonas de riesgo o protegidas.

**Política 3.11.-** Garantiza la preservación y protección integral del patrimonio cultural, natural y de la ciudadanía ante las amenazas y riesgos de origen natural o antrópico. Su literal b. indica que se debe incorporar la gestión integral, preventiva y sustentable de riesgos en los procesos de planificación y ordenamiento territorial nacional y local, para reducir la vulnerabilidad de las poblaciones ante las amenazas, principalmente las de origen hidrometeorológico.

**Política 7.3.-** Motiva a consolidar la gestión sostenible de los bosques, enmarcada en el modelo de gobernanza forestal, en su literal a. menciona que se debe desarrollar actividades de forestación, reforestación y revegetación con especies nativas y adaptadas a las zonas afectadas

por procesos de deforestación, degradación, fragmentación, erosión, desertificación e incendios forestales.

### **2.3.3. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)**

**Art 54.-** Menciona la función del gobierno autónomo descentralizado municipal, específicamente su literal o) le permite regular y controlar las construcciones en la circunscripción cantonal, considerando las normas de control y prevención de riesgos y desastres, permitiendo articular con otros marcos legales para generar normativa (ordenanzas) orientadas a reducir los riesgos de desastres dentro del territorio.

**Art 140.-** Da atribuciones al gobierno autónomo descentralizado municipal sobre la gestión de riesgos que, abarcando acciones de prevención, reacción, mitigación, reconstrucción y transferencia, para enfrentar las amenazas de origen natural o antrópico que impacten al cantón se gestionarán de manera concurrente y de forma articulada con las políticas y los planes emitidos por el organismo nacional responsable.

### **2.3.4. Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas (COPLAFIP)**

**Art. 64.-** Menciona la preeminencia de la producción nacional e incorporación de enfoques ambientales y de gestión de riesgo. Este artículo indica que todo programa y proyecto de inversión pública debe contar con enfoques ambientales y gestión de riesgos con la finalidad de proteger la inversión ante la presencia de eventos adversos, por ende, a la población beneficiaria.

## **CAPITULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

En este capítulo se describe las diferentes metodologías y técnicas utilizadas para cumplir con los objetivos propuestos en la presente investigación, materiales equipos e insumos que fueron empleados.

#### **3.1. Tipo de investigación**

Los tipos de investigación empleados en el presente estudio son: la bibliográfica, de campo y descriptiva.

##### **3.1.1. Investigación bibliográfica**

Tiene el propósito de conocer y deducir diferentes enfoques, teorías, conceptualizaciones y criterios de diversos autores sobre una cuestión determinada, basándose en documentos, en libros, artículos científicos, además de información proporcionada por las instituciones públicas y privadas.

##### **3.1.2. La investigación de campo**

Tiene como propósito recoger, explorar de forma ordenada y planificada datos de campo, para su respectivo tratamiento, análisis y presentación de la información, basado en una estrategia de recolección directa de datos necesarios para la investigación entre estas se resalta la encuesta y la observación no estructurada con el instrumento diario de campo lo que permite identificar los elementos desencadenantes y condicionantes para los riesgos de erosión del suelo y movimientos en masa motivo de esta investigación.

##### **3.1.3. Investigación descriptiva**

Este tipo de investigación permite expresar cómo se manifiesta el objeto, fenómeno o problema motivo de estudio; es una investigación que busca especificar, particularizar y analizar las propiedades importantes de los riesgos dentro del área de incidencia del proyecto “Ciudad Arcángel”.

### **3.2. Diseño de la investigación**

El presente trabajo investigativo tiene diseño de investigación de campo, con un enfoque cuantitativo y mixto mediante un alcance descriptivo y exploratorio debido a que tiene como propósito evaluar la susceptibilidad de erosión y fenómenos de remoción en masa, en el área de incidencia del proyecto “Ciudad Arcángel”.

Debido al tiempo de duración del trabajo investigativo se establece como un tipo transversal y debido a que los resultados serán empleados por instituciones públicas a futuro es de tipo prospectivo.

### **3.3. Descripción del área de estudio**

Se realizó un reconocimiento del sector para delimitar el área de estudio y determinar los barrios, además se realizó la identificación de los actores involucrados, inicialmente tomando en cuenta sus funciones en relación con los recursos naturales especialmente el uso y manejo suelo, orientado a los riesgos de erosión y movimientos en masa.

El área de estudio ocupa una superficie de 160.93 ha y un perímetro de 7,31 Km, está ubicada en el norte del Ecuador, zona 1, provincia de Imbabura, cantón Ibarra, entre las parroquias urbanas El Sagrario en su mayoría y la parroquia San Francisco, abarcando los 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.

Sus límites al norte con vía de ingreso a la laguna Yahuarcocha al sur con el sector denominado Yuracrucito y quebrada s/n, al este la vía Autódromo de Yahuarcocha, al oeste vía panamericana norte.

Comprende el área de incidencia del proyecto “Ciudad Arcángel” iniciativa del GAD Municipal del San Miguel de Ibarra que se desea implementar, su área de incidencia directa es referencial es decir puede variar en base a los estudios y diseños definitivos del proyecto. El flanco derecho del área de estudio se encuentra en la microcuenca de la laguna Yahuarcocha e izquierdo en la cuenca del río Tahuando, entre el sector la Aduana al norte y Yuracrucito al sur, en el declive interno de la cordillera oriental de los Andes de la formación de los Angochaguas (figura 3; Anexo 3 Lámina 1).

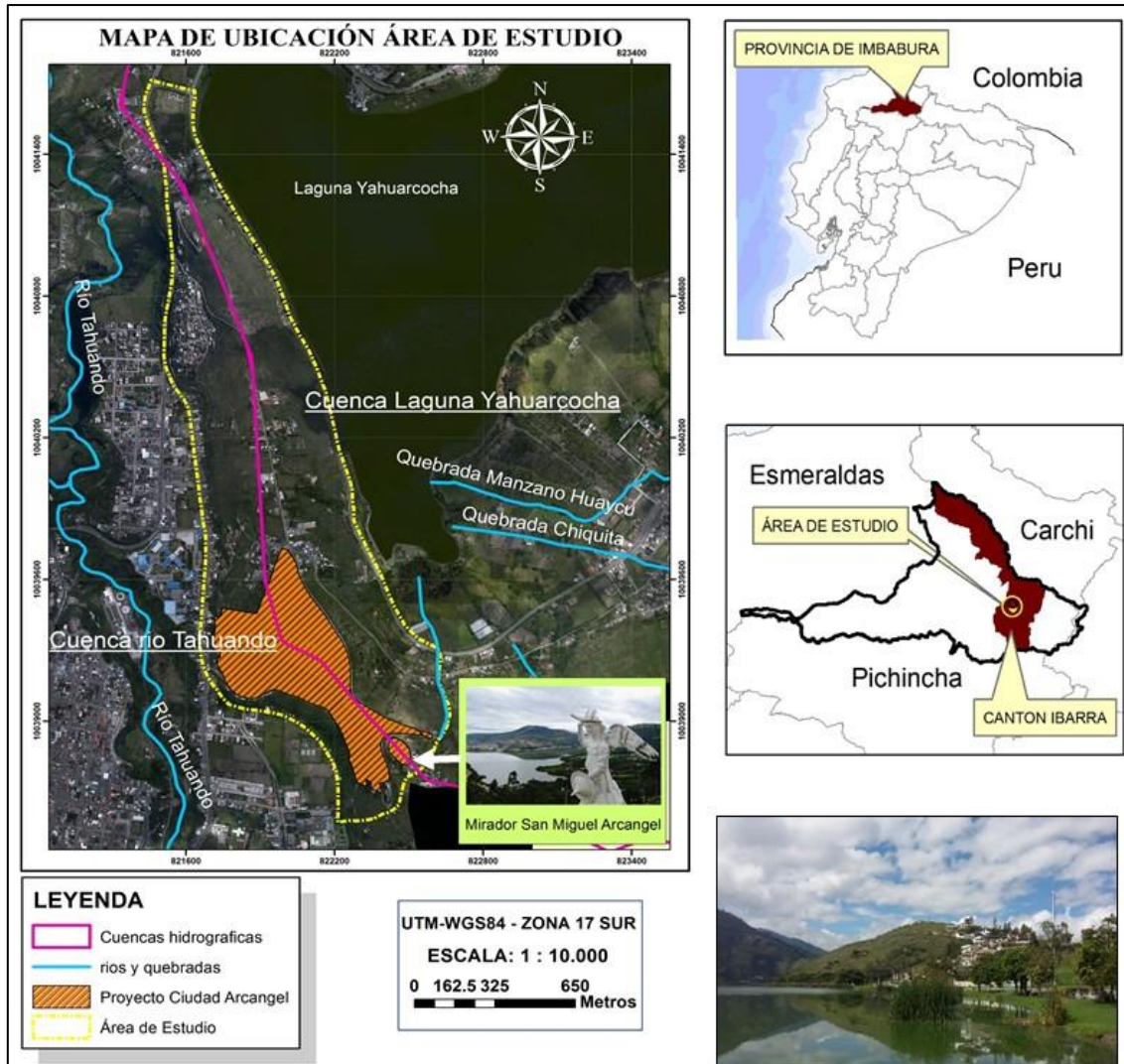


Figura 3. Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encuentra en la zona 17 Sur, en las siguientes coordenadas (tabla 1).

Tabla 1  
Coordenadas ubicación área de estudio

Punto	N	W	Altura
Centroide	0° 21' 43.86" N	78° 06' 28.20" W	2292 m.s.n.m

El área de estudio posee un clima, ecuatorial mesotérmico semi húmedo, caracterizándose por presentar una precipitación de 500 a 700 m.m y una temperatura de 12 a 14 °C, una humedad relativa superior al 80%, se encuentra en la zona de vida de transición bosque seco montano bajo a bosque húmedo montano.

La zona presenta dos épocas lluviosas de febrero a mayo y de octubre a noviembre, la época seca se evidencia de junio a septiembre.

### **3.4. Materiales y equipos utilizados**

Los materiales y equipos utilizados en la presente investigación fueron seleccionados en base al trabajo de campo y oficina.

#### **Materiales**

- ✓ Flexómetro.
- ✓ Formularios de campo.
- ✓ Material de escritorio.

#### **Equipos**

- ✓ G.P.S.
- ✓ Cámara fotográfica.
- ✓ Computadora.

#### **Insumos**

- ✓ Ortofoto georeferenciada a escala 1:1.000 año 2017; Tamaño de píxel en el terreno (GSD) 10 cm.
- ✓ Modelo Digital de Elevación (DEM); Densidad LiDAR promedio 8 puntos/m<sup>2</sup>; Espaciado medio entre puntos 0.36 m; 1 metro de resolución.
- ✓ Modelo Digital de Elevación (DEM); SIGTIERRAS “Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica” año 2010; 3 metro de resolución.
- ✓ Base de datos del Instituto Ecuatoriano Espacial, año 2014; escala 1:25000.
- ✓ Software.
  - Paquete de office
  - ArcMap 10.4
  - Global Mapper v19
  - ENVI 5.3
  - Orux map (aplicación)

### **3.5. Procedimiento de investigación**

En el siguiente capítulo se describe los métodos aplicados para cumplir con cada uno de los objetivos planteados.

### **3.6. Diagnóstico de los componentes biótico, abiótico, social y económico**

#### **3.6.1. Componente biótico**

La descripción del componente biótico se realizó con salidas de campo utilizando la observación, entrevistas a la población y fuentes de información entre las principales, el plan de manejo integral de la microcuenca de la laguna Yahuarcocha y la caracterización hidrológica abiótica y biótica de la cuenca del río Tahuando.

#### **3.6.2. Componente abiótico**

Para el componente abiótico el levantamiento de la información base, se utilizó una ortofoto georeferenciada a escala 1:1.000 y el Modelo Digital de Elevación (DEM) año 2017, proporcionado por el GAD Municipal de San Miguel Ibarra e información de la base de datos del Instituto Ecuatoriano Espacial año 2014 escala 1:25.000.

De acuerdo con el informe de planificación de levantamiento fotogramétrico, consultoría para la actualización del sistema catastral urbano del cantón San Miguel de Ibarra año 2017, se establece la metodología para el levantamiento fotogramétrico y LiDAR aéreo, para obtener productos entre ellos el Modelo Digital de Elevación (DEM) con un metro de resolución y el mosaico de ortofotografía RGBir de 10 centímetros de resolución a escala 1:1000, utilizados en esta investigación.

El informe indica que la metodología utilizada está dividida en fases: un plan de vuelo llevado a cabo con una altura entre los 1000 y los 1100 metros sobre el terreno, con un aereonave marca Eurocopter, donde se toma datos con vuelos combinados (fotogramétrico y LiDAR), para continuar con la fase de foto control que comprenden todas las mediciones y señalizaciones que se requieren para determinar la posición altimétrica y planimétrica de los puntos de apoyo y chequeo (20 puntos de apoyo).

Se ejecuta la aerotriangulación para obtener unos parámetros de orientación precisos de las imágenes capturadas durante la fase de vuelo que permitan alcanzar las precisiones requeridas en el resto de las fases del trabajo y que dependen de estos datos, se realiza el tratamiento de datos LiDAR para obtener principalmente un Modelo Digital del Terreno y superficie, luego la ortoproyección, para obtener el mosaico entre ortofotografías.

Entre los materiales y equipos utilizados para el levantamiento de la información, está el sensor aéreo transportado LiDAR, (tabla 2 y figura 4).

Tabla 2  
*Características sensor lidar*

<b>Sensor lidar</b>	
Sensor empleado	ALS70 HA (Leica)
Frecuencia de pulsación	250 kHz hasta 500kHz en modo MP
Precisión a priori	Hasta 7 cm en altimetría
Tecnología MPiA (Multiples Pulses in Air)	Si

Fuente: Informe de planificación de levantamiento fotogramétrico



*Figura 4. Sensor lidar*

Fuente: Informe de planificación de levantamiento fotogramétrico

Las características de la cámara fotogramétrica digital se detallan en la tabla 3 (figura 5).

Tabla 3  
*Características cámara fotogramétrica digital*

<b>Cámara fotogramétrica digital</b>	
Sensor empleado	RCD30 (Leica)
Resolución espectral	4 bandas (Rojo, Verde, Azul, Infrarrojo cercano)
Estabilización	Sistema de estabilización de las lentes
Píxel	60 mpxls (RGB+NIR)

Fuente: Informe de planificación de levantamiento fotogramétrico



*Figura 5. Cámara fotogramétrica digital y controlador del sistema*

Fuente: Informe de planificación de levantamiento fotogramétrico



Equipo aéreo marca eurocoptero Ecuriel (Ardilla) modelo AS350 82 (figura 6).



*Figura 6.* Equipo aéreo

Fuente: Informe de planificación de levantamiento fotogramétrico

Equipo GPS de soporte en Tierra, marca leica, modelo 1200, antena LEICA 1203 GG (GPS + GLONNAS), Rata de medición: 0.5 seg (figura 7).



*Figura 7.* Equipo GPS de soporte en tierra

Fuente: Informe de planificación de levantamiento fotogramétrico

El procesamiento de esta información permitió generar mapas base necesarios para el presente estudio con la utilización del software ArcMap 10.4 principalmente, entre ellos:

- ✓ Mapa de Ubicación.
- ✓ Mapa Base.
- ✓ Mapa de Altitud.
- ✓ Mapa de Pendientes.
- ✓ Mapa de Orientación.
- ✓ Mapa de Suelos.
- ✓ Mapa Textura del Suelo.
- ✓ Mapa Geológico.

### 3.6.3. Componente socio económico

Se aplicó una encuesta que permitió contar con una línea base actualizada de las condiciones socio económicas y la percepción del riesgo a los que está expuesto la población asentada dentro del área de estudio.

Se empleó el principio de confidencialidad en base al artículo 21 de la ley Estadística mencionando que los datos proporcionados por el informante son estrictamente confidenciales y serán utilizados únicamente con fines estadísticos, académicos y científicos. Los temas investigados se detallan en la tabla 4 (anexo 1. formato 1).

Tabla 4  
*Temas investigados con la aplicación de la encuesta*

<b>Temas</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Datos generales sobre el hogar (integrantes en base a grupos generacionales)</b>	1. Número de integrantes, discapacidad
<b>Datos de la vivienda</b>	2. Tenencia de la vivienda 3. Tipo de vivienda 4. Material de construcción de la vivienda 5. Estado de la vivienda 6. Servicios básicos 7. Calidad de los servicios básicos
<b>Datos económicos</b>	8. Principal actividad económica 9. Ingreso mensual
<b>Sistemas de producción</b>	10. Tenencia de tierras 11. Destino de tierras (uso) 12. Disponibilidad de agua de riesgo 13. Prácticas de conservación de suelo
<b>Organización comunitaria</b>	14. Tipos de organizaciones existentes 15. Participación de la mujer en la toma de decisiones 16. Legalización de organizaciones
<b>Percepción del riesgo</b>	17. Eventos adversos que pueden ocurrir 18. Eventos adversos que ocurrieron 19. Preparación familiar para la respuesta ante desastres 20. Criterio medidas preventivas a ser consideradas

#### 3.6.3.1. Técnica de muestreo

Para determinar la muestra se empleó la técnica de muestreo no probabilística de tipo Intencional u opinático.

### 3.6.3.2. Estrategias de recolección de datos

- a) Se utilizó un cuestionario previamente revisado, con ejecución de una prueba piloto, donde se observó el tiempo para ser contestadas, dudas, claridad de las preguntas.
- b) Las encuestas se las realizó visitando a cada domicilio y se solicitó la información a cada jefe por hogar.
- c) Se ejecutó mediante entrevista directa al encuestado, con informantes mayores de 16 años.

### 3.6.4. Evaluación de la vulnerabilidad

Con los datos obtenidos en la encuesta se realizó la respectiva ponderación y análisis para el cálculo de la vulnerabilidad de la población ante deslizamientos y erosión del suelo. Para cada indicador de vulnerabilidad se estableció rangos con su respectiva ponderación y calificativo (tabla 5).

Tabla 5  
*Ponderación y calificativos para evaluación de vulnerabilidad*

<b>Ponderación</b>	<b>Calificativo</b>
<b>3</b>	Alto
<b>2</b>	Medio
<b>1</b>	Bajo

Se organizó los indicadores considerados en la encuesta en base al tipo de vulnerabilidad para el caso de este estudio ante deslizamientos y erosión del suelo, la tabla 6 muestra los tipos de vulnerabilidad, sus indicadores y rangos que fueron utilizados para su evaluación.

Tabla 6  
 Tipo de vulnerabilidad, indicador y niveles de vulnerabilidad

VULNERABILIDAD	INDICADORES	NIVEL VULNERABILIDAD		
		ALTA	MEDIA	BAJA
SOCIAL	1. Numero de integrantes por hogar	> 9 integrantes	4 - 8 integrantes	< 3 integrantes
	2. Edades de la poblacion	< 11 y > 65 años	Entre 12 a 17 años	Entre 18 y 64 años
	3. Discapacidad en los integrantes del hogar	Si		No
EDUCATIVA	4. Nivel de instruccion	Basica	Bachiller	Superior
	5. Preparación familiar para la respuesta ante desastres	No	Alguna Vez	Si
FISICA	6. Tenencia de la vivienda	Familiares	Arrendada	Propia
	7. Tipo de vivienda	Cuarto(s) de inquilinato	Departamento	Casa
	8. Material de construcción de la vivienda	Mixta	Tapial	Hormigón
	9. Estado de la vivienda	Malo	Regular	Bueno
	10. Servicios básicos	Sin servicios	Algunos	Todos los servicios
	11. Calidad de los servicios básicos	Malo	Regular	Bueno
ECONOMICA	12. Principal actividad económica	Empleado privado	Comercio	Empleado publico
	13. Ingreso mensual	< a 400 Usd	entre 401 a 1200 Usd	> a 1200 usd
AMBIENTAL	14. Tenencia de tierras para cultivos	No tiene tierras para cultivo	Menos de 1 Hectárea	Mas de 1 Ha
	15. Destino de tierras (uso)	Sin actividad	Vivienda	Agricultura-Canaderia
	16. Disponibilidad de agua de riesgo	No		Si
	17. Prácticas de conservación de suelo	No		Si
ORGANIZACIONAL	18. Tipos de organizaciones existentes	Ninguna	Barrial	Asociaciones
	19. Participación de la mujer en la toma de decisiones	No		Si
	20. Legalización de organizaciones (reglamentos)	No	Tal vez	Si
CULTURAL	21. Percepción nivel de impacto por deslizamiento	Impacto alto	Impacto medio	Impacto bajo
	22. Percepción nivel de impacto por erosión	Impacto alto	Impacto medio	Impacto bajo

Para determinar la vulnerabilidad de cada indicador se realizó la suma de cada respuesta en base a la ponderación asignada y se divide para el número de respuestas, con ello se establece el nivel de vulnerabilidad por indicador. Para determinar la vulnerabilidad por tipo se suman los valores obtenidos por indicador y se divide para el numero de indicadores.

Para el cálculo de los porcentajes se considera el número máximo de la ponderación, es decir tres, el resultado de cada tipo de vulnerabilidad se divide entre el valor máximo posible (tres) y se multiplica por cien para obtener el nivel de vulnerabilidad en porcentaje por cada tipo de vulnerabilidad, para la vulnerabilidad global se suman los valores obtenidos por cada tipo de vulnerabilidad y se divide para el número de tipos de vulnerabilidad identificados.

### 3.7. Zonificar áreas susceptibles a erosión y fenómenos de remoción en masa mediante Sistemas de Información Geográfica

#### 3.7.1. Susceptibilidad a movimientos de ladera

El método usado en esta investigación ha sido el método de la “matriz” por sus siglas en inglés *Gis Matrix Method*, que corresponde a una técnica de análisis estadístico bivariante,

mediante el uso de SIG, y desarrollados con *ModelBuilder* modelos que están disponibles en la herramienta *ArcToolbox*.

La susceptibilidad a los movimientos de ladera se lleva a cabo en una serie de subetapas:

- ✓ Inventario de movimientos de ladera.
- ✓ Elaboración y análisis factores determinantes.
- ✓ Análisis de la susceptibilidad.
- ✓ Validación de los mapas de susceptibilidad obtenidos.

### ***3.7.1.1. Inventario de movimientos de ladera***

Es el primer paso en los proyectos de mapeo de los movimientos de ladera, quizás el conjunto más importante de datos en todo el proceso de evaluación y tiene una gran influencia en la calidad de los resultados finales (Jiménez, J 2012).

El inventario se realizó en las siguientes fases:

- a.** Inventario preliminar realizado en gabinete sobre la ortofoto georreferenciada a escala 1:1.000, año 2017, proporcionada por el GAD Municipal de San Miguel de Ibarra.
- b.** Cotejo del inventario con salidas de campo para observar otros movimientos de dimensiones reducidas que no son visibles en la ortofoto georreferenciada para fortalecer el inventario y la descripción de estos (Garzón O, 2014).
- c.** La digitalización de los movimientos de ladera identificados se realizó utilizando ArcMap 10.2, elaborando una “Geodatabase” con sus respectivos datos almacenados en una tabla de atributos.

### ***3.7.1.2. Elaboración y análisis factores determinantes***

En este estudio se emplean cuatro factores determinantes tres derivados del Modelo Digital de Elevación (DEM): pendiente, altitud y orientación y uno temático: suelos. De estos factores, pendiente y suelos han sido los más empleados por los autores que han abordado este tema

(Brabb et. al. 1972; Rodríguez Ortiz, 1978, Chacón, 1987, 1988; Irigaray, 1990; Fernández, 2001; El Hamdouni, 2001; etc.) citado por Jiménez, J 2012.

Los factores determinantes de la inestabilidad pueden variar según la zona de estudio. En cada área, aquellos factores que muestran el mayor grado de asociación con el inventario de deslizamientos deben ser seleccionados.

### ***3.7.1.3. Análisis de la susceptibilidad***

Una vez identificados los factores que determinan la inestabilidad, se procede a elaborar los mapas de susceptibilidad.

La modelización se realizó aplicando el método de la matriz (Irigaray, 1995), basado en la determinación de todas las combinaciones posibles entre las clases de los factores considerados, se basa en el cálculo de tres matrices, La matriz de movimientos de ladera (LM) se obtiene a partir del inventario de movimientos de ladera, calculando el área afectada por movimientos en cada combinación de factores. En la matriz de toda la zona de estudio (TSM), se calcula el área total de cada combinación de factores. Finalmente, en la matriz de susceptibilidad (SM) el valor de cada celda se obtiene dividiendo los correspondientes a la matriz de movimientos entre los de la matriz de toda la zona. Los valores de la matriz de susceptibilidad constituyen la proporción de movimientos de ladera respecto al área total y representan la susceptibilidad relativa de cada combinación de factores en cada punto del terreno (Jiménez, J 2012).

Los mapas de susceptibilidad se basan en niveles de clasificación, asignados a cada zona usando el método de las roturas naturales (Natural Breaks) (Irigaray et al. 2007; ArcGIS 2004). 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.

### ***3.7.1.4. Validación del mapa de susceptibilidad obtenido***

La validación del mapa se lo realizó con la verificación del resultado con salidas de campo identificando las zonas en base a su nivel de susceptibilidad contrastando luego con el mapa resultado de la aplicación de la metodología. Además, se utilizó el método de la matriz de

confusión, para realizar un análisis de la calidad del trabajo, esta metodología se detalla en el numeral 3.7.3. validación de resultados.

### **3.7.2. Susceptibilidad a erosión**

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

#### ***3.7.2.1. Método interferometría (análisis multitemporal)***

La metodología utilizada para zonificar la erosión se denomina interferometría procesamiento multitemporal, siendo un aporte valioso en el estudio de los cambios del uso del suelo en un determinado tiempo (Yandún C, 2018).

El primer paso es contar con los Modelos Digitales de Elevación (DEM) para este estudio se utilizó el DEM proporcionado por el GAD Municipal de San Miguel de Ibarra con una resolución de 1 metro del año 2017 y con el DEM descargado de SIGTIERRAS año 2010 con una resolución de 3 metros (Camargo C, 2014).

Se realiza una primera validación a través de una corrección geométrica entre los DEM, con puntos de control, se extrae información altitudinal (m.s.n.m) de los DEM, con el fin de evaluar su correlación y calidad, utilizando la herramienta Extract value to point, del software ArcGis, para comprobar su georreferenciación exacta entre los dos DEM del año 2010 y 2017 (Camargo C, 2014).

El ajuste geométrico entre imágenes resulta crucial en estudios multitemporales debido a que la comparación entre ellas se realiza píxel por píxel y es importante que se refiriera exactamente a la misma área de estudio. (Chuvieco, 1980).

Una segunda validación se realiza con la comparación de los estadísticos descriptivos como la altitud mínima; máxima; media y desviación estándar expresado en metros para las dos DEM (Camargo, 2014).

Con la seguridad de tener alineados de manera exacta los DEM del año 2010 y 2017, se realizó la sustracción de información del año 2010 al año 2017, aplicando la herramienta algebra de mapas del software ArcGis, 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 (Camargo C, 2014).

Las categorías de susceptibilidad utilizadas para la erosión se clasifican en seis clases: normal, ligera, moderada, severa, muy severa, catastrófica.

### **3.7.2.2. Método ecuación universal de la pérdida de suelo (USLE)**

Para el presente estudio se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo la cual fue desarrollada para predecir pérdidas de suelo promedio anual por hectárea, debidas a erosión laminar, en áreas agrícolas (Wischmeier & Smith, 1978).

USLE usa un método de análisis de factores para estimar la erosión del suelo, estos representan la erosividad de las precipitaciones (R), la erodabilidad del suelo (K), la topografía del paisaje descrito por la longitud (L) e inclinación del terreno (S), la cubierta vegetal (C) y finalmente las prácticas de manejo (P) (Renard et al., 1994) citado por Campaña F, 2015.

Para el cálculo de la pérdida de suelo se analizaron los siguientes factores:

#### **a. Factor R, Índice de erosión pluvial**

El índice de erosión pluvial o factor de erosionabilidad de la lluvia se define como el producto de la energía cinética de una lluvia por su máxima intensidad en un tiempo de 30 minutos.

La energía cinética se calcula por:  $E = 210.2 + 89 \log_{10} I$

Las gotas de lluvia al impacto con la superficie del suelo rompen los agregados y remueven las partículas de suelo, produciendo una ligera compactación. La capa compactada disminuye la capacidad de infiltración, originando el escurrimiento superficial. Wischmeier & Smith (1965) señalaron que el mejor estimador de la erosividad de la lluvia es el EI30.

Sin embargo, por la dificultad para calcular R mediante el uso del EI30, Fournier (1960), estableció un indicador para describir el efecto del proceso erosivo de las precipitaciones, posteriormente se realizó una corrección al IF; IFM índice de Fournier modificado (1978) así, la fórmula modificada queda de la siguiente manera:



$$IMF = \frac{\sum_{i=1}^{12} (P_i)^2}{P}$$

↓ Índice de Agresividad Climática  
 ↑ Precipitación del mes i (mm), en el año j  
 ↑ Precipitación media anual (mm)

## b. Factor K, erosionabilidad del suelo

El cálculo del factor K, se realizó utilizando la fórmula de Williams, considerando las funciones que están en base a la concentración de arena, limo, arcilla y carbono orgánico, cuya fórmula se describe:

$$K = 0.1317(f_{csand} \times f_{cl-si} \times f_{orgc} \times f_{hisand})$$

### Donde:

K: erosionabilidad del suelo

$f_{csand}$ : arena

$f_{cl-si}$ : arcilla y limo

$f_{orgc}$ : carbono orgánico

$f_{hisand}$ : limo

Fórmulas para encontrar las funciones para cada concentración:

$$f_{csand} = \left( 0.2 + 0.3 \exp \left[ -0.0253 m_s \left( 1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right)$$

$$f_{cl-si} = \left( \frac{m_{sil}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0.3}$$

$$f_{orgc} = \left[ 1 - \frac{0.25 orgc}{orgc + \exp(3.72 - 2.95 orgc)} \right]$$

$$f_{hisand} = \left[ 1 - \frac{0.25 \left( 1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left( 1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp \left[ -5.51 + 22.9 \left( 1 + \frac{m_s}{100} \right) \right]} \right]$$

Para el cálculo de estas fórmulas se utilizó, información proporcionada por la FAO, desde su página web <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=14116>, donde se encuentra el digital soil map of the world, extrayendo información de nuestra área de estudio para realizar la aplicación de las fórmulas citadas para el cálculo de las funciones de concentración arena, limo arcilla y materia orgánica y posteriormente del factor K.

### c. Factor L, erodabilidad

Para el cálculo de este factor se aplica la fórmula de Foster.

$$L = \left( \frac{\lambda}{22.13} \right)^m \quad m = \frac{F}{1 + F} \quad F = \frac{\text{sen}(\beta)/0.0896}{3(\text{Sen } \beta)^{0.8+0.56}}$$

**Donde:**

L: factor erodabilidad

$\lambda$ : longitud (metros)

m: exponente influenciado principalmente por la interacción entre la longitud y la pendiente.

Con la ayuda de ArcMap 10.4, se aplica la fórmula de Desmet, Gober y Velásquez, 2008, para calcular el factor L.

$$L_{(i,j)} = \frac{[A_{(i,j)} + D^2]^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m D^{m+2} (22.13)^m}$$

**Donde:**

$\beta$ : pendiente a nivel de Píxel (Ra) – GS\*0.1745

A: acumulación del Flujo a nivel de Píxel

D: lado del Píxel

x: coeficiente de Forma ( $x = 1$ )

Para calcular este factor mediante SIG, utilizando el DEM se calcula los parámetros solicitados en la fórmula, los que deben estar en formato raster, una vez obtenidos se aplica la fórmula utilizando Raster Calculator, para facilidad de cálculo se realiza el cálculo del numerador y luego de denominador, para luego calcular la fórmula en su totalidad.

### d. Factor S, pendiente factor topográfico

Se ha señalado que el efecto del gradiente de la pendiente es sobreestimado para USLE, en laderas pronunciadas (Hart, 1984), por lo que es recomendable aplicar la ecuación propuesta por McCool et al (1987) para pendientes mayores a 9% (Escobar, 1995).

Para el cálculo del factor S se utilizó la fórmula de McCools, la cual tiene condiciones que indican:

Cuando  $Tan(\beta_{(i,j)}) < 0.09$

$$S_{(i,j)} = 10.8 * Sen(\beta_{(i,j)}) + 0.03$$

y cuando

Cuando  $Tan(\beta_{(i,j)}) \geq 0.09$

$$S_{(i,j)} = 16.8 * Sen(\beta_{(i,j)}) - 0.5$$

Como ya se cuenta con algunos parámetros calculados como  $\beta$ , con la herramienta Raster Calculator se ingresa las condicionantes para el cálculo del factor S, obteniendo el raster del factor S.

#### **e. Factor C, cobertura vegetal**

Para el cálculo de C, se realizó la clasificación de la cobertura vegetal sobre la ortofoto del año 2017, donde se consideraron factores para cada cobertura vegetal, asignándoles un valor para cada tipo de cobertura.

#### **f. Factor P, prácticas de conservación de suelo**

Para el cálculo del factor P, correspondiente a prácticas de conservación de suelo se dio el valor de 1, considerando que en la actualidad la población dentro del área de estudio cambio sus actividades económicas de agrícolas a trabajos remunerados en instituciones públicas y privadas en su mayoría, por ello la actividad agrícola ha disminuido significativamente.

#### **g. Cálculo de la erosión hídrica**

Una vez calculados los factores R, K, L, S, C, P con la herramienta Raster Calculator se realiza la multiplicación de estos, con ello se obtiene la erosión hídrica efectiva, y se procede a reclasificar el raster.

El mapa de erosión se lo clasifica en 6 niveles, considerando la pérdida de suelo en Tn/Ha/Año, normal, ligera, moderada, severa, muy severa, catastrófica.

### 3.7.3. Validación de resultados

La validación 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 auditoria de los resultados obtenidos (Guzmán J, 2015).

Se realizó una primera validación con salidas de campo realizando una verificación de las diferentes clases obtenidas mediante la aplicación de las metodologías realizadas en ArcMap, con los datos recolectados en campo, a fin de comparar la información obtenida con los softwares y la recolectada en campo y determinar si el mapa tiene relación con la realidad.

Como una segunda validación, se utilizó la matriz de confusión, para realizar un análisis de la calidad del trabajo, que permite comparar entre una clase establecida por el usuario ubicada en forma de fila y otra real ubicada en forma de columna, para de esta forma poder buscar si existe o no concordancia entre la información de las capas.

Se identificó en campo áreas las cuales fueron delimitadas a través de un polígono en ArcMap, tomando en cuenta que los polígonos sean distribuidos en toda el área de estudio, para cada polígono se le asigno una descripción en la tabla de atributos en base a la observación realizada en campo, para el caso de deslizamientos con susceptibilidad alta media y baja para el caso de erosión normal, ligera, moderada, severa muy severa, catastrófica. Luego, se realizó el análisis de los datos mediante una “matriz de confusión”, misma que estableció la confiabilidad del mapa y los errores de omisión y comisión, y por último se aplicó el análisis empleando el “coeficiente Kappa”. Ministerio de ambiente Perú, 2014. Citado por (Guzmán J, 2015).

La elaboración de la matriz de confusión se realizó con la utilización de ArcMap 10.4 y ENVI 5.3 donde se ejecuta el cálculo de las siguientes variables:

- ⊗ **Exactitud del usuario.** Dato clasificado de manera correcta de una clase con relación al total de dicha clase en las filas.

$$\text{Exactitud del usuario} = \text{número de coincidencias} / \text{total.}$$

- ⊗ **Error de comisión.** Demuestra la probabilidad en que el usuario del mapa encuentre información errónea durante la evaluación.

$$\text{Error de comisión} = 1 - \text{Exactitud del usuario.}$$

☞ **Exactitud del productor.** Indica el porcentaje de una clase clasificada correctamente en las columnas.

$$\text{Exactitud del productor} = \text{número de coincidencias} / \text{total.}$$

☞ **Error de omisión.** Representa el porcentaje en que el productor del mapa clasificó incorrectamente los atributos del terreno.

$$\text{Error de omisión} = 1 - \text{Exactitud del productor.}$$

☞ **Coefficiente Kappa.**

Coefficiente estadístico propuesto por Jacob Cohen 1960, permite medir la similitud entre dos clases, verificando la concordancia de esta con una clasificación visual en campo o con imágenes de alta resolución, realizado por medio de la siguiente ecuación:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})}$$

**Donde:**

K: coeficiente Kappa.

r: número total de clases.

N: total de píxeles de la matriz.

X<sub>ii</sub>: elementos de la diagonal de la matriz de confusión.

X<sub>i+</sub>: suma de los píxeles de la clase i de referencia.

X<sub>+i</sub>: suma de los píxeles clasificados como la clase i.

El coeficiente Kappa se evalúa en un rango entre 0 a 1, significando 1 una concordancia exacta entre los métodos de clasificación y de acuerdo con el valor el índice puede ser categorizado. Para la interpretación del valor del coeficiente Kappa (K), se dispone de la siguiente escala (tabla 7).

Tabla 7  
*Valoración del coeficiente Kappa*

<b>Coefficiente de kapa (K)</b>	<b>Fuerza de concordancia</b>
0,00	Pobre
0,01 – 0,20	Leve
0,21 - 0,40	Aceptable
0,41 - 0,60	Moderada
0,61 – 0,80	Casi considerable
0,81 – 1,00	Casi perfecta

(Landis y Kotch, 1977)

A continuación, se detalla la metodología utilizada para validar el mapa de erosión con el método USLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo) utilizando ArcMap 10.4 y ENVI 5.3, para la elaboración de la matriz de confusión, metodología que se aplicó también al mapa de erosión (interferometría) y mapa de deslizamientos (Guzmán J, 2018).

Para realizar la validación de una capa temática (clasificación supervisada) mediante la matriz de confusión del software ENVI 5.3, se debe contar con las capas temáticas realizadas con ArcMap 10.4, en formato shapefile (mapa susceptibilidad a erosión) y la capa de validación que se obtuvo en campo a través de la observación y mediante la visualización de la orto fotografía escala 1:1000 año 2017, esta capa de validación tiene polígonos, mismos que cuentan con información de lo que realmente se encuentra en ese sitio información recolectada con salidas de campo (figura 8).

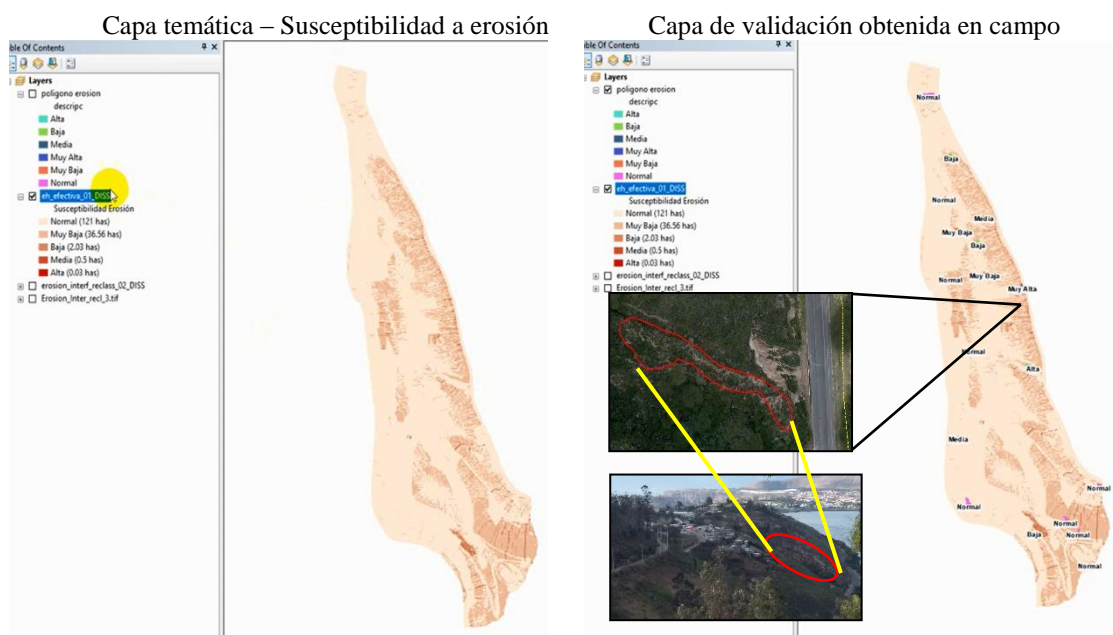


Figura 8. Capas temáticas para iniciar elaboración de matriz de confusión

Se procede a crear un campo en la capa temática de susceptibilidad, en su tabla de atributos, denominado ID, con tipo texto que tiene información numérica de las capas mismo sirvió para transformar la capa vectorial a raster, mediante la herramienta Field Calculator, se da la numeración a cada fila de la tabla de atributos mediante la operación FID+1, donde se numera el campo ID desde 1 en adelante, la herramienta Feature to raster, ubicada en To Raster > conversión Tool, Ubicando la capa temática en el primer campo de la herramienta (Input

Features), en el campo Field: escoger el campo ID y en output cell size: el tamaño del pixel que se desea tenga el raster a crear para este caso tres, se obtiene así el raster de la capa temática de susceptibilidad (figura 9).

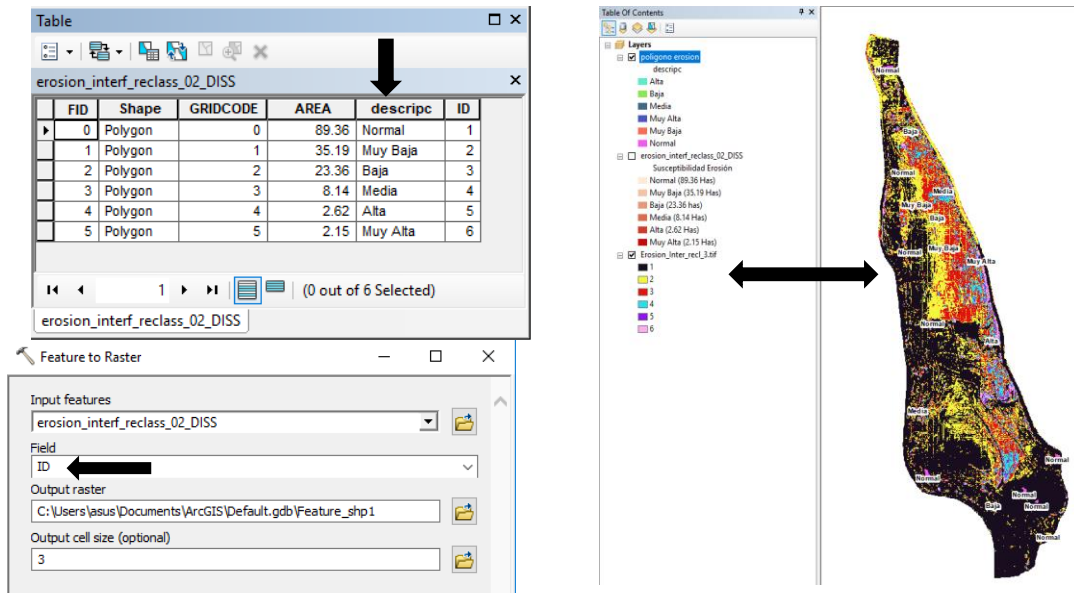


Figura 9. Capa temática de susceptibilidad en raster

Esta capa raster debe ser convertida a formato ENVI, para lo cual se debe tener cargada el toolbox de ENVI, se abre el Arc Toolbox en ArcGis>clic derecho al inicio de la ventana>Add Toolbox. Emerge una ventana donde se dirige a la carpeta que contiene el toolbox de ENVI con la siguiente ruta: Disco C:> Program Files> Exelis> ENVI53> gptools> arctoolbox> toolboxes> ENVI tools.tbx. El archivo ENVI tools.tbx se encuentra una vez instalado ENVI (figura 10).

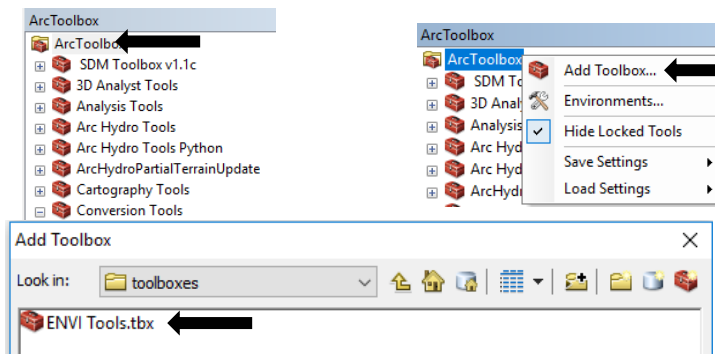


Figura 10. Ubicación archivo ENVI Tool.tbx

Una vez cargada la toolbox de ENVI, en ArcGis se abre y escoge ENVI Tools>Example ENVI Tools> Convert Raster Format, se ingresa en el primer campo el archivo raster en formato .tif, y en el segundo campo se escoge la carpeta con el nombre del archivo raster a generar, se guarda como tipo de archivo raster de ENVI, con formato .dat, que permite trabajar en el software ENVI (figura 11).

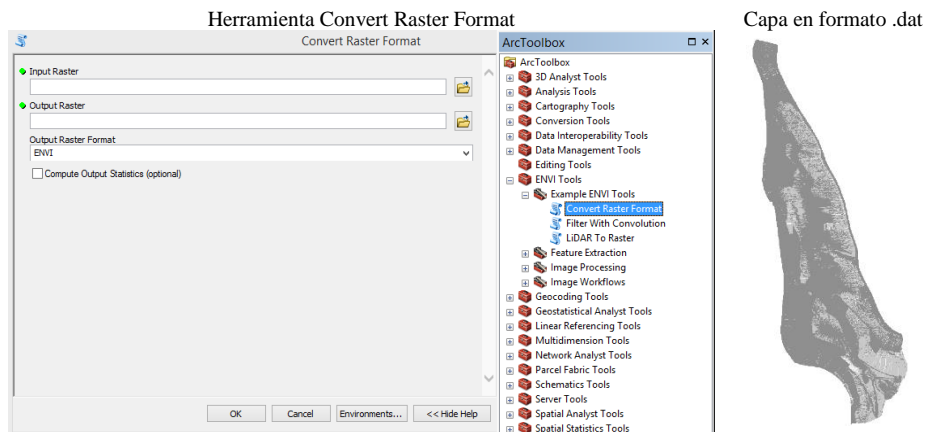


Figura 11. Conversión de capa raster a formato .dat

Se abre el software ENVI Classic, dentro de este se procede a cargar el archivo raster .dat, utilizando la barra de menú que emerge del ENVI, mediante File> Open Image File, ubicando la carpeta que contiene el archivo y seleccionando el mismo, este debe tener el formato .dat, Se abre una ventana donde se selecciona el archivo.dat y cargo la banda, clic en Load Band, con ello tengo el archivo de ENVI (figura 12).

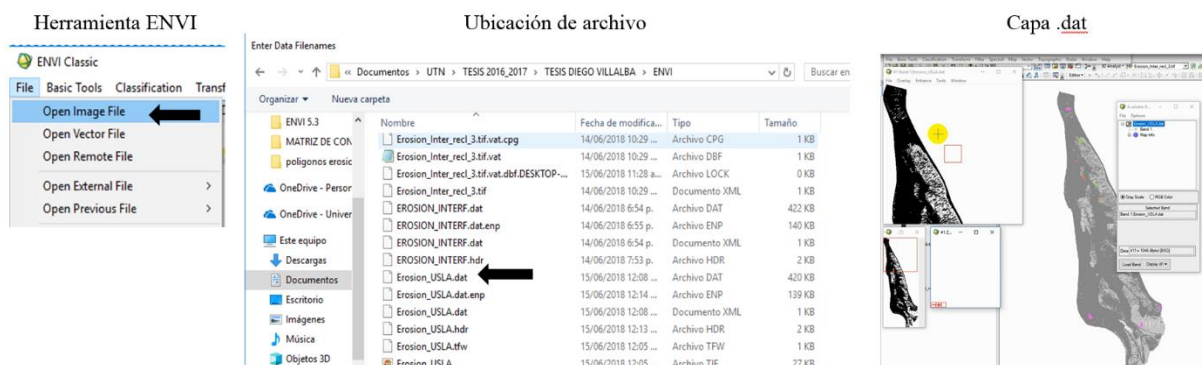


Figura 12. Capa .dat vista en ENVI Classic



Este archivo .dat debe cambiar su estructura mediante el uso de la herramienta Edit ENVI Header, ubicada en la barra del menú de ENVI Classic en File, Al abrir la herramienta se despliega la ventana donde se cambia el tipo de archivo en File Type, se despliegan algunas opciones, seleccionando ENVI Classification (figura 13).

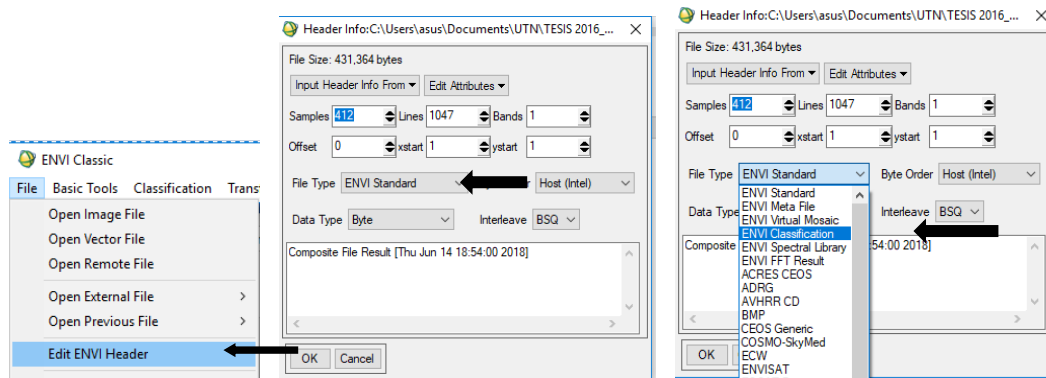


Figura 13. Herramienta Edit ENVI Header

Al cambiar el tipo de archivo se despliega una ventana donde solicita cuantas clases tiene nuestra imagen, es importante conocer que ENVI otorga una clase denominada Unclassified por defecto, entonces se ingresó el dato de nuestras clases + 1, por ejemplo, se tiene 5 clases, entonces se pone 6 clases y clic en OK (figura 14).

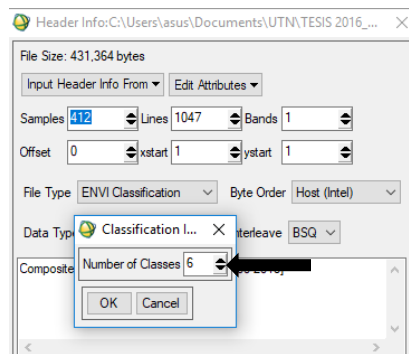


Figura 14. Determinación de clases en ENVI

Al dar OK, emerge una ventana donde se observan las clases con etiquetas por defecto, se modifica nombrándolas de acuerdo con nuestra necesidad, ejemplo Class #1 se cambia a Normal, Class #2 a Muy Baja así sucesivamente, luego clic en OK, y en la otra ventana también clic en OK (figura 15).

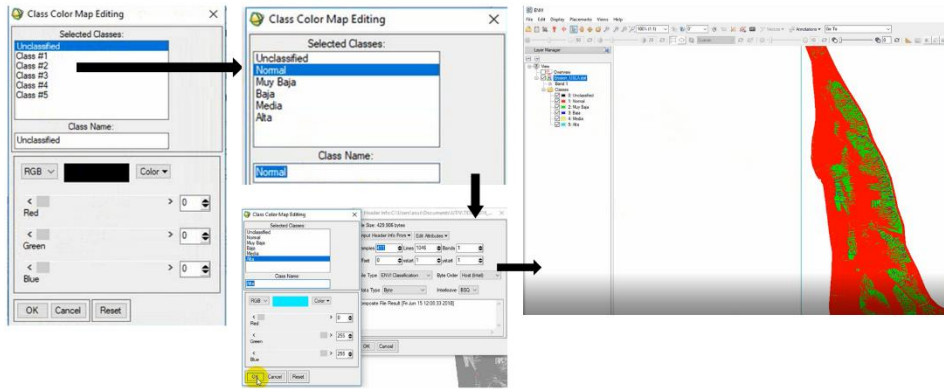


Figura 15. Capa de susceptibilidad clasificada .dat para la validación

La capa clasificada se cargó a ENVI normal, con formato .dat desde la carpeta que lo contiene File> open> seleccionar el archivo .dat, se carga los polígonos realizado con salidas de campo que están en formato .shp para transformarlos a regiones de interés en ENVI (figura 16).

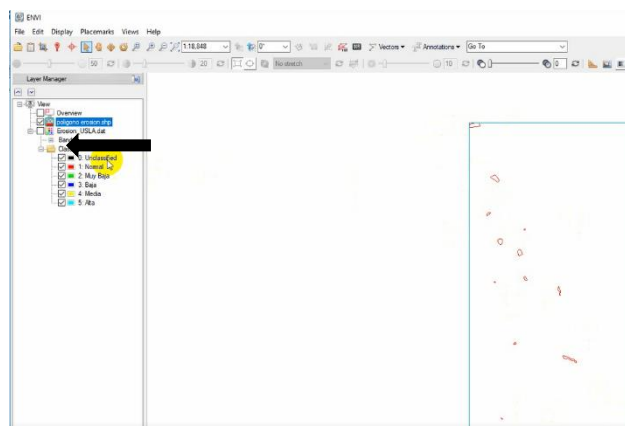


Figura 16. Capa para validación (polígonos)

Se usa la herramienta ROI (Region of interest), que se encuentra en el menú principal de ENVI, para transformar los polígonos a regiones de interés, en la herramienta se da clic en File> Import vector, se despliega otra ventana donde se escoge nuestra capa (polígonos) en formato shapefile> OK, en la siguiente ventana se selecciona la opción Unique records o fan attribute to separate ROIs, seleccionando el campo de interés, en este caso el campo es describe, que contiene el nombre de cada clase (normal, muy baja, baja, etc) clic OK (figura 17).

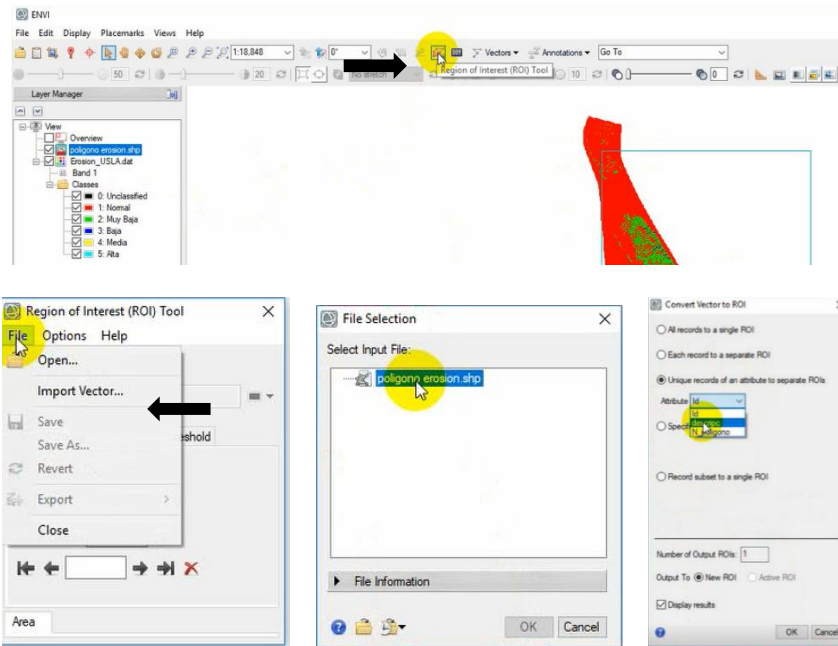


Figura 17. Herramienta Region of Interest (ROI) Tool

Se obtiene los diferentes ROIs, (regiones de interés) la herramienta coloca por defecto los nombres de cada uno, los mismos que se puede editar y nombrarlos de acuerdo con nuestro interés, esto es importante realizar, puesto que en la matriz de confusión saldrán como encabezado cada nombre (figura 18).

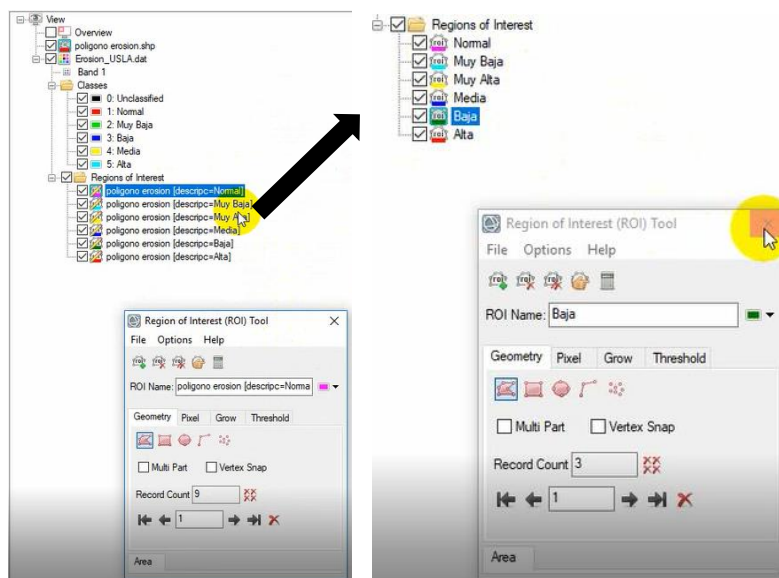


Figura 18. Obtención regiones de interés ROIs

Una vez editado los nombres de los ROIs, se busca la herramienta Matriz de confusión, ubicada en la caja de herramientas de ENVI > Classification > Post Classification > Confusion Matrix Using Ground Truth ROIs (figura 19).

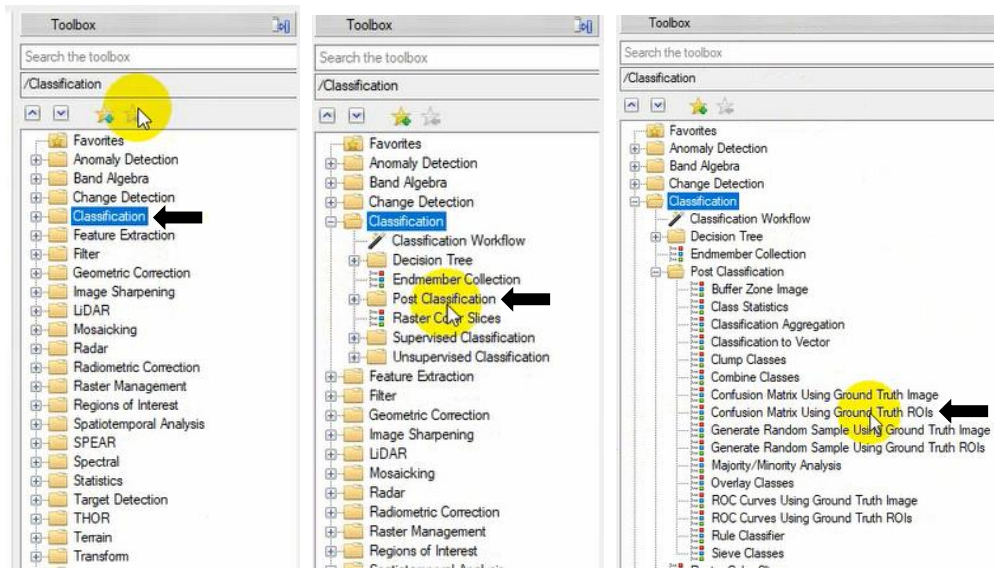


Figura 19. Herramienta Confusion Matrix Using Ground Truth ROIs

Se da clic en la herramienta y en la ventana emergente se selecciona la imagen clasificada (Erosion\_USLE.dat) y OK, aparece otra ventana donde por defecto carga las combinaciones para la comparación, mismas que se puede borrar dando clic izquierdo en cada una, para elegir de manera ordenada cada combinación, dando doble clic en cada ROI y en cada clase, debiendo coincidir entre las 2, y clic en Add Combination, hasta emparejar todas las clases, por último en ventana con nombre Confusion Matrix Parameters deajo por defecto las opciones que están activadas y OK (figura 20).

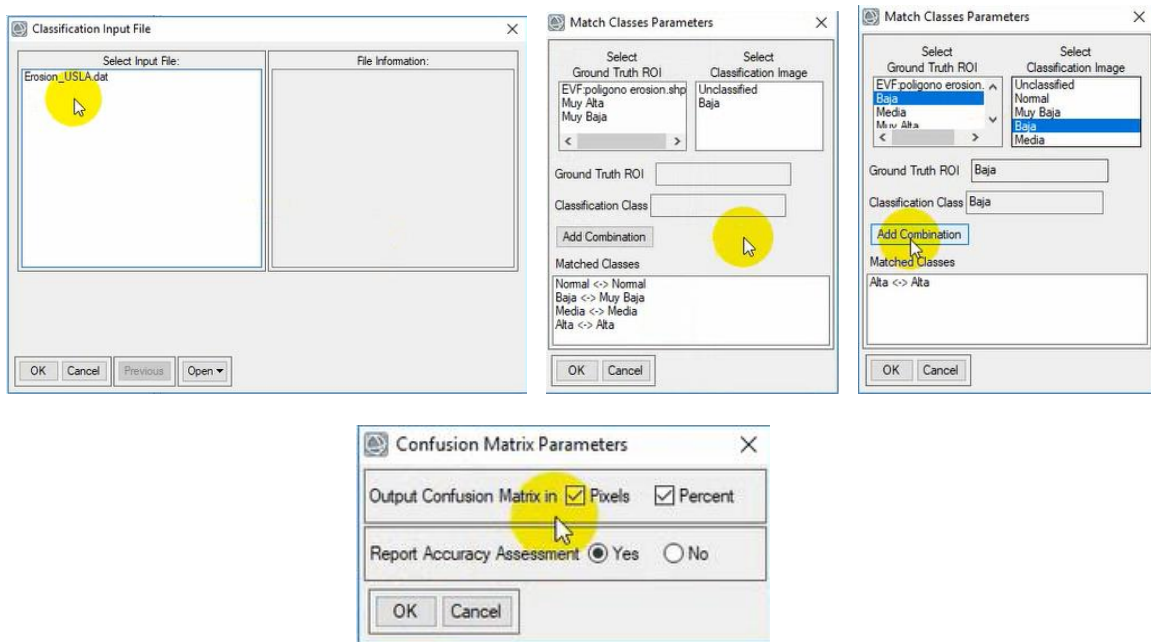


Figura 20. Ingreso de datos para matriz de confusión

De esta manera se obtiene la matriz de confusión que indica en una hoja de texto, estadísticas por pixeles y en porcentajes, desplegándose el reporte para su respectivo análisis lo que permitirá conocer la concordancia entre la información recolectada en campo con los resultados de los mapas tanto de erosión y deslizamiento (figura 21).

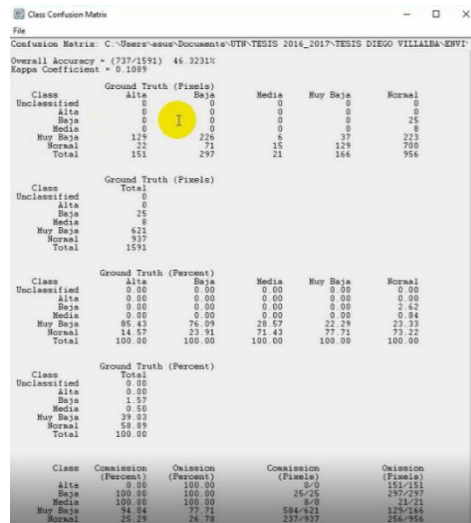


Figura 21. Matriz de confusión obtenida a través de ENVI

### 3.8. Diseñar medidas de prevención y mitigación ante riesgos de erosión y fenómenos de remoción en masa

Las medidas de prevención y mitigación se realizaron en base a los resultados obtenidos del diagnóstico biótico, abiótico y socio económico, considerando el análisis de los mapas de susceptibilidad a deslizamientos y erosión, de los recorridos de campo y criterio de la población.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados de la investigación, de acuerdo con los objetivos planteados y la metodología descrita en el capítulo anterior.

#### 4.1. Diagnóstico de los componentes biótico, abiótico, social, y económico

##### 4.1.1. Componente biótico

La descripción del componente biótico se realizó con salidas de campo utilizando la observación directa, entrevistas a la población y fuentes de información como el plan de manejo integral de la microcuenca de la laguna Yahuarcocha y la caracterización hidrológica abiótica y biótica de la cuenca del río Tahuando.

##### 4.1.1.1. Flora

El área de estudio se caracteriza especialmente por presencia de matorrales, en la tabla 8 se detalla las especies más importantes identificadas en las visitas de campo y en la revisión bibliográfica.

Tabla 8  
*Especies vegetales representativas*

Nombre común	Nombre científico	Familia
Amor Seco	<i>Biden spillosa</i>	ASTERACEAE
Cabuya	<i>Agave americana</i>	AGAVACEAE
Cactus	<i>Cleistocactus sepium</i>	CACTACEAE
Chamano	<i>Dodonea viscosa</i>	SAPINDACEAE
Chichicara	<i>Lepidium chichicara</i>	BRASSICACEAE
Chilca Blanca	<i>Baccharis polyantha</i>	ASTERACEAE
Chilca común	<i>Baccharis floribunda</i>	ASTERACEAE
Chinchín	<i>Senna multiglandulosa</i>	FAB-CAESALPINIOIDEAE
Chulco / Cañitas	<i>Oxalis spirales</i>	OXALIDACEAE
Escubillo	<i>Sida rhombifolia</i>	MALVACEAE
Eucalipto	<i>Eucaliptus globulus</i>	MYRTACEAE
Faique o Espino	<i>Acacia macracantha</i>	MIMOSACEAE
Falso achote	<i>Datura stramonium</i>	SOLANACEAE
Geranio Rojo	<i>Geranium sanguineum</i>	GERANIACEAE
Guagracallo	<i>Echeverria sp.</i>	CRASSULACEAE
Hierba Mora Común	<i>Solanum interandinum</i>	SOLANACEAE
Higuerilla	<i>Ricinus comunis</i>	EUPHORBIACEAE
Kikuyu	<i>Pennisetum clandestinu</i>	POACEAE
Lechero	<i>Euphorbia laurifolia</i>	EUPHORBIACEAE
Molle	<i>Schinus molle</i>	ANACARDIACEAE
Mosquera	<i>Croton wagnerii</i>	EUPHORBIACEAE

Pan y quesoillo	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	BRASSICACEAE
Retama	<i>Spartium junceum</i>	PAPILONACEAE
Trébol	<i>Trifolium repens</i>	FAB-FABOIDEAE
Tupirrosa	<i>Lantana cámara</i>	VERVENACEAE
Tupirrosa rosada	<i>Lantana ru ulosa</i>	VERVENACEAE
Uña de Gato	<i>Mimosa sp</i>	FAB-MIMOSOIDEA
Uvilla	<i>Physalis peruviana</i>	SOLANACEAE
Zarzamora	<i>Rubus sp.</i>	ROSACEAE
Linón	<i>Citris sp</i>	RUTACEA

Fuente: Plan de manejo integral de la microcuenca de la laguna Yahuarcocha.

#### 4.1.1.2. Cobertura vegetal

En la figura 22, se observa la cobertura vegetal que posee el área de estudio, el flanco derecho 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 vegetación arbustiva, esto evidencia que a menor cobertura vegetal mayor erosión como se lo evidencia en el mapa de susceptibilidad a erosión tanto por el método de interferometría (análisis multitemporal) y por el método USLE, donde el flanco derecho presenta mayor susceptibilidad a erosión mismo que posee una importancia ambiental principalmente por ser parte de un ecosistema lacustre.

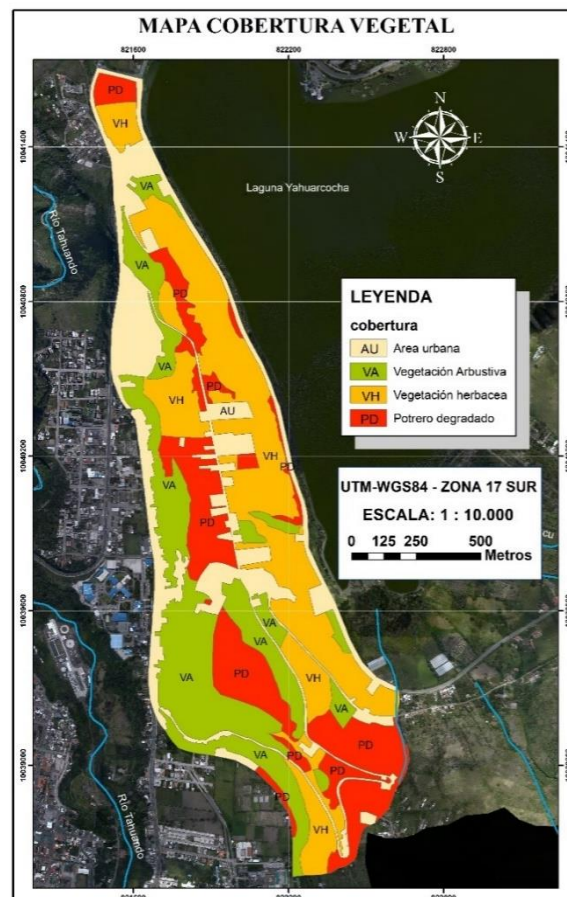


Figura 22. Distribución espacial de la cobertura vegetal

En la tabla 9, se describe la cobertura vegetal existente dentro del área de estudio en base al análisis de la ortofotografía a escala 1:1000 año 2017, delimitando las diferentes coberturas que se observan, se realizó salidas de campo para verificar las mismas, ocupando un 30,43% vegetación herbácea en su mayoría en el flanco derecho del área de estudio, y un 24,84% con vegetación arbustiva en mayor proporción en el flanco izquierdo (anexo 3. lámina 8; anexo 4. foto 8.1 y 8.2).

Tabla 9  
*Cobertura vegetal*

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

#### 4.1.1.3. Fauna

Dentro del componente faunístico, se identificaron especies a través de la observación, consultas a la población y revisión de información bibliográfica existente, en la tabla 10, se detallan las principales especies identificadas, que por las actividades antrópicas y la expansión del urbanismo han alterado su habitat, trayendo como consecuencia su disminución.

Tabla 10  
*Fauna representativa*

Nombre común	Nombre científico	Familia
<b>Mamíferos representativos</b>		
Ratón de campo	<i>Oryzomys sp.</i>	CRICELIDAE
Raposa	<i>Didelphis albiventris</i>	DIDELFIDAE
Chucuri	<i>Mustela frenata</i>	MUSTELIDAE
Zorrillo	<i>Comepatus chinga</i>	MUSTELIDAE
<b>Reptiles representativos</b>		
Lagartija	<i>Proctoporus sp.</i>	IGUANIDAE
Lagartija	<i>Pholidobolus sp</i>	IGUANIDAE
<b>Anfibios representativos</b>		
Sapo	<i>Gastrotheca sp.</i>	HYLIDAE
<b>Aves representativas</b>		
Golondrina azul y blanca	<i>Notiochelidon cyanoleuca</i>	APODIDAE
Vencejo / Vencejo Cuelliblanco	<i>Streptoprocne zonaris</i>	APODIDAE
Colibrí / Orejivioletaventriazul	<i>Colibrí coruscans</i>	TROCHILIDAE
Rayito brillante	<i>Aglaeactis cupripennis</i>	TROCHILIDAE
Gorrión / Chingolo	<i>Zonotrichia capensis</i>	EMBERIZIDAE
Huirakchuro / Picogrueso Amarillo sureño	<i>Pheucticus chrysogaster</i>	CARDINALIDAE
Jilguero / Jilguero Encapuchado	<i>Carduelis magellanica</i>	FRINGUILLIDAE
Pájaro brujo o rojo / Mosquero Bermellón	<i>Pyrocephalus rubinus</i>	TYRANNIDAE
Gralaria coronicastaña	<i>Grallaria ruficapilla</i>	FORMICARIIDAE



Pipiga / Búho Coronado Americano  
Tórtola Orejuda

*Buho virginianus*  
*Zenaida auriculata*

STRIGIDAE  
COLUMBIDAE

---

Fuente: Plan de manejo integral de la microcuenca de la laguna Yahuarcocha.

#### **4.1.2. Componente abiótico**

Para la descripción del componente abiótico, se utilizó información base como la ortofoto georeferenciada a escala 1:1.000, el Modelo Digital de Elevación (DEM) año 2017, (anexo 3. lámina 13) proporcionado por el GAD Municipal de San Miguel de Ibarra e información de la base de datos del Instituto Ecuatoriano Espacial año 2014 escala 1:25.000, obteniendo los siguientes mapas:

- ✓ Mapa de Altitud.
- ✓ Mapa de Pendientes.
- ✓ Mapa de Orientación.
- ✓ Mapa de Suelos.
- ✓ Mapa Textura del Suelo.
- ✓ Mapa Geológico.

##### **4.1.2.1. Altitud**

En la figura 23, se muestra el mapa de altitudes o elevaciones que consiste en una reclasificación del DEM, que es una superficie “raster” continua y se convierte en discreta mediante la reclasificación. La clasificación por intervalos del DEM se ha realizado de 50 en 50 metros que se considera representativa para la escala de trabajo, a excepción del intervalo que abarca desde la altura superior de la zona de estudio de 2216 a 2423 m.s.n.m, este insumo es utilizado para determinar la susceptibilidad a deslizamientos en este estudio (anexo 3. lámina 3).

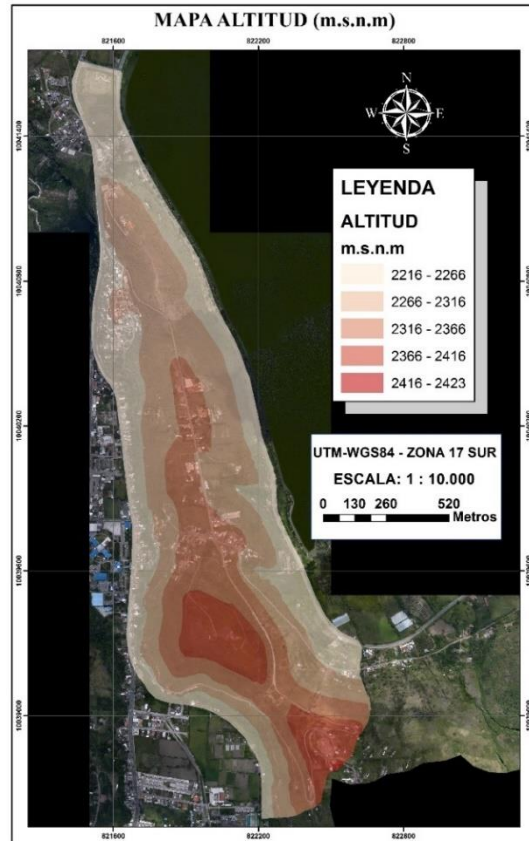


Figura 23. Distribución espacial de altitud (m.s.n.m)

En la tabla 11, se muestra la distribución de la altitud en superficie representada en hectáreas y su respectivo porcentaje que abarca cada intervalo considerado, siendo el intervalo más representativo el de 2266 a 2316 m.s.n.m con un 35,82 % de la superficie del área de estudio, seguido del intervalo 2216 a 2266 m.s.n.m con un 33,58 %, la altura media es de 2319 m.s.n.m.

Tabla 11  
Distribución del territorio en relación con altitudes (m.s.n.m)

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

#### 4.1.2.2. Pendiente

La pendiente tiene influencia directa sobre la erosión y los movimientos de ladera, ayuda a definir la capacidad de uso de la tierra en un territorio, es uno de los factores comúnmente utilizados como determinantes en aplicaciones SIG, considerados relativos pendiente-estabilidad (Fernández et al. 2008), citado por Jiménez, J 2012.

Las clases obtenidas son: 0-5° pendiente suave, 5-15° pendiente moderada, 15-25° pendiente fuerte, 25-35° pendiente muy fuerte, 35-90° pendiente vertical o subvertical, con estas clases se elaboró el mapa de pendientes en la zona mismas que se muestran en la figura 24 (anexo 3. lámina 4).

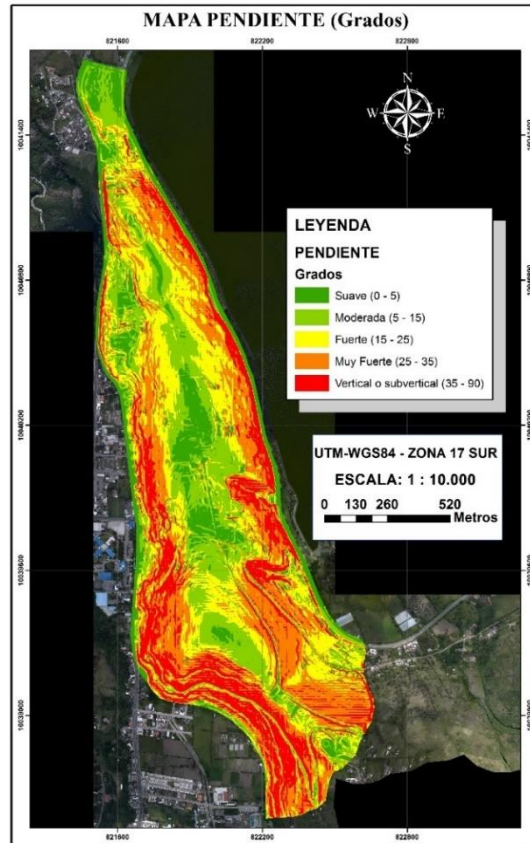


Figura 24. Distribución espacial de la pendiente (grados)

La tabla 12, muestra su distribución expresada en porcentaje y superficie por cada intervalo de pendiente, donde se muestra que el 25,15 % del terreno presenta pendiente muy fuerte de 25 a 35 grados, seguido de un 22,12% con pendiente fuerte de 15 a 25 grados.

Tabla 12  
Distribución del territorio en relación con pendientes

Pendiente	Angulo (Grados)	Área (Ha)	Porcentaje (%)
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

### 4.1.2.3. Orientación

La orientación u exposición es el ángulo que forma la línea de máxima pendiente de un elemento de la superficie del terreno con respecto al norte geográfico, medido en sentido de las agujas del reloj (Jiménez, J 2005).

Tiene una influencia indirecta sobre deslizamientos. Se relaciona con otras variables, como la humedad del suelo, que son comúnmente más intensa en pendientes orientadas al norte, debido a la insolación inferior (Jiménez, J 2012).

En la figura 25, se muestra el mapa de orientación donde se observa la exposición del territorio para su comprensión y análisis se ha clasificado en 5 clases expresadas en grados (anexo 3. lámina 5).

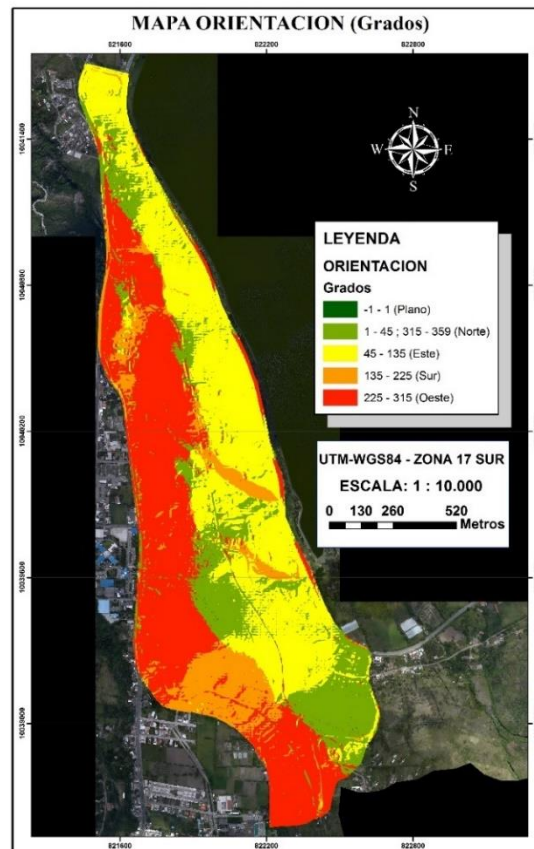


Figura 25. Distribución espacial de la orientación (grados)

La tabla 13, muestra la distribución de la orientación expresada en porcentaje, la superficie que abarca cada intervalo de orientación considerado un 35,68% con orientación oeste, seguido de un 34,77% del territorio del área de estudio posee una orientación este.

Tabla 13

*Distribución del territorio en relación con la orientación*

Aspecto	Angulo (Grados)	Área (Ha)	Porcentaje (%)
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

#### 4.1.2.4. Suelos

Se utilizó la base de datos del Instituto Espacial Ecuatoriano del año 2014 a escala 1:25.000 para obtener el mapa de suelos del área de estudio (figura 26; anexo 3. lámina 6).

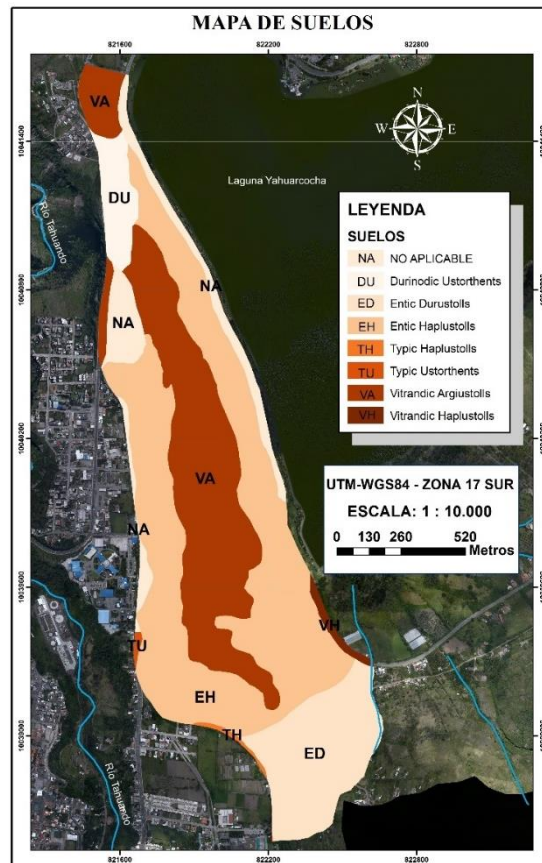


Figura 26. Distribución espacial de los suelos  
Fuente: Instituto Ecuatoriano Espacial, (2014)

En la tabla 14, se muestra el porcentaje y superficie de cada unidad de suelos dentro del área de estudio, donde se muestran 7 clase de suelo abarcando un 44,43% y 28,68% suelos Entic Haplustolls y Vitrandic Argiustolls respectivamente.

Tabla 14  
*Distribución del territorio en relación con los suelos*

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

Para la descripción de los suelos se utilizó el documento denominado Claves para la Taxonomía de Suelos, Décima Segunda Edición, 2014, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Conservación de Recursos Naturales.

**Durinodic Ustorthents:** Tienen un horizonte dentro de los 100 cm de la superficie del suelo mineral de 15 cm o más de espesor y tiene 20 por ciento o más (por volumen) de durinoides o es quebradizo y una clase de resistencia a la ruptura firme cuando húmedo.

**Entic Durustolls:** Durustolls que no tienen un horizonte argílico encima del duripán.

**Entic Haplustolls:** No tienen un horizonte cámbico y no cumplen, en cualquier parte del epipedón mólico abajo de los 25 cm de la superficie del suelo mineral, con todos los requisitos para un horizonte cámbico excepto en el requerimiento de color; o Tienen carbonatos libres a través del horizonte cámbico o en todas partes del epipedón mólico abajo de una profundidad de 25 cm a partir de la superficie del suelo mineral.

**Typic Haplustolls:** Haplustolls que tiene un horizonte cálcico.

**Typic Ustorthents:** Suelos franco-arenosos en la superficie, drenaje bueno, profundidad superficial, pH ligeramente alcalino (8,1), fertilidad media y pedregosidad frecuente.

**Vitrandic Argiustolls:** Otros Argiustolls que tienen, a través de uno o más horizontes con un espesor total de 18 cm o más dentro de los 75 cm de la superficie del suelo mineral, una o ambas de las siguientes características:

1. Más de 35 por ciento (por volumen) de partículas de 2,0 mm de diámetro o más grandes, de las cuales más del 66 por ciento son tefras, piedra pómez o fragmentos semejantes a pómez; o
2. Una fracción de tierra-fina que contiene 30 por ciento o más de partículas con 0,02 a 2,0 mm de diámetro.

**Vitrándic Haplustolls:** Otros Haplustolls que tienen, a través de uno o más horizontes con un espesor total de 18 cm o más dentro de los 75 cm de la superficie del suelo, una o ambas de las siguientes características:

1. Más de 35 por ciento (por volumen) de partículas de 2,0 mm o más grandes, de las cuales más del 66 por ciento son tefras, piedra pómez o fragmentos semejantes a pómez; o
2. Una fracción de tierra-fina conteniendo 30 por ciento o más de partículas de 0,02 a 2,0 mm de diámetro.

#### ***4.1.2.5. Textura del Suelo***

La importancia de la textura o clase textural del suelo permite deducir las propiedades generales del suelo y así ajustar las prácticas de manejo, labranza, riego y fertilización, para mejorar sus características, establecer medidas de prevención y mitigación ante la erosión del suelo.

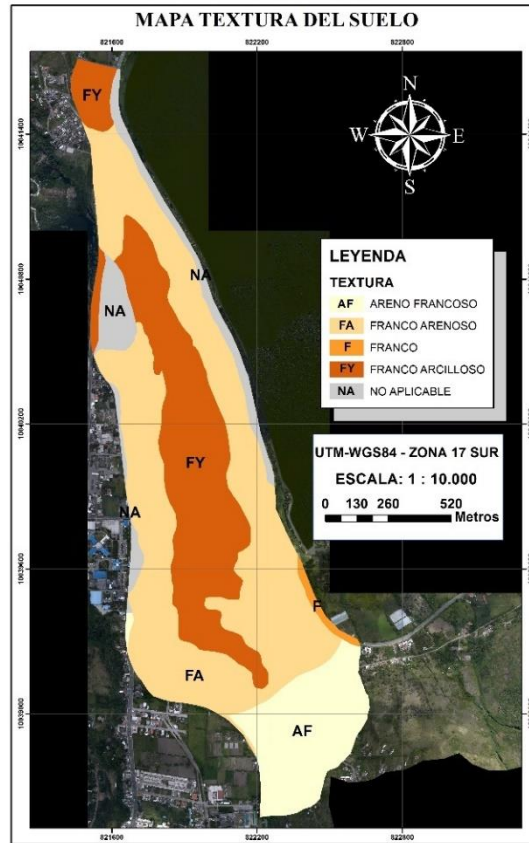


Figura 27. Distribución espacial de la textura del suelo  
Fuente: Instituto Ecuatoriano Espacial, (2014)

En la tabla 15, se detalla la textura del suelo con la superficie que abarca y su respectivo porcentaje, notándose que el suelo con textura franco arenoso ocupa un 48,79% encontrándose en el flanco izquierdo y derecho del área de estudio, seguido de un suelo con textura franco arcilloso con un 28,69%, su distribución espacial se observa en la figura 27 (anexo 3. lámina 7).

Tabla 15  
*Distribución del territorio en relación con la textura del suelo*

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

#### **4.1.2.6. Geología**

La geología nos permite entender los procesos por los cuales las distintas formaciones han ido evolucionando a lo largo del tiempo, los cambios o alteraciones que pueden sufrir y que ha



sufrido, su origen permitiendo plantar medidas de prevención y mitigación ante la presencia de eventos adversos (figura 28 y anexo 3. lámina 9).

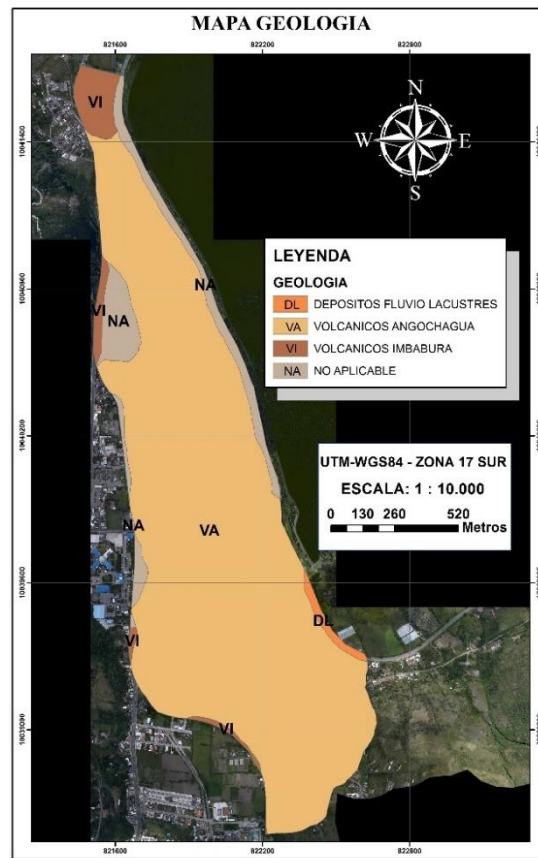


Figura 28. Distribución espacial de la geología  
Fuente: Instituto Ecuatoriano Espacial, (2014)

La geología del área de estudio se describe por presencia de volcánicos Angochagua que ocupan un 87,85% del total del área de estudio, seguido de volcánicos Imbabura con 3,92% (tabla 16).

Tabla 16  
Distribución del territorio en relación con la geología

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

**Volcánicos Angochagua:** afloran lavas, tobas, areniscas, brechas y conglomerados volcánicos, que pertenecen al complejo volcánico erosionado de Angochagua. las lavas son andesitas piroxénicas, color gris oscuro, algunos flujos tienen textura porfirítica. las tobas y las areniscas volcánicas son de color crema y crema amarillento, las brechas son compactas, con cantos de

lavas grises. Los conglomerados son escasos, poseen cantos de lava color verde, La potencia total de estos volcánicos es de alrededor de 800 m y son de edad pliocénica, de acuerdo con el mapa geológico del Ecuador 2017, esta unidad pertenece a la agrupación de unidades geológicas en la cordillera occidental y cordillera real.

**Volcánicos Imbabura:** constituidos por lavas, aglomerados y lahares, las lavas son andesitas mesocráticas compactas de grano fino a medio con fenocristales de plagioclasas y ortopiroxenos en una matriz vidriosa. Los aglomerados contienen fragmentos de rocas redondas a angulares, los depósitos laharíticos se han desplazado a lo largo de las pendientes hasta la llanura, el espesor total de los volcánicos de Imbabura sobrepasa los 700 m, brechas volcánicas laharíticas, procedentes del volcán Imbabura han seguido el cauce de los ríos Tahuando y Chorlavi.

**Depósitos fluvio lacustres:** este tipo de relieve se ubica en la cuenca interandina sobre volcanismo de la sierra norte; y los relieves de los fondos de las cuencas con relleno volcánico - sedimentario, constituyen relieves de escaso desnivel vertical (< 5 m) con cimas planas y vertientes convexas, evolucionan sobre sedimentos lacustres, con pendientes muy suaves de 2 a 5 % (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015).

#### **4.1.3. Componente social y económico**

Para el levantamiento de la información socio económica se aplicó una encuesta a la población, utilizando la técnica de muestreo no probabilístico de tipo intencional u opinático, de la información catastral municipal 2017, el área de estudio cuenta con un total de 372 predios con viviendas construidas, donde se realizaron 69 encuestas que constituyen el 18.54% de los hogares, información que permitió contar con una línea base actualizada de las condiciones socio económicas y la percepción del riesgo al que está expuesta la población dentro del área de estudio.

Esta información analizada y procesada permitió conocer y evaluar la vulnerabilidad de la población encuestada ante deslizamientos y erosión del suelo, insumo que permite plantear medidas de mitigación y prevención.

La encuesta se realizó el 18, 19 y 22 de septiembre del 2017, con el apoyo de estudiantes de la Universidad Técnica del Norte, donde se realizaron 69 encuestas distribuidas en el área de estudio como se muestra en la figura 29 (anexo 3. lámina 10; anexo 4. foto 1.1, 1.2 y 1.3).

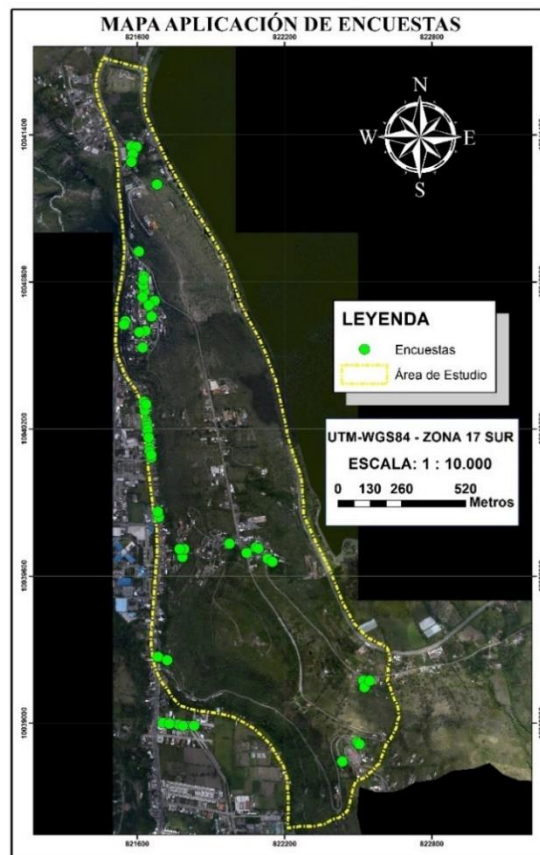


Figura 29. Ubicación de hogares encuestados

Las siguientes tablas, figuras y análisis corresponden a la tabulación de las encuestas realizadas y respondidas por los habitantes dentro del área de estudio.

#### **4.1.3.1. Datos generales**

El 52% de los encuestados son jefe de hogar quienes proporcionaron los datos, mientras que el 48% de los informantes son familiares cercanos en su mayoría cónyuges.

En relación al nivel de instrucción del total de encuestados el 29% poseen instrucción básica, es decir poseen una vulnerabilidad alta a ser impactados por un evento adverso,

población distribuida en su mayoría en la parte alta y flanco izquierdo del área de estudio, el 46% posee bachillerato, mientras que el 25 % de población con instrucción de tercero y cuarto nivel se encuentra en su mayoría en la parte baja del flanco izquierdo del área de estudio que corresponde a la Av. 17 de Julio, se debe tomar en cuenta que el sistema educativo se convierte en la actualidad en el canal para el desarrollo de las sociedades y la reducción de la vulnerabilidad (tabla 17).

Tabla 17  
Nivel de instrucción de la población encuestada

Nivel de instrucción	Numero encuestados	Porcentaje	Ponderación	Calificativo Vulnerabilidad
Básica	20	29%	3	Alto
Bachiller	32	46%	2	Medio
Superior	17	25%	1	Bajo
SUMA	69	100%		

#### 4.1.3.2. Datos generales sobre los integrantes del hogar

##### ☞ **Integrantes del hogar distribuidos por grupo generacional**

Respeto a los integrantes del hogar la mayor parte de la población encuestada está compuesta por un 36% de adultos (30 a 64 años) seguido de un 23% de jóvenes (18 a 29 años), existe tres hogares con personas con discapacidad entre niños, adultos y adulto mayor, mismos que merece atención especial al existir presencia de un evento adverso en el sector, así como también la población infantil que corresponde a un 19% y adulto mayor con 7% del total de la población (tabla 18).

Tabla 18  
Integrantes del hogar distribuidos por grupo generacional

Integrantes del hogar	Niños (0 a 11 años)	Adolescentes (12 a 17 años)	Jóvenes (18 a 29 años)	Adultos (30 a 64 años)	Adulto mayor (65 años y más)	SUMA
GRUPO GENERACIONAL	58	44	70	108	20	303
DISCAPACIDAD FÍSICA	1			1	1	3
GRUPO GENERACIONAL	19%	15%	23%	36%	7%	99,0%
DISCAPACIDAD FÍSICA	0,3%	0%	0%	0,3%	0,3%	1,0%

Para el cálculo de la vulnerabilidad se elaboraron las siguientes tablas en base a la información proporcionada, mismas que permiten conocer las características que posee la

población, en especial el porcentaje de población con vulnerabilidad alta que debe tener prioridad en caso de presentarse un impacto por evento adverso.

En la tabla 19, se determina que el 4% de los hogares encuestados poseen más de 9 integrantes y un 65% entre 4 a 8 integrantes con vulnerabilidad alta y media respectivamente.

Tabla 19  
*Integrantes por hogar distribuido por número de integrantes*

<b>Integrantes por hogar</b>	<b>Número de hogares</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Calificativo Vulnerabilidad</b>
> 9 integrantes	3	4%	3	Alto
4 - 8 integrantes	45	65%	2	Medio
< 3 integrantes	21	30%	1	Bajo
SUMA	69	100%		

En la tabla 20, se muestra que el 26% de la población encuestada posee vulnerabilidad alta por su edad la cual merecen atención prioritaria en caso de presentarse un evento adverso en el territorio.

Tabla 20  
*Edades de la población*

<b>Edades de la población</b>	<b>Número de hogares</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Calificativo Vulnerabilidad</b>
< 11 y > 65 años	18	26%	3	Alto
Entre 12 a 17 años	10	14%	2	Medio
Entre 18 y 64 años	41	59%	1	Bajo
SUMA	69	100%		

De los hogares encuestados tres poseen personas con discapacidad, que corresponde al 4% del total de los hogares encuestados, es importante considerar procesos de prevención y preparación a través de metodologías apropiadas en base a sus condiciones y grado de discapacidad, para que la respuesta sea efectiva al momento de presentarse el impacto de un evento adverso (tabla 21).

Tabla 21  
*Discapacidades integrantes del hogar*

<b>Discapacidades Integrantes del hogar</b>	<b>Número de hogares</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Calificativo Vulnerabilidad</b>
Si	3	4%	3	Alto
No	66	96%	1	Bajo
SUMA	69	100%		

#### 4.1.3.3. Datos de la vivienda

##### ⌘ Tenencia de la vivienda

Con relación a la tenencia de la vivienda el 64% responde que es propia, el 22% la vivienda es arrendada, mientras que el 14% son hogares que habitan en viviendas pertenecientes a familiares y viviendas prestadas, cabe mencionar que la tenencia de una vivienda propia constituye un activo importante y un patrimonio físico que garantiza la seguridad financiera y permite desarrollar actividades para fortalecer su capital familiar, lo cual reduce su vulnerabilidad (tabla. 22).

Tabla 22  
*Tenencia de la vivienda*

Tenencia de la vivienda	Numero encuestados	Porcentaje	Ponderación	Calificativo Vulnerabilidad
Familiares	10	14%	3	Alto
Arrendada	15	22%	2	Medio
Propia	44	64%	1	Bajo
SUMA	69	100%		

##### ⌘ Tipo de vivienda

En lo que respecta al tipo de vivienda dentro del área de estudio se identifica un 77% son casas y el 13% departamentos y el 10% entre, cuartos de inquilinato y mediaguas (tabla 23).

Tabla 23  
*Tipo de vivienda*

Tipo de vivienda	Numero encuestados	Porcentaje	Ponderación	Calificativo Vulnerabilidad
Cuarto(s) de inquilinato	7	10%	3	Alto
Departamento	9	13%	2	Medio
Casa	53	77%	1	Bajo
SUMA	69	100%		

Realizando un análisis entre la tabla 22 y tabla 23, durante la ejecución de la encuesta se puede determinar que el 14% de los hogares que habitan en viviendas de familiares y prestadas en su mayoría ocupan cuartos de inquilinato y mediaguas. debido a sus bajos ingresos económicas aumentando su vulnerabilidad ante el impacto de un evento adverso.

## ⌘ Material de construcción de la vivienda

Del total de encuestados el 43% manifiesta que su vivienda es de hormigón armado, mientras que el 50% es mixta es decir entre ladrillo y tapial y un 7% es tapial lo que indica su vulnerabilidad al impacto de un evento adverso (tabla 24).

Se puede establecer que existe vulnerabilidad física, ante deslizamientos, considerando que existe un 57% entre viviendas con estructura mixtas y tapial, la vulnerabilidad aumenta en las viviendas ubicadas en las áreas de pendiente de los flancos derecho e izquierdo del área de estudio.

Tabla 24  
*Material de construcción de la vivienda*

<b>Material de construcción</b>	<b>Numero encuestados</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Calificativo Vulnerabilidad</b>
Mixta	34	50%	3	Alto
Tapial	5	7%	2	Medio
Hormigón	30	43%	1	Bajo
SUMA	69	100%		

## ⌘ Estado de la vivienda

De las viviendas mencionadas en la tabla 25, el 84% se encuentra en buen estado y el 16% se encuentran en estado regular y malo. Analizando la tabla 24 y 25, se puede indicar que las viviendas de hormigón armado en su mayoría se encuentran en buen estado, mientras que las viviendas de ladrillo, construcción mixta y de tapial la mayor parte se encuentran en estado regular y malo.

Tabla 25  
*Estado de la vivienda*

<b>Estado de la vivienda</b>	<b>Numero encuestados</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Calificativo Vulnerabilidad</b>
Malo	2	3%	3	Alto
Regular	9	13%	2	Medio
Bueno	58	84%	1	Bajo
SUMA	69	100%		

## ⌘ Servicios básicos

En el caso de los servicios básicos agua de consumo humano, energía eléctrica, recolección de basura la cobertura está en un 99% (tabla 26), el agua de consumo humano está cubierta por

agua potable aproximadamente un 95% y por agua entubada un 4% con una valoración en su calidad del servicio por parte de los encuestados del 79% entre malo y regular esto debido a que el servicio en la parte alta del área de estudio presenta cortes constantes (figura. 30).

Para el caso de recolección de basura el sector Av. 17 de Julio, posee el servicio todos los días, mientras que los barrios la Quinta del Olivo, Olivo Alto, San Miguel Arcángel, La Portada la recolección de basura se realiza tres días por semana, con una valoración del 88% como un buen servicio.

El servicio que menor cobertura presenta es internet con 64% (tabla 26), presentando inconvenientes de calidad en algunos hogares, evidenciando que la población tiene menor acceso al conocimiento, información, redes sociales entre otros, lo cual incide directamente en los procesos de prevención, preparación, respuesta y rehabilitación ante los eventos adversos que puedan presentarse, debido a que no se cuenta con suficiente información generando incertidumbre en la población.

Tabla 26  
*Porcentaje de cobertura de los servicios básicos dentro del área de estudio*

<b>Servicios básicos</b>	<b>Porcentaje cobertura del servicio básico</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Calificativo de vulnerabilidad</b>
Agua consumo humano	99%	1	Bajo
Energía eléctrica	99%	1	Bajo
Alcantarillado	97%	1	Bajo
Recolección de basura	99%	1	Bajo
Internet	64%	1	Bajo
Telefonía fija	70%	1	Bajo
Alumbrado publico	93%	1	Bajo

En la tabla 27, se muestra los rangos de ponderación y calificativo para estimar la vulnerabilidad de la población en relación con la cobertura de los servicios básicos.

Tabla 27  
*Calificativos de vulnerabilidad para la cobertura de los servicios básicos*

<b>Rango (cobertura)</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Calificativo vulnerabilidad</b>
1% - 30%	3	Alto
31% - 60%	2	Medio
61% - 100%	1	Bajo

Se puede identificar vulnerabilidad en los servicios básicos, debido a que la cobertura de éstos en su mayoría no cubre en su totalidad a la población, mismos que aún presentan



inconvenientes en la calidad del servicio, especialmente el agua de consumo humano donde un 79% de la población encuestada lo califica entre malo y regular (figura 30).

Es importante considerar que su cobertura constituye el soporte físico del desarrollo territorial, son herramientas de gestión para el proceso urbanístico y se constituyen en instrumentos del desarrollo humano, su ausencia tiene un impacto transversal negativo en la dinámica de la sociedad.

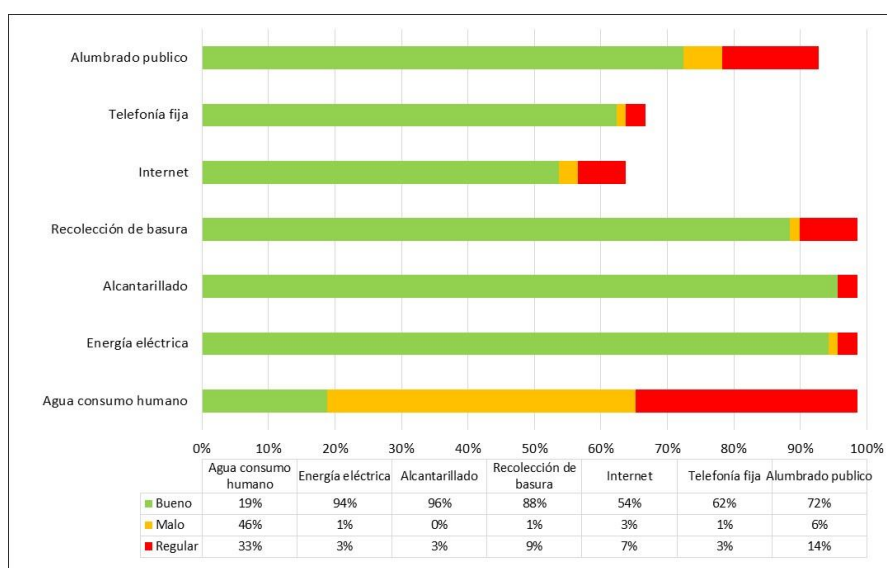


Figura 30. Servicios básicos y valoración de su calidad

#### 4.1.3.4. Datos económicos

##### 📌 Principal actividad económica de los habitantes

Del total de encuestados un 54% manifiesta poseer empleos privados, de los cuales la mayoría no son permanentes dedicándose especialmente a trabajos de la construcción, un 26% empleados públicos, para el caso del área en estudio se puede indicar que un empleado público suele tener mayor estabilidad que un empleado privado, debido a que cuenta con una remuneración fija mensual y los beneficios de ley y un 20% dedicados al comercio como tiendas en los mismos barrios, puestos de venta en los mercados, arriendos de habitaciones principalmente a estudiantes en el sector Av. 17 de Julio (tabla 28).

Tabla 28  
Principal actividad económica de los habitantes

Actividad económica	Numero encuestados	Porcentaje	Ponderación	Calificativo vulnerabilidad
Empleado privado	37	54%	3	Alto
Comercio	14	20%	2	Medio
Empleado publico	18	26%	1	Bajo
SUMA	69	100%		

#### ☞ Ingreso mensual del hogar

Las principales actividades económicas un 36% de hogares encuestados generan ingresos menores a 400 usd, y un 22% con ingresos mayores a 1200 usd, (tabla 29), las actividades económicas y su ingreso mensual tienen incidencia con el nivel de instrucción de la población, esto genera menor posibilidad de acceso a la información y conocimiento, acceder a una vivienda propia con estructuras que cumplan con las normativas de construcción establecidas y se limiten otros bienes y servicios que requieran los integrantes del hogar.

Tabla 29  
Ingreso mensual del hogar (usd)

Ingreso mensual del hogar	Numero de encuestados	Porcentaje	Ponderación	Calificativo vulnerabilidad
menos de 400 Usd	25	36%	3	Alto
401-1200 Usd	29	42%	2	Medio
más de 1200 Usd	15	22%	1	Bajo
SUMA	69	100%		

Analizando la tabla 28 y 29 se puede evidenciar que existe vulnerabilidad económica, la misma se entiende como la susceptibilidad de un grupo humano a sufrir algún tipo de daño, pérdida o evento perjudicial dado, en una realidad socioeconómica específica.

#### 4.1.3.5. Sistemas de producción

##### ☞ Tenencia de las tierras

Dentro del área de estudio un 88% de hogares encuestados no tienen tierras para producción agropecuaria. En base al catastro Municipal Ibarra en el área de estudio, se observa predios con superficie mínima de 0,000126 Ha y máximo de 14,515 Ha, los predios en relación con su área un 95% aproximadamente poseen una superficie menor a 0,5 Ha como se muestra en la figura 31, donde el eje X corresponde a la superficie y el eje Y al número de predios.

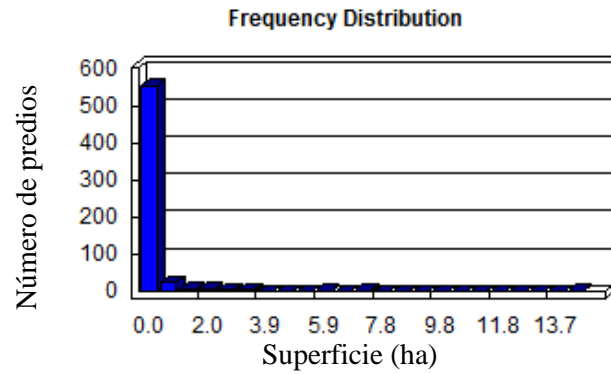


Figura 31. Distribución de predios por área

En la figura 32, se puede observar que el flanco izquierdo del área de estudio posee mayor división de la superficie, especialmente la parte baja, evidenciándose viviendas en la pendiente las cuales son vulnerables principalmente a deslizamientos, mientras que el flanco derecho avanza también su segmentación y por ende la urbanización de esta zona, ésta posee interés ambiental debido a que pertenece a la cuenca de la laguna Yahuarcocha ecosistema lacustre de importancia, afectado por el proceso de urbanización impactando negativamente al hábitat de especies de flora y fauna propias del sector.



Figura 32. Tenencia de la tierra (predios)  
Fuente: Catastro Municipal Ibarra

### ☞ Uso de las tierras

Respecto al uso de las tierras se evidencia que un 9% de los encuestados tienen sus tierras sin actividad agrícola debido a la pérdida de su fertilidad, y un 91% de los encuestados destinan sus tierras para vivienda (tabla 30).

Tabla 30  
Uso de las tierras

Destino de las tierras	Numero de encuestados	Porcentaje	Ponderación	Calificativo vulnerabilidad
Sin actividad	6	9%	3	Alto
Vivienda	63	91%	2	Medio
Agricultura-Ganadería	0		1	Bajo
SUMA	69	100%		

### ☞ Tierras que cuentan con agua de riego

De las personas encuestadas un 3% indica que, si poseen agua de riego, este servicio lo tienen predios que se encuentran bajo el canal de riego, son predios pequeños los cuales no realizan actividades agropecuarias de forma intensiva (tabla 31).

Tabla 31  
Tierras que cuentan con agua de riego

Poseen agua de riego	Numero de encuestados	Porcentaje	Ponderación	Calificativo vulnerabilidad
No	67	97%	3	Alto
Si	2	3%	1	Bajo
SUMA	69	100%		

### ☞ Prácticas de conservación de suelos

De la población encuestada el 35% responde que si realizan prácticas de conservación se suelo mientras que el 65% restante no realiza estas prácticas (tabla 32).

Tabla 32  
Prácticas de conservación de suelos

Prácticas de conservación	Numero de encuestados	Porcentaje	Ponderación	Calificativo vulnerabilidad
No	45	65%	3	Alto
Si	24	35%	1	Bajo
SUMA	69	100%		

En la tabla 33, se detalla las respuestas de los encuestados en base a las prácticas de conservación de suelo que se realizan. Se puede apreciar que existen escasas prácticas de conservación de los suelos, el 84% de los predios mantienen la vegetación natural de la zona, y el 16% cuentan con vegetación en linderos, los predios pequeños cuentan con cerramientos de ladrillo, bloque y alambrados, se observa arboles dispersos y pequeños bosquetes de eucalipto.

Tabla 33  
Tipo de prácticas de conservación de suelos

Conservación de suelos	Numero	Porcentaje
Rotación de cultivos	0	0%
Vegetación en linderos	11	16%
Terrazas	0	0%
Vegetación natural dentro del predio	58	84%
SUMA	69	100%

Se puede evidenciar que las malas prácticas agrícolas han generado la pérdida de la fertilidad de los suelos, actualmente se observa en su mayoría tierras sin uso y con falta de agua de riego, pocos hogares realizan cultivos en sus predios, esto demuestra que no existen

actividades que garanticen la seguridad alimentaria de los hogares y por ende vulnerables a los efectos del cambio climático.

#### 4.1.3.6. Organización comunitaria

En lo que respecta a la organización, el 13% de los encuestados pertenecen a organizaciones o directivas de los barrios y asociaciones.

El porcentaje de organización de la población es baja, es importante tomar en cuenta que la organización comunitaria permite y genera oportunidad para negociar, conocer, demandar y gestionar con gobiernos locales y nacionales y otras organizaciones de forma positiva los problemas y necesidades de la comunidad (tabla 34).

Tabla 34  
*Tipo de organización comunitaria*

<b>Tipo de organización</b>	<b>Numero encuestados</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Calificativo Vulnerabilidad</b>
Ninguna	60	87%	3	Alto
Barrial	7	10%	2	Medio
Asociaciones	2	3%	1	Bajo
SUMA	69	100%		

#### ⌘ Participación de la mujer en la toma de decisiones

Del 13% de los encuestados que pertenecen a organizaciones, la participación de la mujer en la toma de decisiones es de un 89% (tabla 35).

Tabla 35  
*Participación de la mujer en la toma de decisiones*

<b>Participación de la mujer</b>	<b>Numero encuestados</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Calificativo Vulnerabilidad</b>
No	1	11%	3	Alto
Si	8	89%	1	Bajo
SUMA	9	100%		

Las repercusiones del cambio climático y su incidencia en el aumento de eventos adversos en los territorios afectan a todas las personas, donde hombres y mujeres se ven afectados de manera diferente, la no participación de la mujer en la toma de decisiones dentro de las organizaciones las hace mucho más vulnerables al cambio climático.

#### ☞ **Legalización de las organizaciones existentes**

Al consultar si las organizaciones poseen reglamentos y estatutos que orienten y regulen las actividades, del 13% de personas que integran las organizaciones, un 33% manifiesta que sí, mientras que el 66% duda o no conoce e indica que no poseen reglamentos dentro de sus organizaciones (tabla 36).

Tabla 36  
*Legalización de las organizaciones existentes*

<b>La organización posee reglamentos</b>	<b>Numero encuestados</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Calificativo vulnerabilidad</b>
No	3	33%	3	Alto
Tal vez	3	33%	2	Medio
Si	3	33%	1	Bajo
SUMA	9	100%		

#### **4.1.2.7. Percepción del riesgo**

#### ☞ **Percepción nivel de impacto por deslizamiento**

La distribución de las respuestas al preguntar el nivel de impacto que sufriría al presentarse un deslizamiento, el 36% de los encuestados manifiestan que alto, y un 64% entre medio y bajo, esto incide directamente en el interés de los habitantes de participar en procesos de prevención y preparación para la gestión de riesgos, sean estos de manera familiar o comunitaria, además permite establecer y priorizar las estrategias y actividades para intervenir en la población vulnerable (tabla 37).

Tabla 37  
*Percepción nivel impacto por deslizamiento*

<b>Percepción nivel impacto por deslizamiento</b>	<b>Numero encuestados</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Calificativo vulnerabilidad</b>
Alto	25	36%	3	Alto
Medio	22	32%	2	Medio
Bajo	22	32%	1	Bajo
SUMA	69	100%		

#### ☞ **Percepción nivel de impacto por erosión**

En lo que respecta a la percepción por impacto de la erosión, un 13% de encuestados considera que está expuesto a sus efectos con un nivel alto, un porcentaje bajo en relación con

la realidad, esto debido a que en el área ya no se realizan actividades agrícolas y pecuarias como una actividad principal de los hogares, como era hace años atrás según acotaciones de los encuestados (tabla 38).

Tabla 38  
*Percepción nivel impacto por erosión*

<b>Percepción nivel de impacto por erosión</b>	<b>Numero encuestados</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Calificativo vulnerabilidad</b>
Alto	9	13%	3	Alto
Medio	27	39%	2	Medio
Bajo	33	48%	1	Bajo
SUMA	69	100%		

La población en su mayoría no reconoce a la erosión como consecuencia de las actividades antrópicas y malas prácticas de conservación de los suelos, debido a que las principales actividades económicas de los habitantes fueron cambiando con el transcurso del tiempo dedicándose a trabajo privados, empleos públicos y el comercio para solventar sus necesidades.

#### ☞ Nivel de preparación del hogar

Del total de encuestados un 62% indica que no ha realizado ninguna actividad para preparar a la familia en caso de desastre, un 22% manifiesta que alguna vez lo cual en su mayoría lo realizaron por las tareas escolares de sus hijos o familiares y en lugares de trabajo y el 16% menciona que si ha realizado actividades de prevención y preparación (tabla 39).

Tabla 39  
*Nivel de preparación del hogar*

<b>Nivel de preparación del hogar</b>	<b>Numero encuestados</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Calificativo vulnerabilidad</b>
No	43	62%	3	Alto
Alguna Vez	15	22%	2	Medio
Si	11	16%	1	Bajo
SUMA	69	100%		

Al consultar en que temas está la familia preparada ante la presencia de un evento adverso, un 95% de los hogares encuestados no cuentan con plan familiar de emergencia, un 92% no posee mochila de emergencia, un 73% no tiene capacitación en autoprotección, el 95% de hogares no han ejecutado simulacros y el 79% no identifican rutas de evacuación como un



proceso de preparación ante situaciones de emergencia (figura 33), es decir las hogares cuentan con un bajo nivel de preparación ante la ocurrencia de un evento adverso.

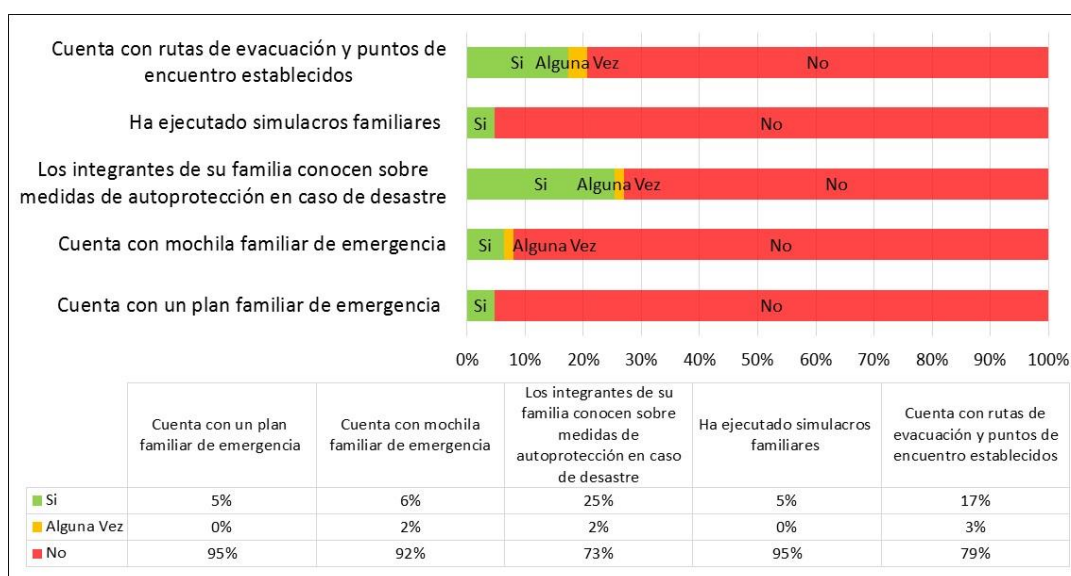


Figura 33. Nivel de preparación de los hogares para responder ante un evento adverso

Es evidente que el riesgo es visto de manera distinta según el individuo, la percepción es influenciada por el marco de referencia personal, familiar y comunitario.

El nivel de preparación incide significativamente en la respuesta oportuna ante el impacto de un evento adverso, los cuales tienen una relación con el nivel de educación, acceso a la información, y el nivel económico de la población.

#### 4.1.4. Análisis de la vulnerabilidad

La división del área de estudio por barrios no es oficial, es en base a referencias generadas por la población encuestada, esto permitió realizar un análisis detallado del área de estudio.

##### 4.1.4.1. Indicadores y rangos utilizados para el cálculo de la vulnerabilidad

En la tabla 40, se muestra los tipos de vulnerabilidades a medir, sus indicadores y niveles de vulnerabilidad considerados para la ponderación, además se muestra en porcentaje las respuestas dadas por los encuestados por cada indicador, esto sirvió como base para el cálculo de la vulnerabilidad que posee la población dentro del área de estudio ante los movimientos en masa y la erosión, los indicadores fueron unificados en tipos de vulnerabilidad como: social, educativa, física, económica, ambiental, organizacional y cultural.

Tabla 40  
Tipos de vulnerabilidad, indicadores y niveles de vulnerabilidad

VULNERABILIDAD	INDICADORES	NIVEL VULNERABILIDAD		
		ALTA	MEDIA	BAJA
SOCIAL	1. Numero de integrantes por hogar	> 9 integrantes 5%	4 - 8 integrantes 65%	< 3 integrantes 30%
	2. Edades de la poblacion	< 11 y > 65 años 26%	Entre 12 a 17 años 15%	Entre 18 y 64 años 59%
	3. Discapacidad en los integrantes del hogar	Si 4%		No 96%
EDUCATIVA	4. Nivel de instruccion	Basica 29%	Bachiller 46%	Superior 25%
	5. Preparación familiar para la respuesta ante desastres	No 62%	Alguna Vez 22%	Si 16%
FISICA	6. Tenencia de la vivienda	Familiares 14%	Arrendada 22%	Propia 64%
	7. Tipo de vivienda	Cuarto(s) de inquilinato 10%	Departamento 13%	Casa 77%
	8. Material de construcción de la vivienda	Mixta 50%	Tapial 7%	Hormigón 43%
	9. Estado de la vivienda	Malo 3%	Regular 13%	Bueno 84%
	10. Servicios básicos	Sin servicios 1%	Algunos 38%	Todos los servicios 61%
	11. Calidad de los servicios básicos	Malo 1%	Regular 13%	Bueno 87%
	12. Principal actividad económica	Empleado privado 54%	Comercio 20%	Empleado publico 26%
ECONOMICA	13. Ingreso mensual	< a 400 Usd 36%	entre 401 a 1200 Usd 42%	> a 1200 usd 22%
AMBIENTAL	14. Tenencia de tierras para cultivos	> tiene tierras para cultiv 88%	Menos de 1 Hectárea 12%	Mas de 1 Ha 0%
	15. Destino de tierras (uso)	Sin actividad 9%	Vivienda 91%	Agricultura-Ganadería 0%
	16. Disponibilidad de agua de riesgo	No 97%		Si 3%
	17. Prácticas de conservación de suelo	No 65%		Si 35%
ORGANIZACIONAL	18. Tipos de organizaciones existentes	Ninguna 87%	Barrial 10%	Asociaciones 3%
	19. Participación de la mujer en la toma de decisiones	No 11%		Si 89%
	20. Legalización de organizaciones (reglamentos)	No 33%	Tal vez 33%	Si 33%
CULTURAL	21. Percepción nivel de impacto por deslizamiento	Impacto alto 36%	Impacto medio 32%	Impacto bajo 32%
	22. Percepción nivel de impacto por erosión	Impacto alto 13%	Impacto medio 39%	Impacto bajo 48%

#### 4.1.4.2. Análisis por tipo de vulnerabilidad a deslizamientos

En la tabla 41, se detalla la vulnerabilidad por tipo e indicador, luego del análisis se determina que la población encuestada dentro del área de estudio es vulnerable en un 70% al impacto por deslizamiento.

- ⌘ **Vulnerabilidad social:** El 50% de la población es vulnerable socialmente, tomando en cuenta la composición familiar sus edades e integrantes con discapacidad, en relación con su edad el 26% posee vulnerabilidad alta, es decir población menor a 11 años y mayor a 65 años, un 4% de hogares encuestados poseen integrantes con discapacidad, quienes requieren atención especial en los procesos de prevención, preparación, acciones de evacuación y atención ante la presencia de un evento adverso.
  
- ⌘ **Vulnerabilidad educativa:** La población es vulnerable en un 74% en el aspecto educativo, por ello es importante considerar que el nivel de preparación permite a la población aplicar los conocimientos en su vida cotidiana como herramienta para enfrentar los eventos adversos que se presenten, en base a las encuestas de determinó que un 75% de la población posee educación entre básica y bachillerato, un 25% instrucción superior, además solo un 16% de la población ha realizado acciones dentro del hogar para la prevención y preparación ante la ocurrencia de un evento adverso.
  
- ⌘ **Vulnerabilidad física:** Considerando las características de las viviendas, los servicios básicos y su calidad, la población posee una vulnerabilidad del 50%, las características de las viviendas están relacionadas con los ingresos económicos de los hogares, aumentando su vulnerabilidad en viviendas asentadas en áreas con pendiente y con eliminación de la vegetación natural, estos asentamientos humanos en zonas de riesgo a deslizamientos se debe al escaso control y regulación de las instituciones que tiene la responsabilidad de realizar la zonificación y planificación para la expansión urbana en base a criterios técnicos (anexo 4. foto 2.1, 2.2 y 2.3).
  
- ⌘ **Vulnerabilidad económica:** Respecto a la economía la población posee un 75% de vulnerabilidad, esto se debe a que los jefes de hogar un 54% poseen trabajos privados no permanentes con ingresos equivalentes a un salario básico unificado en otros casos con ingresos menores, el 26% de los jefes de hogar son empleados públicos, los mismos que en su mayoría perciben ingresos equivalentes a un salario básico unificado lo cual difícilmente pueden cubrir sus necesidades básicas.
  
- ⌘ **Vulnerabilidad ambiental:** En un 83% es vulnerable en el aspecto ambiental lo que determina la necesidad de implementar prácticas de conservación y recuperación de la vegetación natural, esto permitirá estabilizar las zonas con pendientes y reducir el riesgo de impacto por deslizamientos no solo a la población asentada dentro del área de estudio

sino a la población que se encuentra en la parte baja donde existe mayor urbanización e infraestructura pública como la Universidad Técnica del Norte.

⌘ **Vulnerabilidad organizacional:** La población posee un 89% de vulnerabilidad organizacional, debido a que solo un 13% de los encuestados pertenece a alguna organización como barrial o asociación, además es importante la participación de la mujer en la toma de decisiones dentro de estas organizaciones ya que ello determina la capacidad de respuesta de la población ante la ocurrencia de un evento adverso.

⌘ **Vulnerabilidad cultural:** Se consideró la percepción de la población ante el impacto al producirse un deslizamiento, obteniendo como resultado que un 68% de la población es vulnerable en base a su criterio, lo que permite conocer cómo el riesgo es entendido, construido y reproducido, esto posibilita la autogestión comunitaria en la medida en que las personas desarrollen acciones concretas para afrontar su situación de riesgo en su sector, el 36% de la población manifiesta que se producirá un impacto alto al presentarse un deslizamiento, población que en su mayoría está asentada en las zonas de pendiente dentro del área de estudio.

Tabla 41  
Descripción por tipo de vulnerabilidad 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	2,10	70,0
	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					
FISICA	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					
ECONOMICA	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

#### **4.1.4.3. Análisis por tipo de vulnerabilidad a erosión**

En la tabla 42, se detalla la vulnerabilidad por tipo e indicador, luego del análisis se determina que la población encuestada dentro del área de estudio es vulnerable en un 67.4% a la erosión del suelo.

- ⌘ **Vulnerabilidad social:** El 50% de la población es vulnerable socialmente, tomando en cuenta la composición familiar sus edades e integrantes con discapacidad, el área de estudio tiende a crecer urbanísticamente, es decir el crecimiento demográfico y el cambio climático inciden directamente y afecta a la vegetación, fauna, suelo, agua y clima, por lo que representa un importante agente geomorfológico, ya que modifica con su actividad la superficie terrestre y a su vez, interfiere en la actuación de los procesos geomorfológicos, muy particularmente en los procesos de erosión.

Según FAO 2015, uno de los principales impulsores globales del cambio del suelo es el crecimiento poblacional, se ha estimado que la población mundial de 7,2 billones a mediados de 2013 se incrementará en casi un billón para el 2025, acompañado de factores relacionados tales como educación, valores culturales, conflictos civiles, eficacia de los mercados y riqueza o pobreza de los usuarios de la tierra.

- ⌘ **Vulnerabilidad educativa:** La población es vulnerable en un 69% en el aspecto educativo, por ello es importante considerar que el nivel de preparación permite a la población aplicar los conocimientos en su vida cotidiana como herramienta para enfrentar los eventos adversos que se presenten, el nivel de instrucción incide directamente en la conservación de los suelos mismos que se vienen degradando, según la FAO 2015, la erosión se lleva de 25 a 40000 millones de toneladas de la capa arable del suelo cada año, por ello si no se realiza la formación académica orientada al adecuado uso de los recursos naturales y la sensibilización a la población las cifras irán en aumento.

- ⌘ **Vulnerabilidad física:** Se consideró las características de las viviendas, los servicios básicos y su calidad, en base a estos indicadores se determina que la población es vulnerable en un 50%. En base al recorrido realizado y la encuesta aplicada en el área de estudio, se determina que un 57% son viviendas entre mixtas y de tapial que para su

construcción requieren suelo (adobes) para las paredes, madera y otros materiales, esto implica una alteración en los ecosistemas donde se los extrajo.

Para la construcción de las viviendas especialmente las asentadas en zonas de pendiente se realizó remoción de suelo y eliminación de la vegetación natural, lo que provoca pérdida de la capa superficial del suelo por acción de la lluvia, viento y la gravedad.

⌘ **Vulnerabilidad económica:** En lo que respecta a la economía la población posee un 75% de vulnerabilidad, los habitantes ya no poseen suelos fértiles para realizar actividades agrícolas y ganaderas lo que ha provocado que la población busque otras fuentes de ingreso, por ello en la actualidad los jefes de hogar poseen trabajos privados no permanentes con ingresos equivalentes a un salario básico unificado, en otros casos con ingresos menores, el 26% de los jefes de hogar son empleados públicos que en su mayoría perciben ingresos equivalentes a un salario básico unificado que difícilmente pueden cubrir sus necesidades básicas.

⌘ **Vulnerabilidad ambiental:** La población posee una vulnerabilidad del 83%, es importante tomar en cuenta que el hombre viene utilizando los recursos naturales desde el paleolítico, esto ha dado lugar a modificaciones en la cobertura vegetal, que a su vez han modificado de manera notable los procesos de erosión hídrica, dando lugar a importantes cambios en el suelo produciendo su degradación y pérdida de fertilidad.

La falta de prácticas de conservación de suelos ha provocado su deterioro, actualmente se observa vegetación en linderos y vegetación natural en la mayoría de los predios los cuales están sin actividad y la incidencia del cambio climático que es un fuerte impulsor adicional del cambio de suelo, lo que impactara en la seguridad y soberanía alimentaria de la población si no se realiza una gestión sostenible del suelo.

⌘ **Vulnerabilidad organizacional:** La población posee un 89% de vulnerabilidad organizacional, debido a que solo un 13% de los encuestados pertenece a alguna organización como barrial o asociación, esto limita la gestión de acciones encaminadas a ejecución de proyectos orientados a mejorar las condiciones de vida de los habitantes, especialmente para recuperar el suelo, tampoco existe acciones por parte de las

instituciones responsables en lo que respecta a recuperar los suelos dentro del área de estudio.

- ⊗ **Vulnerabilidad cultural:** Se considero la percepción de la población ante el impacto por la erosión, obteniendo como resultado que un 55% de la población es vulnerable en base a su criterio, el 48% de los encuestados manifiestan 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, debido a que la mayoría posee ingresos económicos de trabajos públicos y privados, por ello las actividades agrícolas y pecuarias en el sector han disminuido significativamente.

Tabla 42  
Descripción por tipo de vulnerabilidad a erosión

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		
FISICA	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					
ECONOMICA	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

Es importante considerar que los suelos son fundamentales para la vida en el planeta, pero las acciones humanas sobre este recurso están llegando a límites críticos, la continua y acelerada pérdida de suelos productivos aumentará de precio los alimentos y potencialmente provocará que millones de personas vivan en la pobreza. Esta pérdida es evitable, la gestión

oportuna del suelo puede incrementar el abastecimiento de alimentos y provee una herramienta valiosa para la regulación del clima y un camino para salvaguardar los servicios de los ecosistemas (FAO, 2015).

#### ***4.1.4.4. Análisis por barrios de vulnerabilidad a deslizamientos***

En base a la encuesta y las respuestas dadas por la población, se realiza la respectiva ponderación y cálculo para determinar la vulnerabilidad del territorio a los deslizamientos desde el punto de social.

En la tabla 43, se muestra los resultados de la población encuestada, obtenidos por barrio que se encuentran dentro del área de estudio, los límites barriales son una referencia para realizar el análisis de la vulnerabilidad, considerando que las vulnerabilidades y la incidencia de los eventos adversos no tienen límites territoriales.

Se puede indicar que la población posee una vulnerabilidad del 70%, donde barrios con mayor vulnerabilidad a los deslizamientos son San Miguel Arcángel, Olivo Alto, debido a que la población está asentada en su mayoría en zonas de pendiente las cuales poseen escasa vegetación natural, con presencia de cortes de suelo para la construcción de las viviendas.

El barrio el Olivo y la Victoria se encuentran en la parte baja mismos que pueden ser afectados en caso de presentarse un deslizamiento en la parte alta, aumentando el riesgo si se ve comprometida la acequia la cual atraviesa la zona de estudio de sur a norte.

Los barrios Santa Marianita del Olivo y la Quinta del Olivo están ubicados en la parte norte del área de estudio, los mismos están asentados en zonas con pendientes menores al 30% en su mayoría, por ello el riesgo disminuye en relación con los otros barrios que se encuentran dentro de la zona de estudio, sin embargo, en el barrio la Quinta del Olivo se registra incidencia de una acequia la cual en temporada lluviosa genera daños a las viviendas y a la vía panamericana por su desbordamiento.



Tabla 43  
*Análisis por barrios de vulnerabilidad a deslizamientos*

BARRIO	SOCIAL	EDUCACION	FISICA	ECONOMICA	AMBIENTAL	ORGANIZACIONAL	CULTURAL	VULNERABILIDAD POR BARRIO	CALIFICATIVO	PORCENTAJE	VULNERABILIDAD GLOBAL	PORCENTAJE
Santa Marianita del Olivo	1,4	2,0	1,6	2,7	2,6	2,6	1,4	2,0	MEDIA	67,5	2,1	70
La Quinta del Olivo	1,6	2,3	1,5	2,4	2,8	2,2	2,2	2,1	ALTA	70,9		
Olivo Alto (Incluye Mirador del Olivo y la Portada)	1,4	2,6	1,5	2,3	2,4	2,6	2,4	2,2	ALTA	72,2		
San Miguel Arcangel	1,5	2,2	1,7	2,0	2,3	3,0	2,7	2,2	ALTA	72,6		
El Olivo	1,5	2,2	1,5	2,3	2,3	2,7	1,6	2,0	MEDIA	66,7		
La Victoria	1,5	2,2	1,4	1,9	2,8	3,0	2,2	2,1	ALTA	70,8		

Calificativo vulnerabilidad: 1 Bajo: 2 Medio: 3 Alto

#### **4.1.4.5. Análisis por barrios de vulnerabilidad a la erosión**

En la tabla 44, se muestran los resultados obtenidos por barrio que se encuentran dentro del área de estudio, los límites barriales son una referencia para realizar el análisis de la vulnerabilidad, se debe tomar en cuenta que el impacto por erosión no posee límites territoriales.

Luego del análisis se determina que la población asentada dentro del área de estudio posee una vulnerabilidad del 67,4% a la erosión, este porcentaje es en base a la encuesta y las respuestas dadas por la población, mismas que fueron procesadas y ponderadas para su respectivo análisis.

Los barrios Olivo Alto, Mirador del Olivo y la Portada poseen porcentaje alto (71,4%) de vulnerabilidad a impacto por erosión, se observa que la erosión avanza, según los encuetados hace años atrás si se realizaban cultivos, para ellos se tuvo que eliminar la vegetación natural, quedando los suelos desnudos, sumando a esto la pendiente y las características del suelo, procesos de recolección de leña, se generó la pérdida de la capa fértil, por lo cual en la actualidad ya no se realizan cultivos, en los recorridos realizados se observan pocas huertas pequeñas para consumo familiar.

El área de estudio especialmente la parte baja del flanco izquierdo se encuentra urbanizada lo cual continua hacia la parte alta, generándose cortes de suelo, apertura de vías, eliminación de la vegetación existe, por ende, la degradación de los ecosistemas naturales.

La degradación del suelo afecta a la regulación del clima, provoca pérdida de biodiversidad y resiliencia del suelo e incrementa la vulnerabilidad de los asentamientos humanos a las perturbaciones naturales y los eventos meteorológicos.

Tabla 44  
Análisis por barrios de vulnerabilidad a erosión

BARRIO	SOCIAL	EDUCACION	FISICA	ECONOMICA	AMBIENTAL	ORGANIZACIONAL	CULTURAL	VULNERABILIDAD POR BARRIO	CALIFICATIVO	PORCENTAJE	VULNERABILIDAD GLOBAL	PORCENTAJE
Santa Marianita del Olivo	1,4	2,0	1,6	2,7	2,6	2,6	2,0	2,1	ALTA	70,4	2,02	67,4
La Quinta del Olivo	1,6	2,1	1,5	2,4	2,8	2,2	1,3	2,0	ALTA	65,7		
Olivo Alto (Incluye Mirador del Olivo y la Portada)	1,4	2,6	1,5	2,3	2,4	2,6	2,3	2,1	ALTA	71,4		
San Miguel Arcangel	1,5	2,0	1,7	2,0	2,3	3,0	2,0	2,1	ALTA	68,6		
El Olivo	1,5	2,3	1,5	2,3	2,3	2,7	1,1	1,9	MEDIA	64,7		
La Victoria	1,5	1,5	1,4	1,9	2,8	3,0	1,8	2,0	ALTA	66,3		

Calificativo vulnerabilidad: 1 Bajo: 2 Medio: 3 Alto

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

### 4.2.1. Susceptibilidad a deslizamientos

El método usado en esta investigación ha sido el método de la “matriz” que corresponde a una técnica de análisis estadístico bivalente, mediante el uso de SIG, analizado en las siguientes subetapas:

- ✓ Inventario de movimientos de ladera.
- ✓ Análisis factores determinantes.
- ✓ Análisis de la susceptibilidad.
- ✓ Validación del mapa de susceptibilidad obtenido.

Para la evaluación de la susceptibilidad a movimientos de ladera se utilizó la herramienta Model Builder del programa ArcGis, ubicado en una caja de herramientas denominado Toolbox, con el nombre "Susceptibility\_model" Yandún, C 2018, quien cita a Jiménez, J 2012 (figura 34).



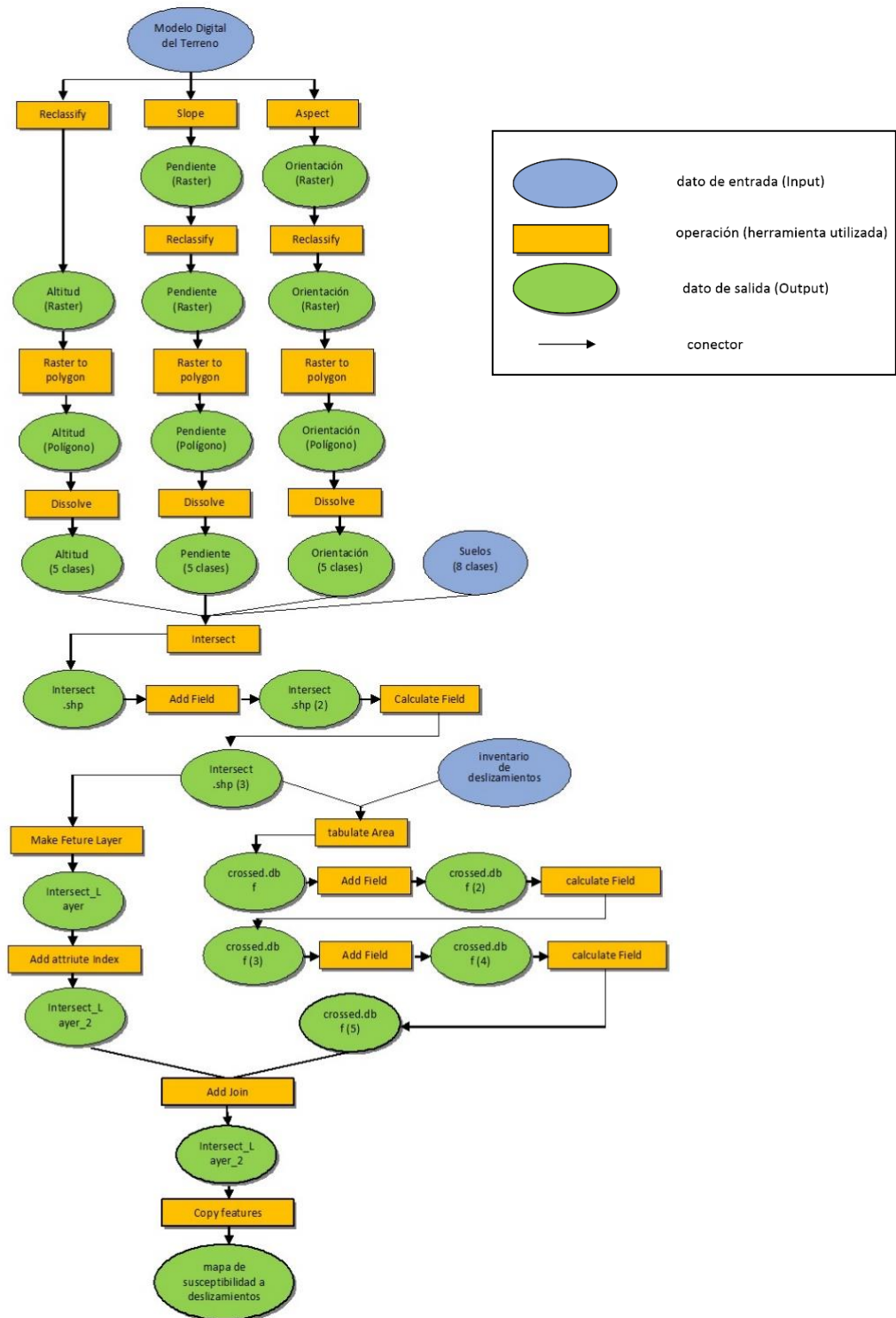


Figura 36. Modelo mapa deslizamientos

#### 4.2.1.1. Inventario de movimientos de ladera

El inventario de movimientos de ladera es el mapa más importante para la evaluación de la susceptibilidad (Jiménez, J 2005).

Se realizó un inventario preliminar en gabinete sobre ortofotografía del año 2017, a escala 1:1000, se fortaleció el inventario con salidas de campo realizadas en el mes de noviembre del 2017, identificando 26 movimientos de ladera (anexo 4. fotos 6.1 a 6.17), distribuidos en 23 deslizamientos y 3 hundimientos, se identifican 17 movimientos que se generaron por incidencia antrópica y 9 de origen natural, como se muestra en la figura 38 y detallados en el anexo 2. tabla 1, donde se indican sus coordenadas, área, perímetro, tipo de movimiento, causa, áreas afectadas, elementos expuestos.

En la tabla 45, se resume el área afectada por los movimientos de ladera, donde el movimiento que presenta la mayor área es de 0,62 Ha con un perímetro de 468,45 metros y el deslizamiento de menor superficie con 0,00347 Ha y un perímetro de 24,68 metros. Los movimientos en masa identificados afectan a un área total de 1,82 Ha, lo que corresponde a 1,13 % de la superficie del área de estudio la cual es de 160,93 Ha.

En la figura 37 se observa que, de los movimientos de ladera identificados, un 84% poseen áreas entre 0,00347 a 0,066 Ha dentro del área de estudio, información obtenida con la herramienta Statistics con los datos de área en Ha en la tabla de atributos de la capa inventario de deslizamientos en ArcMap 10.2.

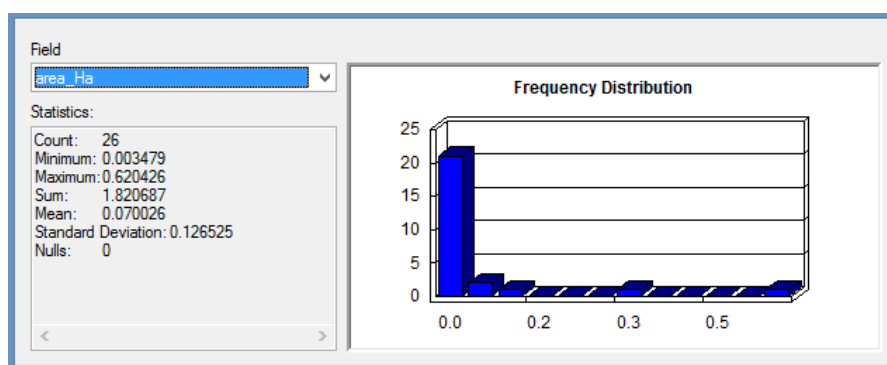


Figura 37. Distribución de movimientos en masa por área

Tabla 45  
Superficie afectada por movimientos en masa

Superficie	Área (m <sup>2</sup> )	Área (Ha)
Máxima	6204,26	0,62
Mínima	34,79	0,00347
Promedio	723,71	0,072
Total	18172,37	1,82

La digitalización de los movimientos en masa identificados se realizó utilizando ArcMap 10.2, con sus respectivos datos almacenados en una tabla de atributos, generando un mapa de movimientos en masa con la finalidad de observar su ubicación en el espacio (anexo 3. lámina 11).

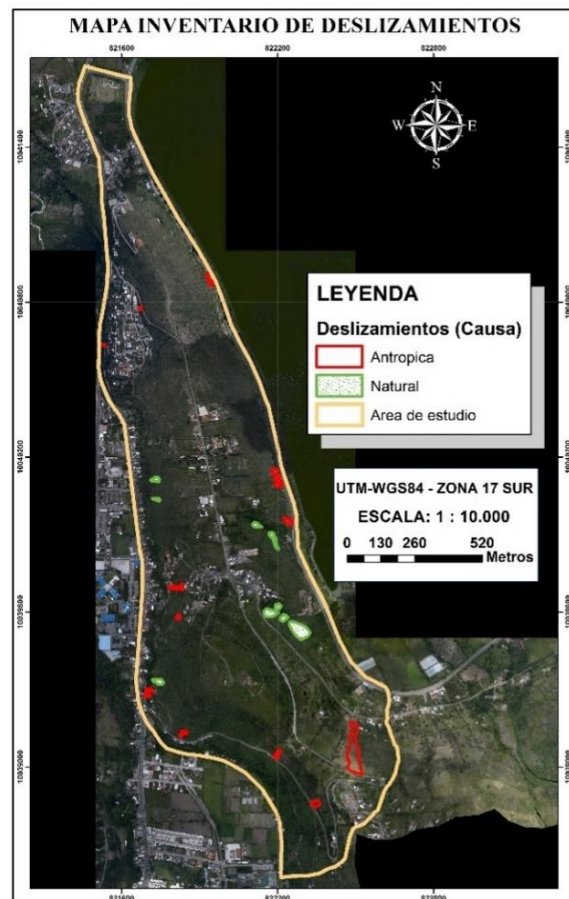


Figura 38. Ubicación espacial inventario de deslizamientos

El inventario de movimientos debe ser una capa vectorial reclasificada en dos clases: presencia de áreas de origen de los deslizamientos de tierra (“value\_2”), o su ausencia (“value\_1”). La suma de estas dos clases da la superficie total del área de estudio.

#### 4.2.1.2. Factores determinantes

La inestabilidad depende de la acción de varios factores agrupándose en desencadenantes o activadores, (precipitación, sismicidad) que controlan la actividad en el tiempo y factores determinantes o condicionantes, (pendiente, orientación, altitud, litología) que la controlan en el espacio (Hansen, 1984; Crozier, 1984, 1986, Irigaray 1995) citados por Jiménez, J 2005.

El presente estudio tiene 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 como pendiente, orientación, altitud los cuales se obtuvieron del Modelo Digital de Elevación (DEM) a escala 1:1000 con un metro de resolución, año 2017 y los suelos, mismo que se obtuvo de la base de datos del Instituto Espacial Ecuatoriano a escala 1:25.000 año 2014.

### 📍 Modelo digital de elevación

El Modelo Digital de Elevación (DEM) año 2017, obtenido a través de tecnología LiDAR, tiene una nube de datos LiDAR con densidad media de 8 puntos/m<sup>2</sup>, y un metro de resolución, es la fuente de información principal para la descripción y análisis cuantitativo del medio físico, de este se obtiene tres subproductos: altitud, pendiente y orientación (figura 39).

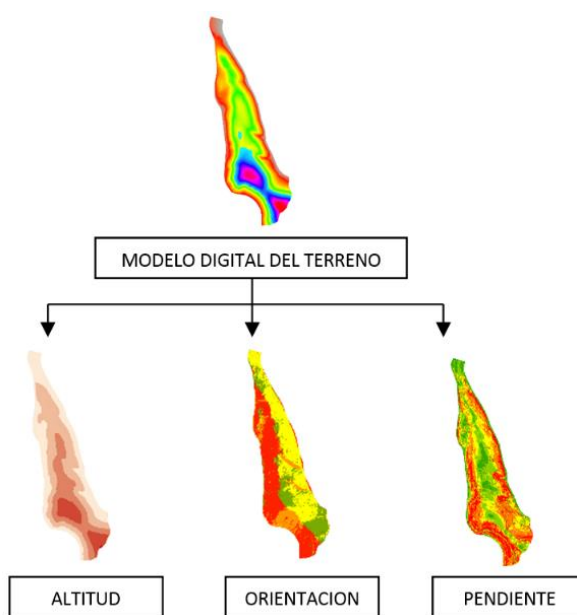


Figura 39. DEM 2017 y subproductos: altitud, orientación y pendiente

#### a. Altitud

Consiste en una reclasificación del DEM, que es una superficie “raster” continua y la convertimos en discreta mediante la reclasificación. La clasificación por intervalos del DEM se ha realizado de 50 en 50 metros que se considera representativa para la escala de trabajo, a excepción del intervalo que abarca desde la altura superior de la zona de estudio de 2416 a 2423 m.s.n.m.

## **b. Pendiente**

La pendiente es uno de los factores comúnmente utilizados como determinantes en aplicaciones SIG, considerados relativos pendiente-estabilidad (Fernández et al. 2008), citado por Jiménez, J 2012.

El 17,24% de la superficie del área de estudio presenta pendiente vertical, de 35 a 90 grados, un 25,15 % con pendiente muy fuerte, áreas entre el 25 a 35 grados de pendiente, las cuales debe considerar dentro del proceso de crecimiento urbano, debido a que entre mayor es la pendiente mayor es la susceptibilidad a deslizamientos.

## **c. Orientación**

La orientación u exposición es el ángulo que forma la línea de máxima pendiente de un elemento de la superficie del terreno con respecto al norte geográfico, medido en sentido de las agujas del reloj (Jiménez, J 2005).

Tiene una influencia indirecta sobre deslizamientos. Se relaciona con otras variables, como la humedad del suelo, que son comúnmente más intensa en pendientes orientadas al norte, debido a la insolación inferior (Jiménez, J 2012).

## **❧ Factores no relacionados con el DEM**

Los factores que influyen sobre la estabilidad son aquellos que dependen de la naturaleza del terreno como por ejemplo suelos.

### **a. Suelos**

El mapa de suelos debe ser una capa vectorial que muestra la clasificación de unidades de suelos, se utilizó el mapa de suelos de la base de datos del Instituto Espacial Ecuatoriano del año 2014 a escala 1:25.000, cada complejo de suelos debe estar asociado a un número entero (figura 40).



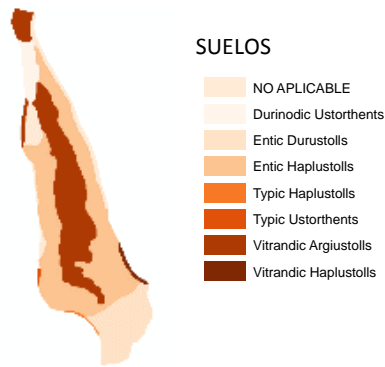


Figura 40. Suelos, dato de entrada susceptibilidad a deslizamientos

#### 4.2.1.3. Análisis de la susceptibilidad

El método de la matriz se basa en el cálculo de tres matrices: la matriz de movimientos de ladera (LM), la matriz de toda la zona (TSM) y la matriz de susceptibilidad (SM).

##### ⌘ Matriz superficie total del área de estudio (TSM)

La matriz de TSM se calculó realizando todas las posibles combinaciones entre las clases de factores determinantes seleccionados, y luego calculando el área ocupada por cada combinación.

De los subproductos derivados del DEM como la altitud, pendiente y orientación a través del ArcGis, utilizando la herramienta de geoprocésamiento “Reclasificar”, los factores determinantes expresados en formato raster fueron reclasificados y transformados en formato vectorial y se generalizaron por clases, para obtener una tabla de atributos sencilla para elaborar el mapa (Jiménez, J 2012).

Estas herramientas de ArcMap trabajan en formato raster, que es importante para el análisis espacial, para mejorar la presentación de los datos y reducir el tamaño de los archivos, las tres capas o mapas altitud, pendiente y orientación se transforman de raster a formato de vector.

Los suelos, cuarto factor determinante, fue introducido como dato de entrada y cada tipo de suelo se asoció con un número entero.

El TSM se calculó realizando todas las posibles combinaciones entre todas las clases de factores determinantes (GRIDCODE: altitud, GRIDCODE\_1: pendiente, GRIDCODE\_2: orientación y GRIDCODE\_3: suelos), seleccionados por medio de herramientas de

geoprocesamiento de ArcGis “Intersect”, se insertó una nueva columna con el nombre (“value”) a la capa generada TSM. El valor de esta columna es un identificador simple para cada combinación, importante para el cálculo de TSM como una tabla y hacer más uniones con otras tablas posibles, se obtuvo un total de 226 combinaciones entre los factores (figura. 41).

FID	Shape	GRIDCODE	GRIDCODE_1	GRIDCODE_2	GRIDCODE_3	value
189	Polygon	4	2	2	3	189
190	Polygon	4	2	2	7	190
191	Polygon	4	2	3	7	191
192	Polygon	4	2	4	2	192
193	Polygon	4	2	4	3	193
194	Polygon	4	2	4	7	194
195	Polygon	4	2	5	2	195
196	Polygon	4	2	5	7	196
197	Polygon	4	3	2	2	197
198	Polygon	4	3	2	3	198
199	Polygon	4	3	2	7	199
200	Polygon	4	3	3	2	200
201	Polygon	4	3	3	3	201
202	Polygon	4	3	3	7	202
203	Polygon	4	3	4	3	203
204	Polygon	4	3	4	7	204
205	Polygon	4	3	5	2	205
206	Polygon	4	3	5	3	206
207	Polygon	4	3	5	7	207
208	Polygon	4	4	2	2	208
209	Polygon	4	4	2	3	209
210	Polygon	4	4	3	3	210
211	Polygon	4	4	4	3	211
212	Polygon	4	4	4	5	212
213	Polygon	4	4	5	7	213
214	Polygon	4	5	2	2	214
215	Polygon	4	5	3	2	215
216	Polygon	4	5	4	2	216
217	Polygon	4	5	4	3	217
218	Polygon	4	5	5	2	218
219	Polygon	5	2	2	2	219
220	Polygon	1	3	3	3	220
221	Polygon	1	4	3	3	221
222	Polygon	1	3	5	3	222
223	Polygon	1	4	5	3	223
224	Polygon	2	3	3	3	224
225	Polygon	2	4	3	3	225

Figura 41. Matriz de la superficie total del área de estudio (TSM)

### ☞ Matriz de deslizamiento (LM)

Se establece mediante el cálculo de áreas o extensiones afectadas por las áreas de origen de los deslizamientos en cada combinación de clases de los factores determinantes seleccionados.

La matriz de deslizamientos se calculó cruzando el inventario de deslizamientos reclasificados con el TSM utilizando la herramienta “Tabulate area”, los resultados se observan en la tabla “crossed.dbf”, con tres columnas: “VALUE”, previamente añadido desde el TSM y correspondiente al identificador de cada combinación de clases de los factores determinantes seleccionados, “N\_DES\_2” con el área afectada por las áreas fuente de los deslizamientos de tierras en cada combinación, y “N\_DES\_1” con el área no afectada en cada combinación. La columna “N\_DES\_2” en la capa “intersect.shp” es el LM propiamente dicho (figura 42).

OID	VALUJE	N_DES_1	N_DES_2	valor_tota	porcenta
210	210	1800	0	1800	0
211	211	3700	0	3700	0
212	212	7900	0	7900	0
213	213	3800	0	3800	0
215	215	800	0	800	0
216	216	400	0	400	0
217	217	4700	0	4700	0
218	218	7000	0	7000	0
219	219	400	0	400	0
220	220	6900	0	6900	0
221	222	700	0	700	0
222	224	10500	0	10500	0
126	126	44700	100	44800	0.223214
115	115	37100	100	37200	0.268817
73	73	18800	200	19000	1.05263
120	120	60100	800	60900	1.31363
77	77	37500	500	38000	1.31579
70	70	20400	300	20700	1.44928
47	47	26700	400	27100	1.47601
58	58	42200	900	43100	2.08817
43	43	4000	100	4100	2.43902
137	137	39000	1000	40000	2.5
134	134	26600	800	27400	2.91971
214	214	3200	100	3300	3.0303
16	16	4400	200	4600	4.34783
69	69	37100	2000	39100	5.11509
14	14	1800	100	1900	5.26316
106	106	6900	600	7500	8
131	131	10300	1200	11500	10.4348
129	129	3200	400	3600	11.1111
117	117	13200	1700	14900	11.4094
28	28	3800	500	4300	11.6279
68	68	5300	700	6000	11.6667
163	163	23700	3300	27000	12.2222
22	22	2700	400	3100	12.9032
118	118	500	100	600	16.6667
174	174	1500	500	2000	25

Figura 42. Matriz de deslizamiento (LM)

### ⌘ Matriz de susceptibilidad (SM)

Para calcular el porcentaje del área afectada por las áreas origen de los deslizamientos en cada una de las clases de factores determinantes, se crean dos columnas en la tabla LM "crossed.dbf". La primera columna corresponde al área total ocupada por cada una de las combinaciones de clases de factores determinantes seleccionados. La segunda columna es en porcentajes, el área afectada por las áreas origen de los deslizamientos en cada una de las combinaciones de clases de factores determinantes citados anteriormente. La columna "valor" de la tabla "crossed.dbf" muestra el identificador de cada combinación y coincide con el identificador "FID" en la capa "intersect.shp", donde cada combinación de factores puede ser visto en las diferentes columnas "GRIDCODE". Por medio del geoprocesamiento de las herramientas de ArcMap: "Make Feature Layer", "Add Join" and "Copy Features", el modelo vincula el SM con la capa obtenida al combinar todos los factores "intersect.shp", que tiene SM como tabla de atributos, para lograr una representación espacial del área afectada por las áreas de origen de los deslizamientos de tierra.

Es la presentación espacial del SM "Suscep\_matrix.shp" con un atributo, una tabla compuesta por columnas. En la columna "crossed\_po" el porcentaje de área afectada por las

áreas fuente que se preservan los deslizamientos en esa combinación de factores, siendo este el correspondiente al valor de susceptibilidad a deslizamientos de tierra (figura 43).

crossed_VA	crossed_N	crossed_N1	crossed_1	crossed_po
215	800	0	800	0
216	400	0	400	0
217	4700	0	4700	0
218	7000	0	7000	0
219	400	0	400	0
220	6900	0	6900	0
0	0	0	0	0
222	700	0	700	0
0	0	0	0	0
224	10500	0	10500	0
0	0	0	0	0
126	44700	100	44800	0.223214
115	37100	100	37200	0.268817
73	18800	200	19000	1.05263
120	60100	800	60900	1.31363
77	37500	500	38000	1.31579
70	20400	300	20700	1.44928
47	26700	400	27100	1.47601
58	42200	900	43100	2.08817
43	4000	100	4100	2.43902
137	39000	1000	40000	2.5
134	26600	800	27400	2.91971
214	3200	100	3300	3.0303
16	4400	200	4600	4.34783
69	37100	2000	39100	5.11509
14	1800	100	1900	5.26316
106	6900	600	7500	8
131	10300	1200	11500	10.4348
129	3200	400	3600	11.1111
117	13200	1700	14900	11.4094
28	3600	500	4300	11.6279
68	5300	700	6000	11.6667
163	23700	3300	27000	12.2222
22	2700	400	3100	12.9032
118	500	100	600	16.6667
174	1500	500	2000	25

Figura 43. Matriz de susceptibilidad a deslizamientos (SM)

## Resultados

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 de susceptibilidad varían entre 0 y 100 en cada combinación de clases de factores determinantes. Los valores obtenidos fueron visualizados por medio de 3 niveles de susceptibilidad (bajo, medio, alto) así las clases distinguidas se describen en la tabla 46.

Tabla 46  
Niveles de clasificación de susceptibilidad a deslizamientos

Susceptibilidad	Rangos
Baja	El área afectada en una combinación dada de factores determinantes se extiende entre 0 y 5%.
Media	El área afectada en una combinación dada de factores determinantes se extiende entre 5 y 25%.
Alta	El área afectada en una combinación dada de factores determinantes se extiende por encima del 25%.

Fuente: Jiménez, J (2012)

En la tabla 47, se muestra el área en hectáreas con el respectivo porcentaje en relación con cada rango de susceptibilidad, siendo un 7,89% y 7,86% del territorio con susceptibilidad alta y media respectivamente, ubicados en los flancos derecho e izquierdo del área de estudio.

Tabla 47  
*Territorio con susceptibilidad a deslizamientos*

<b>Susceptibilidad</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>Porcentaje</b>
Baja	129,86	84,25
Media	12,12	7,86
Alta	12,16	7,89

Según Jiménez, J (2008), quien cita a El Hamdouni 2001, los diferentes niveles de susceptibilidad aquí definidos se caracterizan por lo siguiente:

**Susceptibilidad baja:** los terrenos no muestran ninguna propensión natural a generar movimientos en masa de magnitud significativa, en las condiciones en que se encuentran actualmente. Se identifica en ellos alguna superficie de ruptura de orden métrico o superior.

**Susceptibilidad media:** los terrenos muestran cierta propensión natural a generar movimientos en masa de magnitud significativa aún en las condiciones en que se encuentran actualmente.

**Susceptibilidad alta:** los terrenos muestran gran propensión natural a generar movimientos en masa de magnitud significativa en las condiciones en que se encuentran actualmente e incluyen masas movilizadas abundantes y laderas residuales en condiciones muy inestables.

En base a los recorridos de campo, se observa crecimiento urbano por ello se debe prestar atención en procesos de planificación territorial, a fin de evitar construcciones en zonas de riesgo y afectación a las mismas (anexo 4. foto 2,1, 2.2 y 2.3) y tomar acciones con la población en prevención, preparación, respuesta y rehabilitación ante la presencia de eventos adversos.

En la figura 44, se observa que el flanco derecho, perteneciente a la cuenca de la laguna Yahuarcocha posee áreas con susceptibilidad alta esto se debe al tipo de cobertura vegetal que en su mayoría es herbácea, de acuerdo con el inventario de deslizamientos se evidencia que en este flanco presenta mayor concentración de deslizamientos 6 de origen natural y 8 por acciones antrópicas especialmente por apertura de vías.

El flanco izquierdo pertenece a la cuenca media del río Tahuando, presenta susceptibilidad media es decir terrenos muestran cierta propensión natural a generar movimientos en masa de magnitud significativa aún en las condiciones en que se encuentran actualmente, este flanco de acuerdo al inventario de deslizamientos tiene 3 movimientos de origen natural y 9 por acción antrópica generados por apertura de vías principalmente y por remoción de suelo para construcción de viviendas, además se encuentra un canal de riego con antecedentes de desbordamiento causado daños a una vivienda y coloca en riesgo a otras que se encuentran cerca del mismo especialmente las de la parte baja (anexo 4. foto 2.1; 2.2; 2.3; 3 y 4; anexo 3. lámina 12).

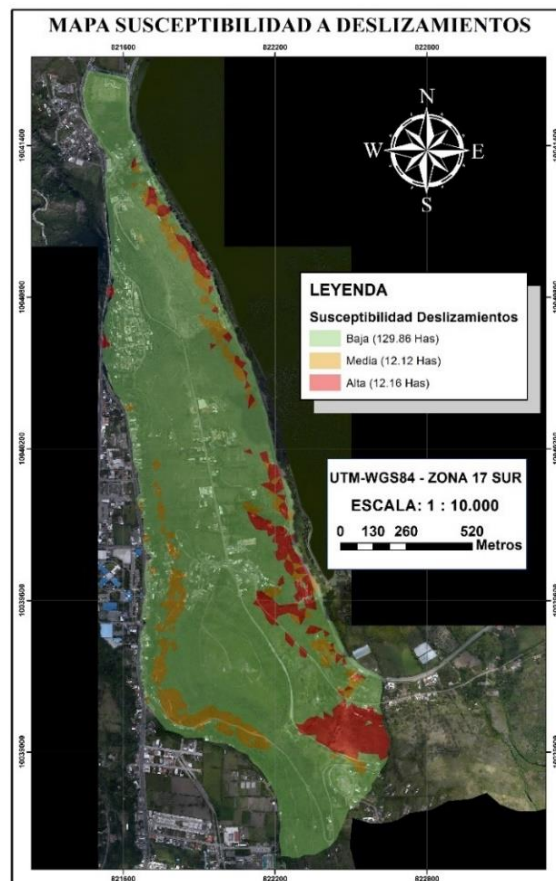


Figura 44. Distribución espacial de la susceptibilidad a deslizamientos

Los valores de susceptibilidad se refieren a la inestabilidad de la pendiente o derrumbes sin especificar el tipo de deslizamiento de tierra. Esto puede ser adecuado solo para una zonificación de susceptibilidad inicial, mientras estudios detallados sobre el tema deben considerar los valores de susceptibilidad encontrados para cada tipo de deslizamientos de tierra (Chacón, 2006) citado por Jiménez, J 2012.

#### 4.2.1.4. Validación mapa de susceptibilidad a deslizamientos

La validación se realizó a través de la matriz de confusión, utilizando el software ArcMap 10.4 y ENVI 5.3, donde se obtuvieron los siguientes resultados.

Se determina 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 (figura 45).

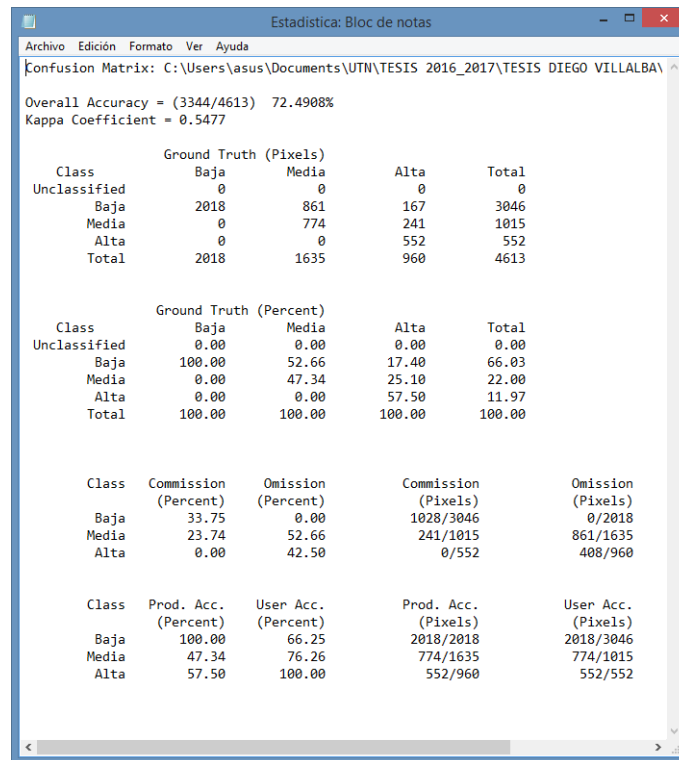


Figura 45. Resultado matriz de confusión para mapa de deslizamientos

Para el levantamiento de datos para la validación se realizó con salidas de campo para identificar áreas que permitan comparar la realidad y el mapa de susceptibilidad a deslizamientos generado por el método de la Matriz (figura 46; anexo 4. foto 7.1).

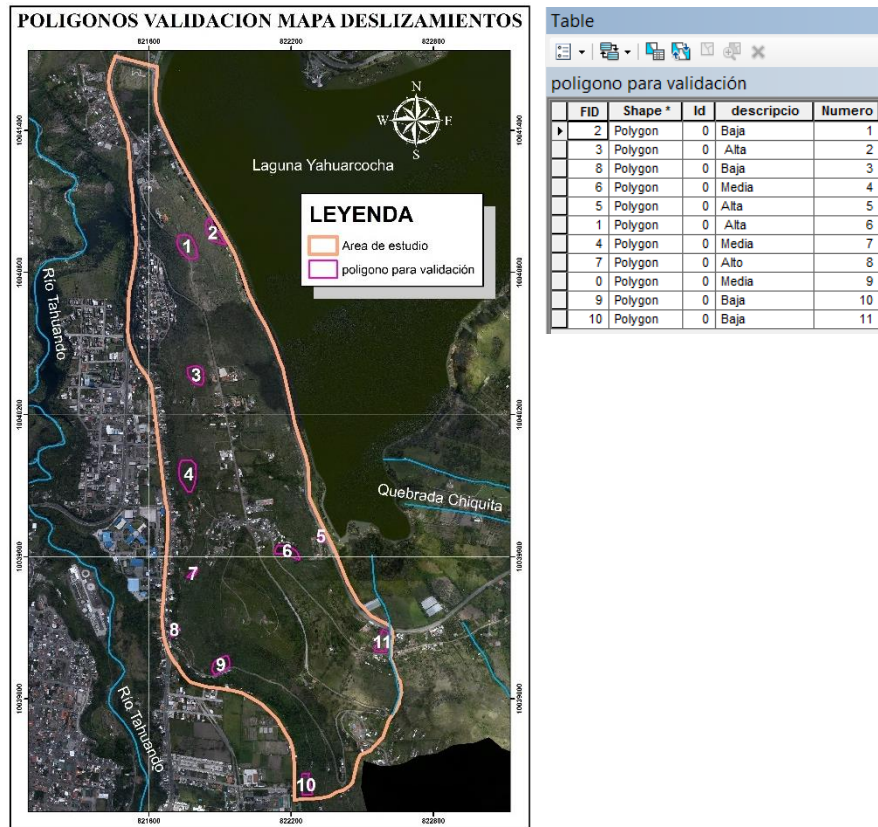


Figura 46. Polígonos levantados en campo para validación mapa susceptibilidad a deslizamientos

#### 4.2.2. Susceptibilidad a erosión

Para el análisis de susceptibilidad a erosión del suelo se utilizaron las metodologías de interferometría que es un procesamiento de imágenes multitemporal de dos DEM y USLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo).

#### 4.2.3. Método interferometría

En la figura 47, se muestra el modelo utilizado para la elaboración del mapa de susceptibilidad a erosión mediante el método de interferometría (análisis multitemporal) con la utilización del software ArcMap 10.4.



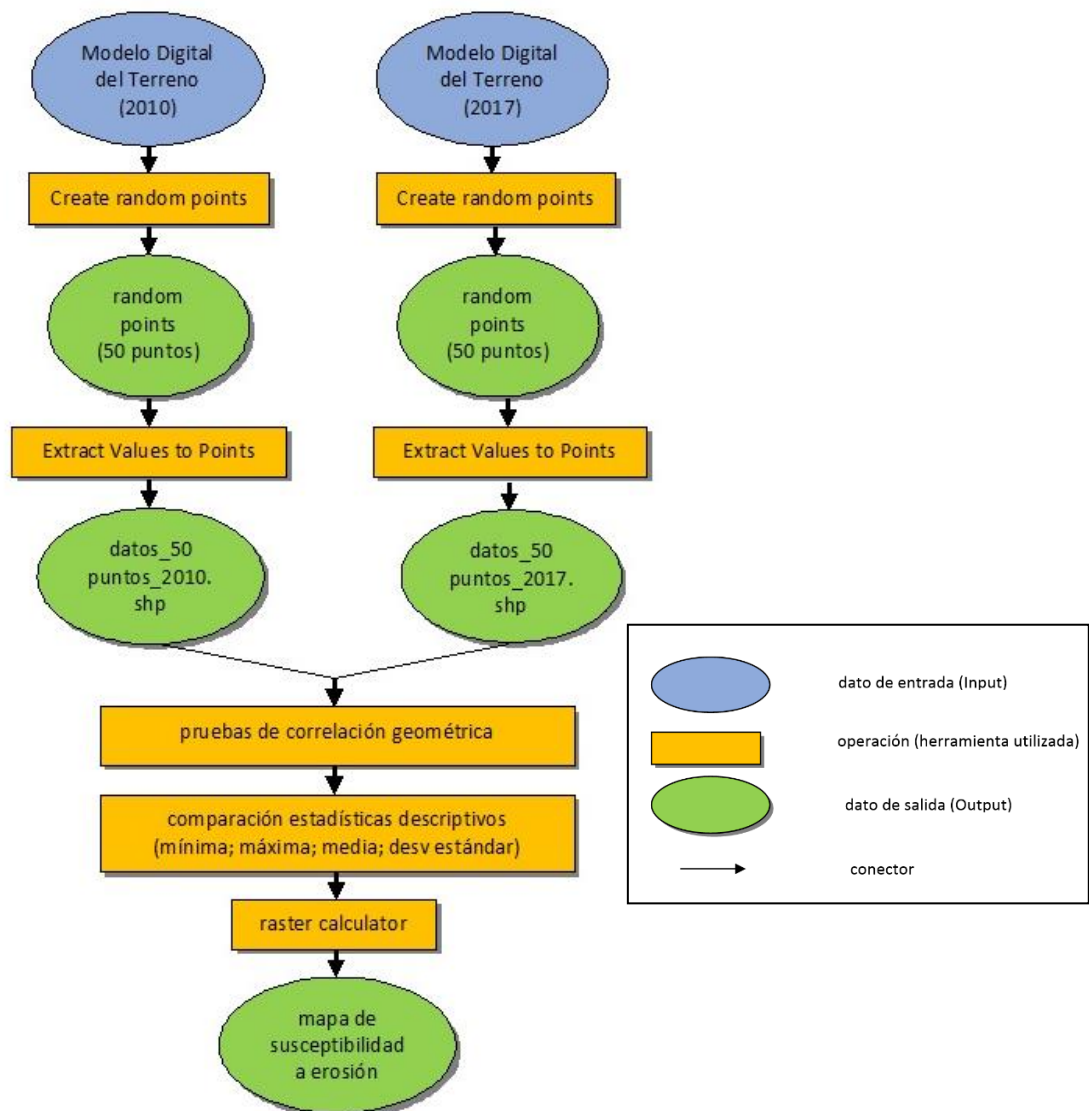


Figura 47. Modelo mapa erosión (método interferometría)

Los Modelos Digitales de Elevación (DEM) con los que se trabajó son el proporcionado por el GAD Municipal de San Miguel Ibarra, obtenido a través de tecnología LiDAR, que tiene una nube de datos LiDAR 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 (figura 48; anexo 3. lámina 13 y lámina 14).

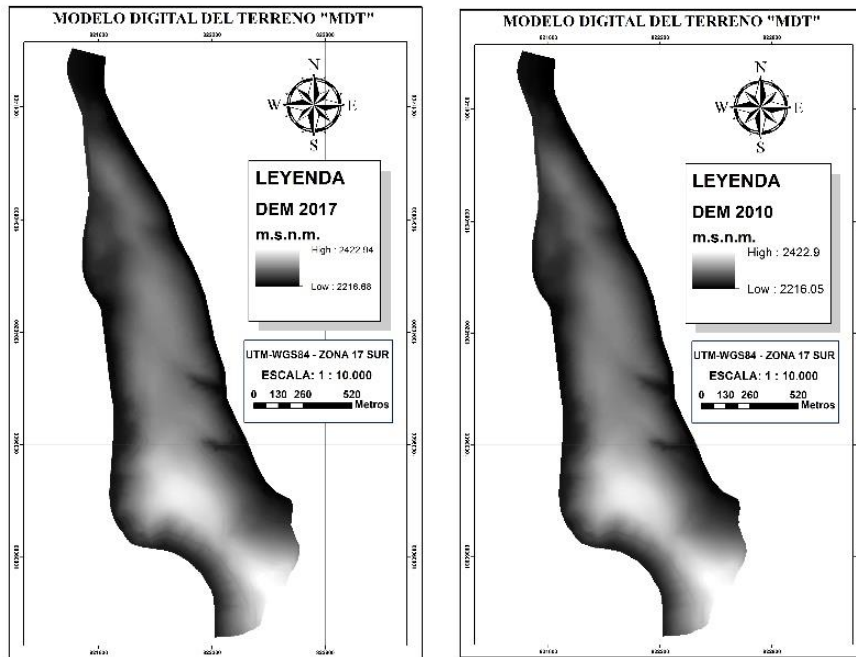


Figura 48. DEM año 2017 y 2010 utilizados para análisis de susceptibilidad a erosión

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 ArcMap se crearon los 50 puntos al azar (Chuvieco 2000), (figura 49).

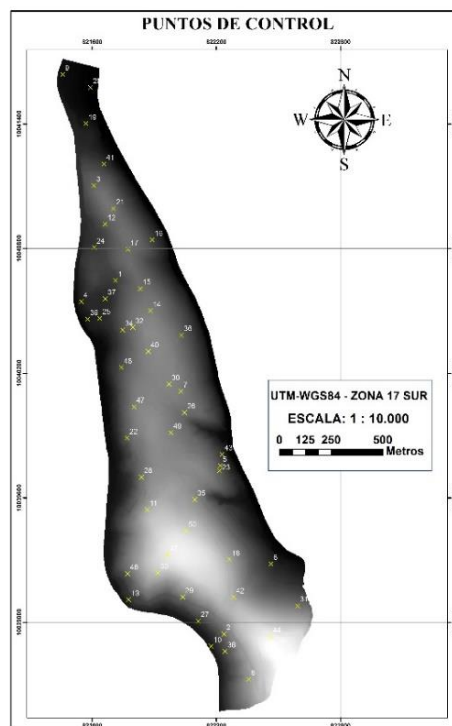


Figura 49. Puntos de control aleatorios en el DEM

Con las 50 muestras se extrae la información de altitud del Modelo Digital de Elevación (DEM) del año 2010 y 2017 (tabla 48), para realizar una prueba de correlación, se obtiene como resultado un 99 % de correlación en altitud (figura 50).

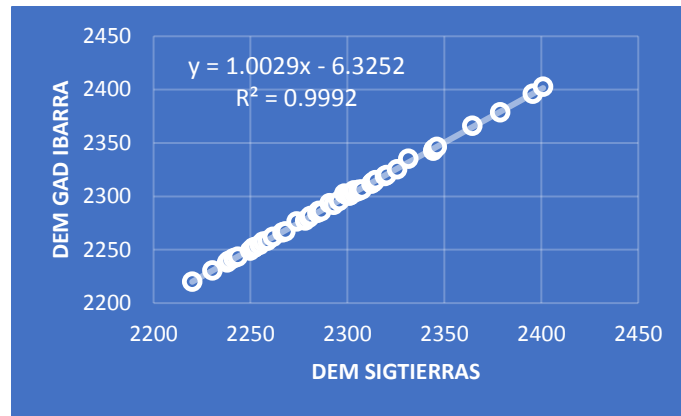


Figura 50. Correlación geométrica DEM año 2007 y 2010

Tabla 48

*Datos extraídos de los DEM 2017 y 2010*

Punto	MDT Barra	MDT Sig Tierras
1	2219.93	2219.84
2	2230.37	2230.53
3	2238.01	2237.96
4	2238.74	2239.37
5	2241.19	2241.98
6	2243.33	2243.29
7	2249.76	2249.03
8	2251.33	2251.8
9	2251.99	2251.65
10	2252.39	2252.5
11	2254.84	2254.58
12	2256.38	2257.53
13	2258.68	2258.33
14	2261.62	2262.01
15	2266.47	2266.18
16	2268.06	2267.14
17	2273.74	2276.47
18	2278.2	2277.17
19	2280.26	2280.01
20	2280.91	2281.32
21	2284.51	2284.48
22	2285.18	2286.13
23	2286.49	2286.05
24	2290.75	2293.4
25	2293.01	2291.88
26	2295.8	2295.48
27	2298.39	2302.59
28	2299.99	2300.63
29	2300.97	2300.58
30	2301.56	2300.89
31	2303.26	2303.32
32	2303.35	2305.44
33	2305.69	2304.9
34	2305.81	2306.16
35	2307.53	2306.46
36	2312.36	2311.73
37	2312.92	2312.86
38	2313.59	2313.38
39	2314.46	2315.14
40	2319.27	2318.92
41	2320.22	2319.9
42	2325.64	2325.23
43	2331.43	2335.13
44	2344.26	2342.58
45	2344.65	2344.11
46	2346.13	2346.22
47	2364.35	2366.01
48	2378.81	2378.64
49	2395.62	2396.08
50	2400.91	2402.62

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 (tabla 49).

Tabla 49

Comparación de los estadísticos descriptivos DEM 2017 vs DEM 2010

DEM Año 2017 (GAD Ibarra)		DEM Año 2010 (SIGTIERRAS)	
Min	2216,710	Min	2216,047
Max	2422,750	Max	2422,895
Media	2292,913	Media	2293,112
Desv. Estándar	47,441	Desv. Estándar	47,565

Se realizó la sustracción de información del DEM año 2017 y año 2010, utilizando la herramienta algebra de mapas del software ArcMap, obteniendo el raster con el nombre “resta” que cuenta con información de lugares específicos donde sucedió pérdida de suelo en un período de 7 años, se observa en escala de grises acumulación de suelo, áreas sin cambio y áreas donde se presentó pérdida de suelo (figura 51).

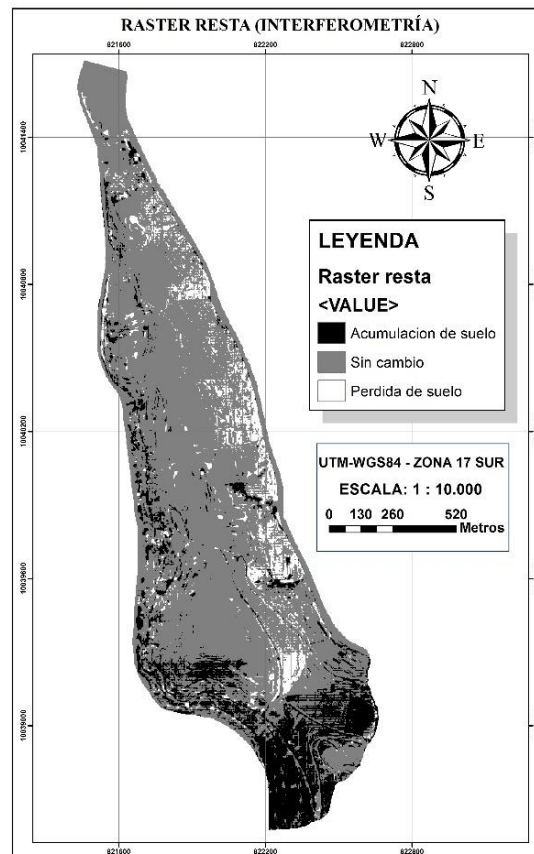


Figura 51. Raster “resta” (DEM 2017 – DEM 2010)

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.

El cálculo de la erosión se realizó por pixel, ejemplo para el año 2010 un pixel cualquiera tiene una altitud de 2235.35 m.s.n.m y el mismo pixel al año 2017 tiene una altitud de 2235.10, al realizar la sustracción ( $2235.35 - 2235.10$ ) el pixel resta posee un dato 0.25, es decir la pérdida es de 25 cm de suelo, así existirán pixeles que como resultado dará cero, identificando áreas donde no existió pérdida de suelo.

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, observando la pérdida de suelo de 0 a 11,89 metros (figura 52).

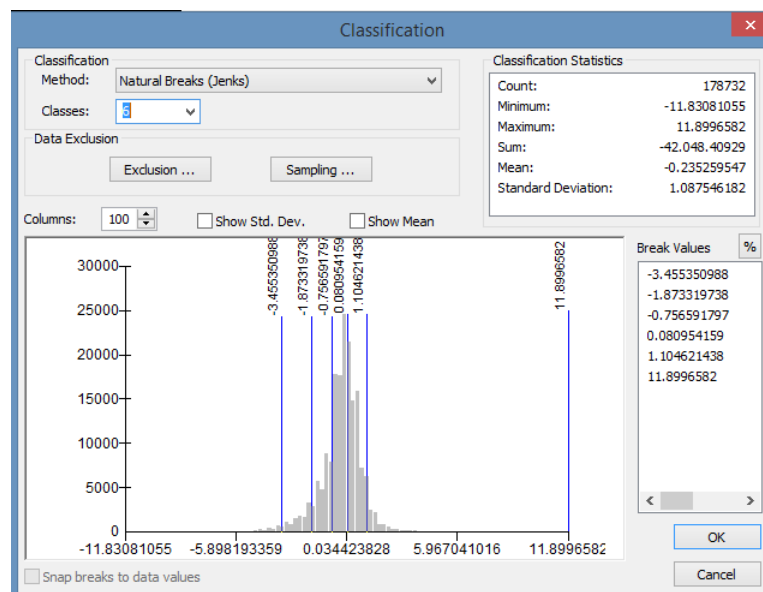


Figura 52. Clasificación de las áreas de susceptibilidad a erosión

En la tabla 50, se detalla los niveles de susceptibilidad establecidos por la FAO 1980, dentro del área de estudio un 55,57% de superficie presenta erosión normal es decir presenta una pérdida de suelo menor a 0,5 Tn/Ha/año, seguido de un 21,88% con erosión ligera y 14,53% de erosión moderada, en base a la resta de los DEM se obtiene que existió una pérdida de suelo de 181.255,15 m<sup>3</sup> en toda el área de estudio (figura 53; anexo 3. lámina 15).

Tabla 50  
Territorio con susceptibilidad a erosión (Interferometría)

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

Se puede observar 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.

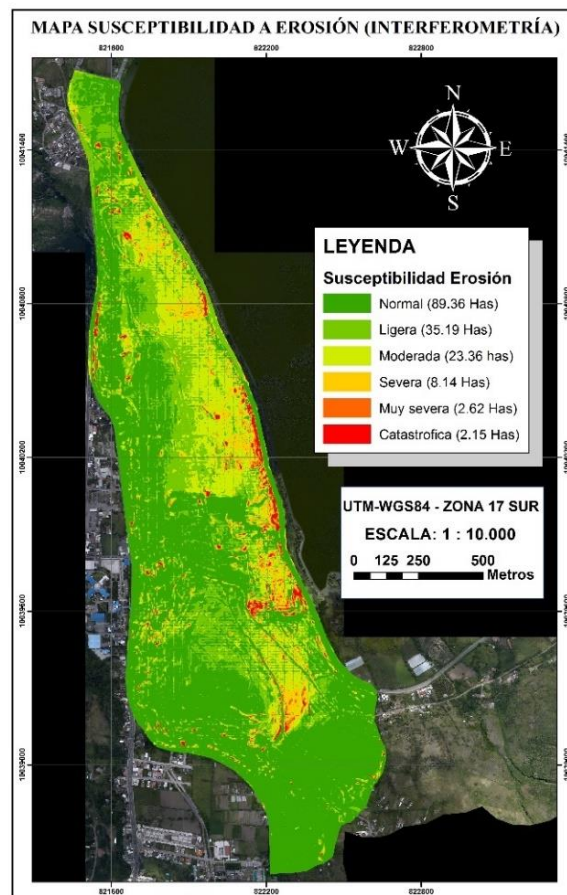


Figura 53. Distribución espacial de la susceptibilidad a erosión (interferometría)

#### 4.2.3.1. Validación mapa de susceptibilidad a erosión (interferometría)

La validación se realizó a través de la matriz de confusión, utilizando el software ArcMap 10.4 y ENVI 5.3, se determina que el mapa de susceptibilidad a erosión tiene una confiabilidad del 71,52%, lo que significa que existe concordancia entre el mapa de erosión 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 (figura 54).

Estadística Matriz Erosion INTERFEROMETRIA: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

Confusion Matrix: C:\Users\vasus\Documents\UTN\TESIS 2016\_2017\TESIS DIEGO VILLALBA\ENVI\Erosi

Overall Accuracy = (1193/1668) 71.5228%  
Kappa Coefficient = 0.5472

Class	Ground Truth (Pixels)				
	Normal	Muy Baja	Muy Alta	Media	Baja
Unclassified	0	0	0	0	0
Normal	865	0	18	3	30
Muy Baja	73	138	9	1	103
Muy Alta	5	0	29	1	0
Media	11	0	7	8	18
Baja	11	29	8	4	145
Alta	1	0	3	3	1
Total	966	167	74	20	297

Class	Ground Truth (Pixels)	
	Alta	Total
Unclassified	0	0
Normal	12	928
Muy Baja	29	353
Muy Alta	30	65
Media	32	76
Baja	33	230
Alta	8	16
Total	144	1668

Class	Ground Truth (Percent)				
	Normal	Muy Baja	Muy Alta	Media	Baja
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Normal	89.54	0.00	24.32	15.00	10.10
Muy Baja	7.56	82.63	12.16	5.00	34.68
Muy Alta	0.52	0.00	39.19	5.00	0.00
Media	1.14	0.00	9.46	40.00	6.06
Baja	1.14	17.37	10.81	20.00	48.82
Alta	0.10	0.00	4.05	15.00	0.34
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Ground Truth (Percent)	
	Alta	Total
Unclassified	0.00	0.00
Normal	8.33	55.64
Muy Baja	20.14	21.16
Muy Alta	20.83	3.90
Media	22.22	4.56
Baja	22.92	13.79
Alta	5.56	0.96
Total	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
	Normal	6.79	10.46	63/928
Muy Baja	60.91	17.37	215/353	29/167
Muy Alta	55.38	60.81	36/65	45/74
Media	89.47	60.00	68/76	12/20
Baja	36.96	51.18	85/230	152/297
Alta	50.00	94.44	8/16	136/144

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
	Normal	89.54	93.21	865/966
Muy Baja	82.63	39.09	138/167	138/353
Muy Alta	39.19	44.62	29/74	29/65
Media	40.00	10.53	8/20	8/76
Baja	48.82	63.04	145/297	145/230
Alta	5.56	50.00	8/144	8/16

Figura 54. Resultado matriz de confusión para mapa de erosión (interferometría)



Para el levantamiento de datos para la validación se realizó con salidas de campo para identificar áreas que permitan comparar la realidad y el mapa de susceptibilidad a erosión obtenido mediante el método de interferometría (análisis multitemporal) y el mapa de erosión obtenido por metodología USLE (figura 55; anexo 4. foto 7.2).

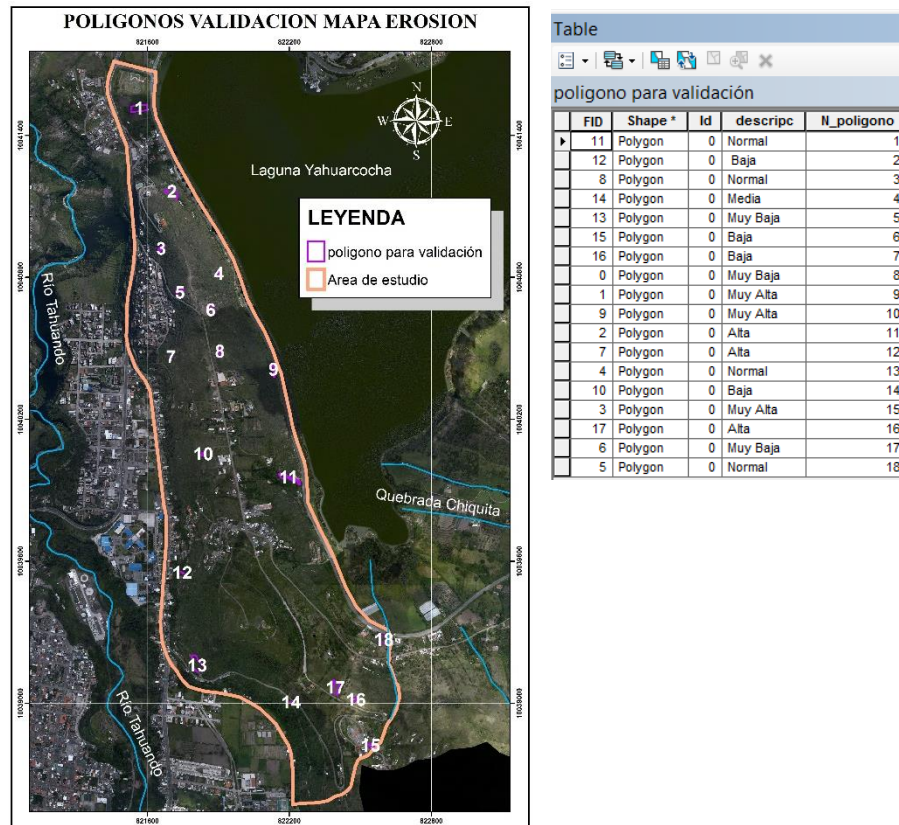


Figura 55. Polígonos levantados en campo para validación mapas susceptibilidad a erosión

#### 4.2.4. Método USLE

USLE es un método empírico de análisis de factores para estimar la erosión del suelo, desarrollada para predecir pérdidas de suelo promedio anual por hectárea, debidas a erosión laminar, en áreas agrícolas (Wischmeier & Smith, 1978), estos representan la erosividad de las precipitaciones (R), la erodabilidad del suelo (K), la topografía del paisaje descrito por la longitud (L), inclinación del terreno (S), la cubierta vegetal (C) y finalmente las prácticas de manejo (P) (Renard et al., 1994) citado por Campaña F, 2015, se aplicó el siguiente modelo para obtener el mapa de susceptibilidad a erosión (figura 56).

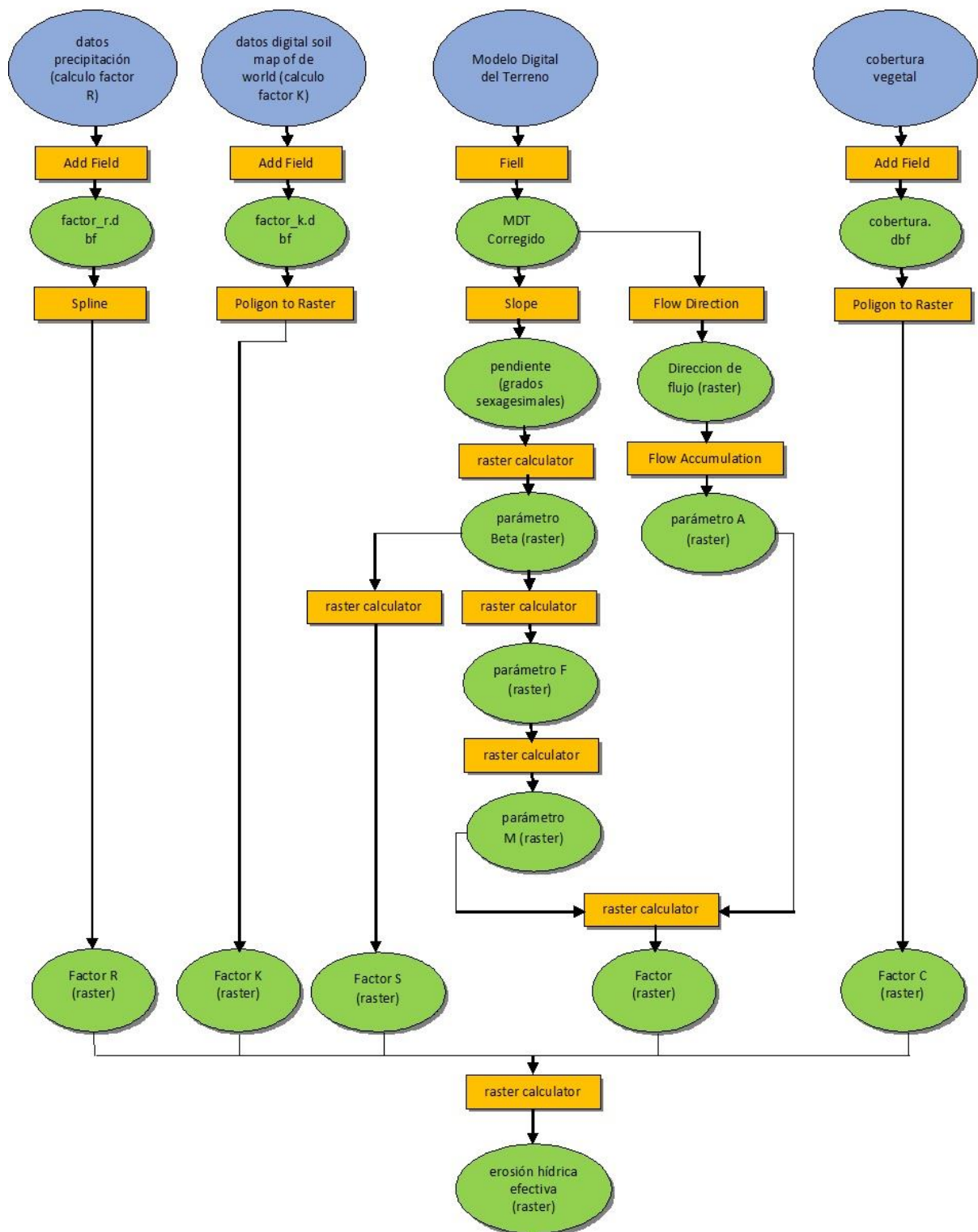


Figura 56. Modelo mapa erosión (USLE)

Los datos de entrada para el análisis que se utilizó fueron los valores de precipitación de la estación meteorológica de la Universidad Católica sede Ibarra, información edáfica de la FAO, obtenida del digital soil map of the world, información de cobertura vegetal levantada en base

al análisis de la ortofoto georeferenciada a escala 1:1.000 año 2017, el Modelo Digital de Elevación (DEM) con una densidad LiDAR promedio 8 puntos/m<sup>2</sup> y espaciado medio entre puntos 0,36 m con 1 metro de resolución año 2017 y el límite del área de estudio.

La información cartográfica digital usada para determinar los factores del modelo USLE, se encuentran en el sistema de referencia espacial UTM WGS 84 zona 17S.

Para el cálculo de la pérdida de suelo se analizaron los siguientes factores:

#### 4.2.4.1. Factor R, erosión pluvial

Para el cálculo del factor R se utilizó el índice de Fournier modificado IFM (1978) cuya fórmula es la siguiente:

$$IMF = \frac{\sum_{i=1}^{12} (p_i)^2}{P}$$

$\swarrow$  Precipitación del mes i (mm), en el año j  
 $\searrow$  Precipitación media anual (mm)

Índice de Agresividad Climática

Los datos de precipitación para el respectivo cálculo se obtuvieron del anuario agroclimático del 2016 primera edición, PUCE-SI, donde se encuentran los datos de precipitación del año 2009 al 2015 y del acercamiento formal hacia la Universidad Católica Sede Ibarra, obteniendo los datos del año 2016 y 2017, datos generados por la estación meteorología ubicada en su campus, situada cerca del área de estudio.

En la tabla 51, se observa los datos utilizados para el cálculo del factor R mediante la utilización de la fórmula del índice modificado de Fournier IMF, misma que reemplaza a la fórmula original de la ecuación USLE, obteniendo un resultado de 50,30 J.m<sup>-2</sup>.cm.hora<sup>-1</sup>

Tabla 51  
 Datos de precipitación para cálculo del factor R

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ACUMULADA	MEDIA ANUAL	P2	INDICE DE FOURNIER MODIFICADO
2009	2.79	3.24	8.98	5.71	1.08	3.23	0.46	0.70	3.45	6.39	6.52	5.03	47.58	3.96	264.29	66.66
2010	1.63	1.97	3.14	7.25	7.78	5.07	4.86	2.78	4.68	3.31	7.28	3.83	53.59	4.47	287.14	64.30
2011	3.30	3.63	2.91	5.90	8.43	2.13	1.95	1.16	3.09	4.87			37.37	3.74	181.30	48.52
2012	4.06	4.64	2.23	3.60	0.88	0.54	1.00	0.65	0.50	2.23	1.50	1.68	23.52	1.96	68.76	35.09
2013	1.17	3.60	2.15	7.67	3.67	0.75	1.31	0.93	1.44	3.10	2.33	6.03	34.15	2.85	147.85	51.95
2014	7.24	1.00	3.10	2.12	7.49	1.87	0.64	0.93	4.00	5.64	4.97	3.83	42.84	3.57	215.66	60.41
2015	4.97	1.58	3.71	3.65	1.70	1.45	1.71	0.80	2.10	4.60	3.75	0.63	30.65	2.55	102.84	40.27
2016	4.69	0.55	3.34	5.83	0.70	0.44	0.44	0.62	1.45	4.47	2.44	3.32	28.30	2.36	107.79	45.71
2017	4.43	1.81	3.33	3.73	3.73	2.02	1.30	1.55	4.68	1.95	2.07	3.73	34.32	2.86	113.85	39.80
MEDIA MES	3.81	2.45	3.66	5.05	3.94	1.94	1.52	1.12	2.82	4.06	3.86	3.51			IMF=	50.30

Fuente: Anuario agroclimático 2009-2015

Para el cálculo de R mediante SIG, el resultado obtenido con la aplicación de la fórmula IMF, se incorporan en un nuevo campo de la tabla de atributos donde a la estación pluviométrica se le asigna el valor de R calculado en base a sus datos de precipitación, a continuación, al polígono del área de estudio se realiza un buffer para contar con una área de recorte, se utiliza la herramienta Spline ubicada en Interpolation para obtener las isotermas, se realiza un recorte con la herramienta Clip entre el raster obtenido de la interpolación con el polígono del área de estudio, obteniendo así el raster factor R (figura 57).

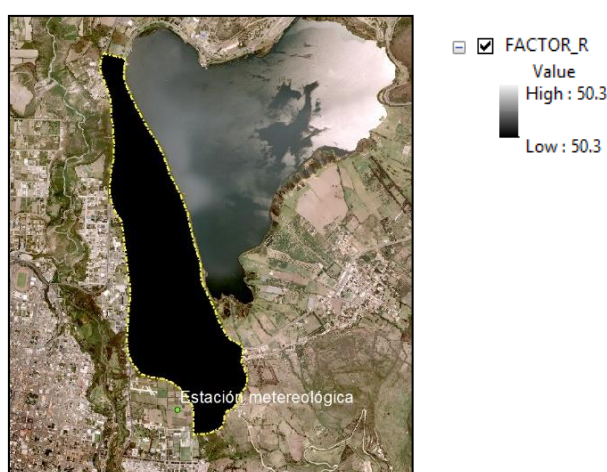


Figura 57. Raster factor R

#### 4.2.4.2. Factor K, erosionabilidad del suelo

El cálculo del factor K, se realizó aplicando la fórmula de Williams, considerando las funciones que están en base a la concentración de arena, limo, arcilla y carbono orgánico, cuya fórmula se describe:

$$K = 0.1317(f_{csand} \times f_{cl-si} \times f_{orgc} \times f_{hisand})$$

**Donde:**

K: erosionabilidad del suelo

$f_{csand}$ : Arena

$f_{cl-si}$ : Arcilla y lino

$f_{orgc}$ : carbono orgánico

$f_{hisand}$ : Limo

Fórmulas para encontrar las funciones para cada concentración:

$$f_{csand} = \left( 0.2 + 0.3 \exp \left[ -0.0253 m_s \left( 1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right)$$

$$f_{cl-si} = \left( \frac{m_{sil}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0.3}$$

$$f_{orgc} = \left[ 1 - \frac{0.25 orgc}{orgc + \exp(3.72 - 2.95 orgc)} \right]$$

$$f_{hisand} = \left[ 1 - \frac{0.25 \left( 1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left( 1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp \left[ -5.51 + 22.9 \left( 1 + \frac{m_s}{100} \right) \right]} \right]$$

Para el cálculo de estas fórmulas se utilizó, información proporcionada por la FAO, desde su página web <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=14116>, donde se encuentra el digital soil map of the world, una vez realizada la respectiva descarga, con el software ArcMap 10.4, se recorta el área de interés para realizar el cálculo, se traslada los datos de interés de la tabla de atributos (% Arena (Sand); % Limo (Slit); % Arcilla (Clay); % Contenido Orgánico) a una hoja de cálculo excel para realizar la aplicación de las fórmulas citadas para el cálculo de las funciones de concentración y posteriormente del factor K (tabla 52).

Tabla 52

Cálculo factor K

Soil unit symbol	% Arena (Sand)	% Limo (Slit)	% Arcilla (Clay)	% Contenido Orgánico	$f_{csand}$ Arena	$f_{cl-si}$ (Limo-arcilla)	$f_{orgc}$ (carbono orgánico)	$f_{hisand}$	K
TM	31,2	39,6	29,2	3,95	0,38623495	0,84728989	0,75002271	1	0,03232539

En la tabla de atributos se crea un campo para incorporar el valor obtenido del factor K para cada tipo de suelo, luego convertimos el polígono a raster utilizando la herramienta Polígono to Raster, para determinar así el factor K (figura 58).

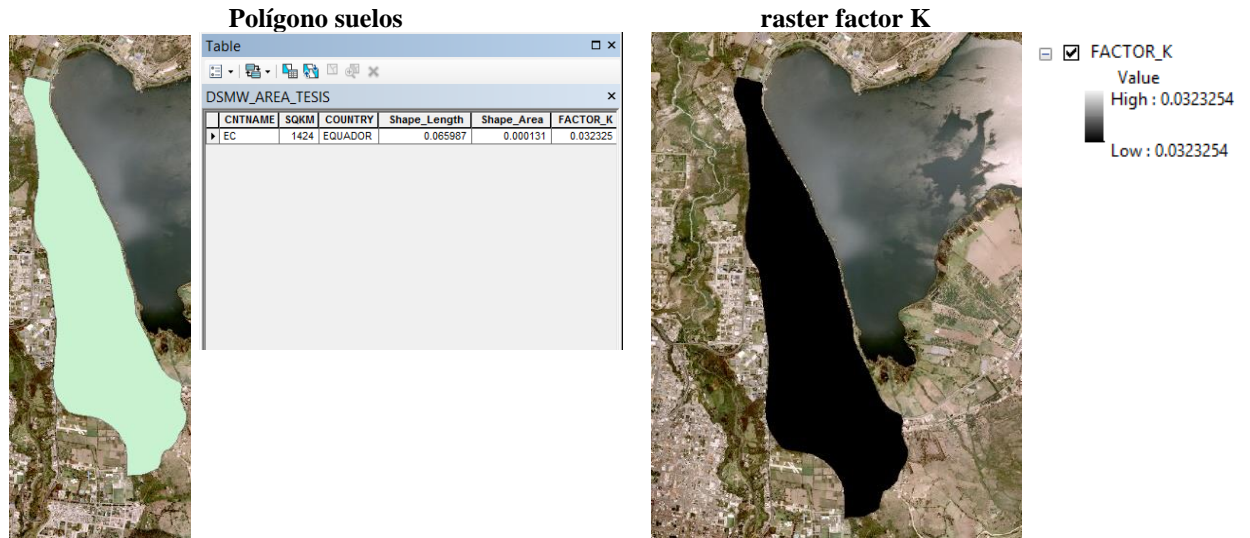


Figura 58. Raster factor K

#### 4.2.4.3. Factor L, erodabilidad

Para el cálculo de este factor se aplica la fórmula de Foster

$$L = \left( \frac{\lambda}{22.13} \right)^m \quad m = \frac{F}{1 + F} \quad F = \frac{\text{sen}(\beta)/0.0896}{3(\text{Sen } \beta)^{0.8} + 0.56}$$

**Donde:**

L: factor erodabilidad

$\lambda$ : longitud (metros)

m: exponente influenciado principalmente por la interacción entre la longitud y la pendiente.

Con la ayuda de ArcMap 10.4, se aplica la fórmula de Desmet, Gober y Velásquez, 2008, para calcular el factor L.

$$L_{(i,j)} = \frac{[A_{(i,j)} + D^2]^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m D^{m+2} (22.13)^m}$$

**Donde:**

$\beta$ : pendiente a nivel de Pixel (Ra) – GS\*0.1745

A: acumulación del Flujo a nivel de Pixel

D: lado del Píxel

x: coeficiente de Forma (x = 1)

Para calcular L mediante SIG, se debe contar con varios parámetros en formato raster (figura 59), se inicia con el cálculo de  $\beta$ , con el DEM se procede a calcular la pendiente, para ello se realiza una corrección del DEM, con la herramienta Fill ubicada en Hydrology, una vez corregido se calcula la pendiente en grados sexagesimales, utilizando la herramienta Slope, con la herramienta Raster Calculator, se ingresa la siguiente expresión algebraica (raster pendiente en grados sexagesimales\*0.1745) se convierte de grados sexagesimales a radianes para obtener el raster  $\beta$ .

Con la herramienta Raster Calculator se calcula el flujo “F” y m aplicando la fórmula citada anteriormente.

Para cálculo de acumulación del flujo a nivel de píxel “A” se utilizó el DEM corregido, con la herramienta Flow Direction primeramente se calculó la dirección del flujo, luego se calculó la acumulación de flujo con la herramienta Flow Accumulation. El valor de lado del píxel “D” es de 1 y del coeficiente de forma “x” es de 1.

Para calcular el factor L, se aplicó la fórmula utilizando Raster Calculator, para facilidad de cálculo se realizó el cálculo del numerador y luego de denominador, para luego calcular la fórmula en su totalidad.

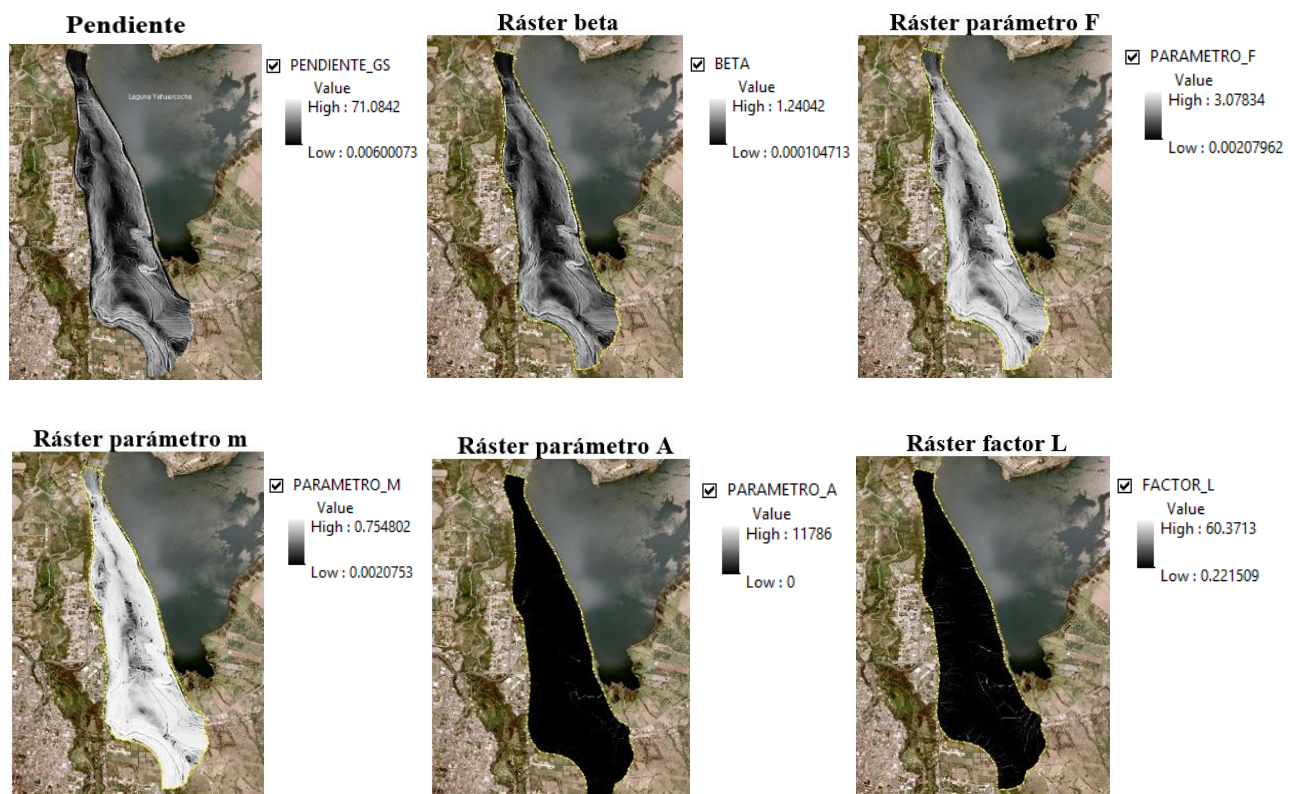


Figura 59. Raster de parámetros para cálculo del factor L

#### 4.2.4.4. Factor S, pendiente factor topográfico

Se ha señalado que el efecto del gradiente de la pendiente es sobreestimado para USLE, en laderas pronunciadas (Hart, 1984), por lo que es recomendable aplicar la ecuación propuesta por McCool et al (1987) para pendientes mayores a 9% (Escobar, 1995).

Para el cálculo del factor S se utilizó la fórmula de McCools, con condiciones que indican:

Cuando  $Tan(\beta_{(i,j)}) < 0.09$

$$S_{(i,j)} = 10.8 * Sen(\beta_{(i,j)}) + 0.03$$

y cuando

Cuando  $Tan(\beta_{(i,j)}) \geq 0.09$

$$S_{(i,j)} = 16.8 * Sen(\beta_{(i,j)}) - 0.5$$

Como ya se cuenta con algunos parámetros calculados como  $\beta$ , con la herramienta Raster Calculator se ingresa las condicionantes para el cálculo del factor S, obteniendo el raster del factor S (figura 60).

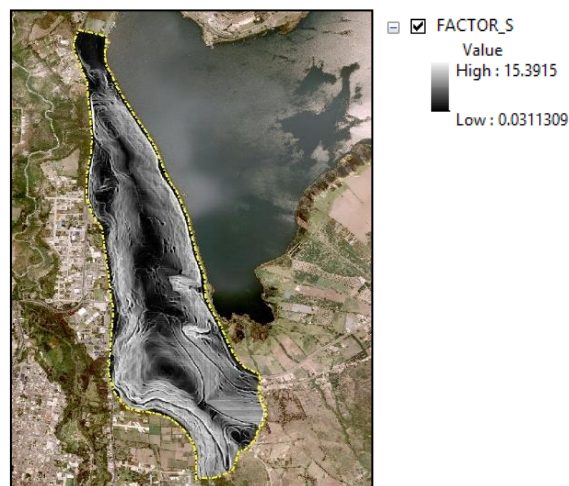


Figura 60. Raster factor S

#### 4.2.4.5. Factor C, cobertura vegetal

Para el cálculo de C, se realizó la clasificación de la cobertura vegetal sobre la ortofoto del año 2017, donde se consideraron factores para cada cobertura vegetal (tabla 53).

Tabla 53  
Factores de cobertura vegetal para el cálculo del factor C



Cobertura	Factor	Fuente
Área urbana	0,0065	Catie 2003
Matorral denso	0,003	Catie 2003
Matorral claro	0,1	Catie 2003
Potrero degradado	0,16	Lianes 2009
Sin cobertura	1	FAO 1989

En la tabla de atributos se crea un campo para incorporar el valor del factor para cada tipo de cobertura detallada en la tabla 53, se procede a convertir el polígono a raster utilizando la herramienta Polygon to Raster, para obtener el raster del factor C (figura 61).

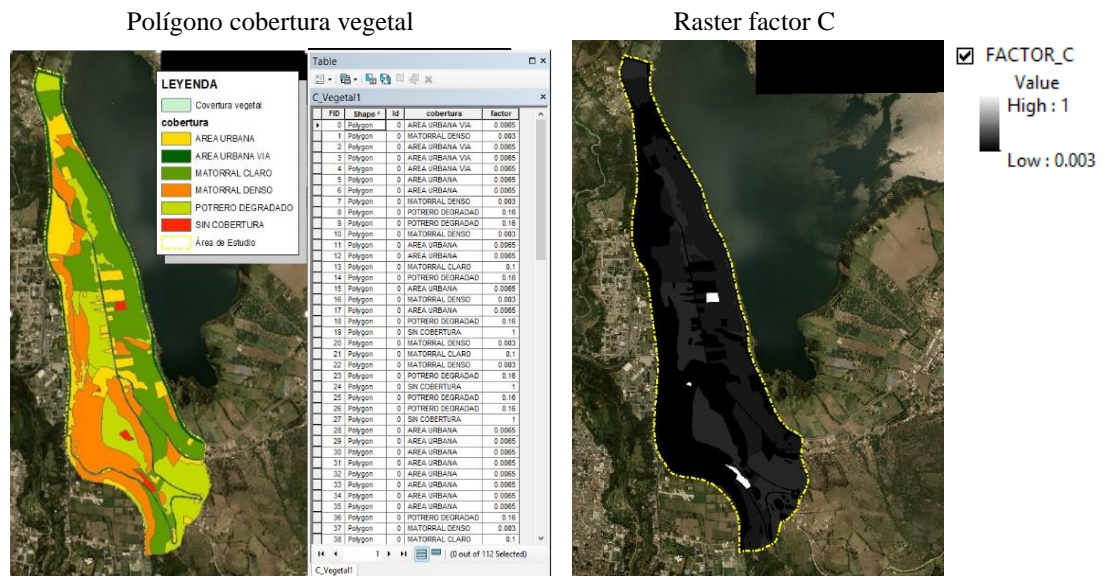


Figura 61. Raster factor C

#### 4.2.4.6. Factor P, prácticas de conservación de suelo

Para el cálculo del factor P, correspondiente a prácticas de conservación de suelo se dio el valor de 1, considerando que en la actualidad la población dentro del área de estudio cambio sus actividades económicas de agrícolas a trabajos remunerados en instituciones públicas y privadas en su mayoría, por ello la actividad agrícola ha disminuido significativamente.

#### 4.2.4.7. Cálculo de la erosión hídrica

Una vez calculados los factores R, K, L, S, C, P utilizando la herramienta Raster Calculator se realizó la multiplicación de estos, con ello se obtiene la erosión hídrica efectiva, se procede a reclasificar el raster obtenido tiene un tamaño de celda de 3 (figura 62).

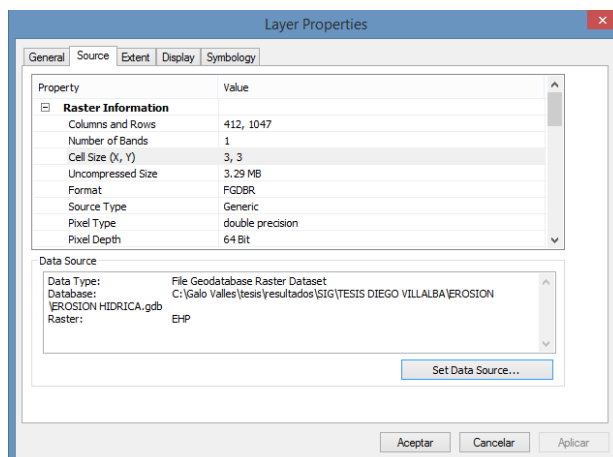


Figura 62. Propiedades de raster erosión hídrica

El mapa de erosión se lo clasificó en 6 niveles, considerando la pérdida de suelo en Tn/Ha/año (tabla 54), realizando el análisis de mapa de erosión a través del método USLE, se obtiene que un 67,93% del área de estudio presenta una erosión normal es decir una pérdida de suelo menor a 0,5 Tn/ha/año, seguido de un 18,99% por erosión ligera áreas con pérdidas de suelo entre 0,5 a 5 Tn/Ha/año (figura 63; anexo 3. lámina 16).

Tabla 54  
Territorio con susceptibilidad a erosión (USLE)

Susceptibilidad	Pérdida de suelo (Tn/Ha/Año) (FAO, 1980)	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Normal	< 0,5	109,32	67,93
Ligera	0,5 – 5	30,56	18,99
Moderada	5 – 15	10,50	6,52
Severa	15 – 50	7,80	4,85
Muy severa	50 – 200	2,72	1,69
Catastrófica	> 200	0,03	0,02

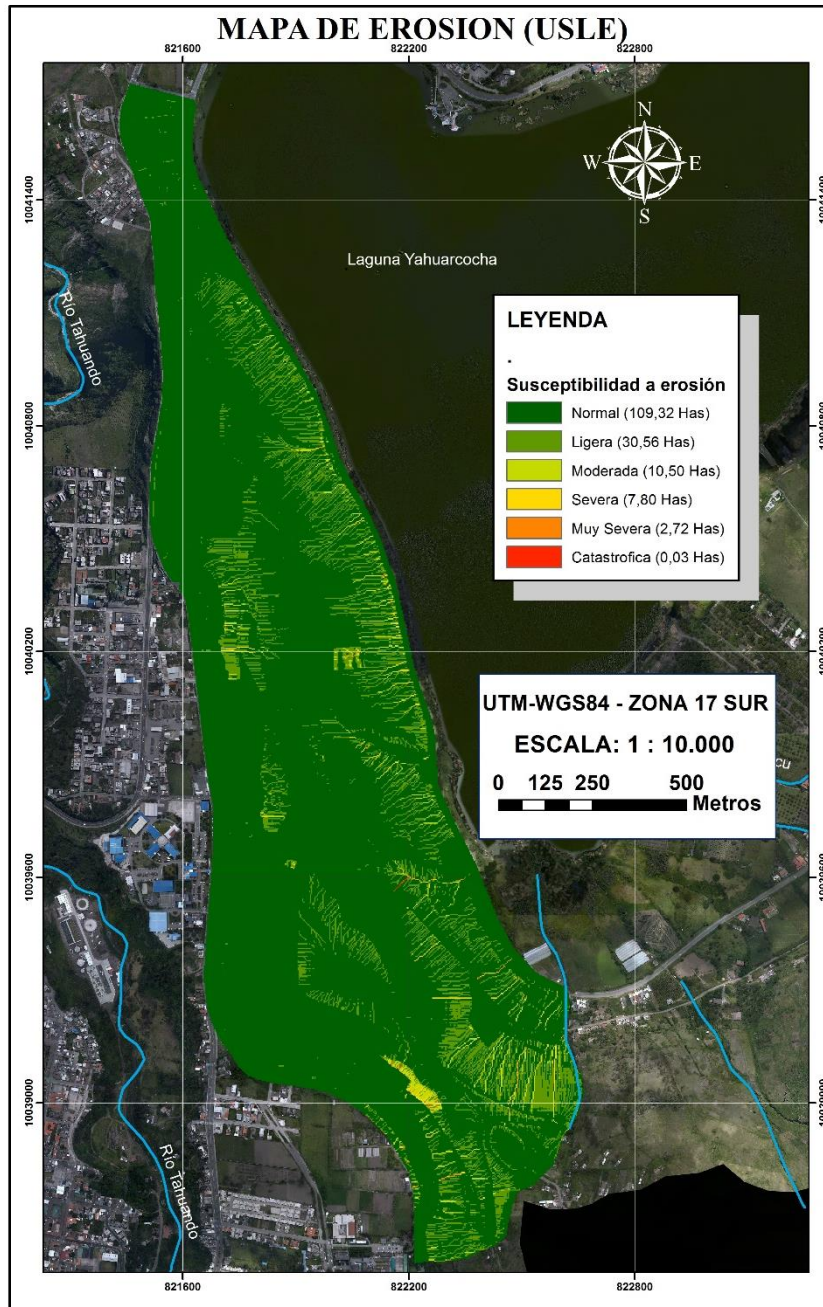


Figura 63. Distribución espacial de susceptibilidad a erosión (USLE)

#### 4.2.4.8. Validación mapa de susceptibilidad a erosión (USLE)

La validación se realizó a través de la matriz de confusión, utilizando el software ArcMap 10.4 y ENVI 5.3, 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 de acuerdo con su valoración tiene una fuerza de concordancia leve (figura 64).

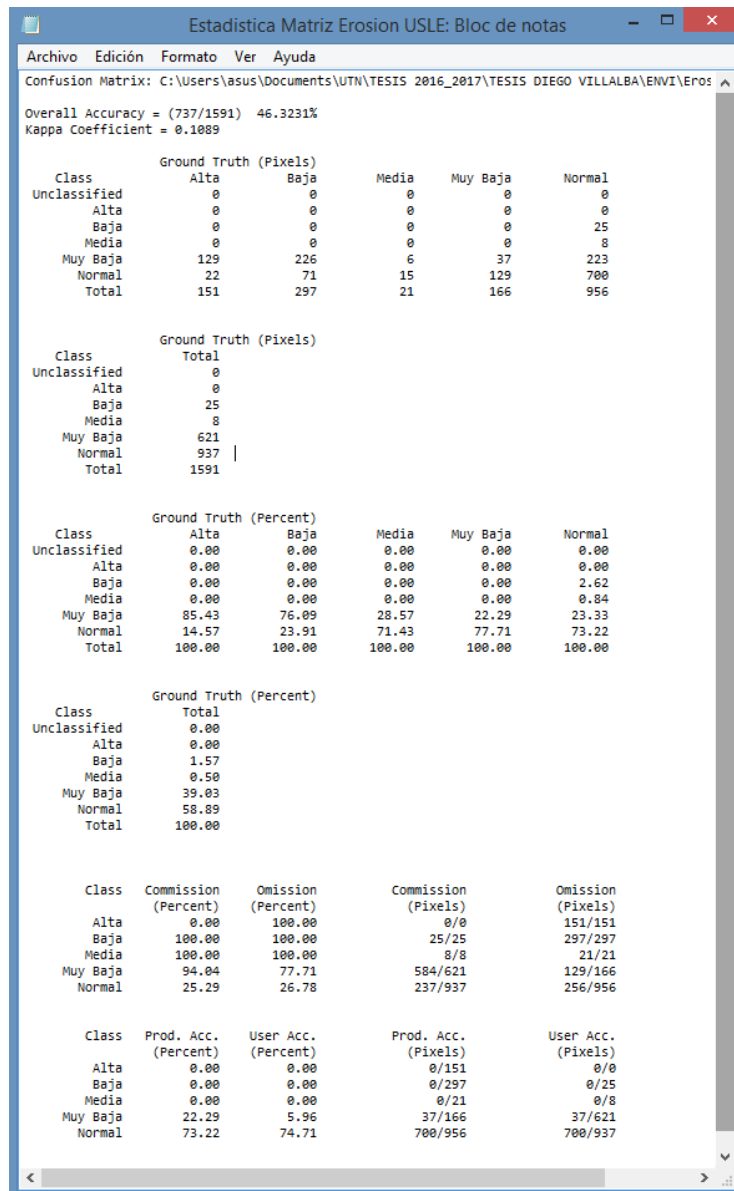


Figura 64. Resultado matriz de confusión para mapa de erosión (USLE)

### 4.3. Medidas de prevención y mitigación ante riesgos de erosión y fenómenos de remoción en masa

En base a los resultados del análisis socio económico, mapas de susceptibilidad a deslizamientos y erosión del suelo, se decidió organizar propuestas orientadas 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.

#### **4.3.1. Medidas propuestas para prevención y mitigación ante deslizamientos**

##### **4.3.1.1. Fortalecimiento de capacidades locales para la gestión del riesgo**

**Justificación:** Considerando los resultados de la encuesta y las observaciones realizadas en las salidas de campo, se determina que la población encuestada en un 70% es vulnerable al impacto por deslizamientos, esto en base al análisis de los tipos de vulnerabilidad social, educativa, física, económica, ambiental, organizacional, cultural, de los análisis realizados solo un 16% de la población ha realizado acciones dentro del hogar para la prevención y preparación ante la ocurrencia de un evento adverso, el 36% de la población tiene una percepción que se producirá un impacto alto al presentarse un deslizamiento, población que en su mayoría está asentada en las zonas de pendiente dentro del área de estudio, es decir la población tiene baja capacidad de repuesta al presente un evento adverso, además el mapa de susceptibilidad a deslizamientos muestra que las áreas con susceptibilidad media y alta se encuentran en los flancos derecho e izquierdo del área de estudio donde se observa viviendas, por ello la importancia de la ejecución de esta medida planteada.

**Objetivo:** Fortalecer las capacidades locales en gestión de riesgos de la población para la prevención, preparación, respuesta y rehabilitación ante la presencia de eventos adversos.

##### **Resultados esperados:**

- ✓ Conformación de comités locales y brigadas de gestión de riesgos.
- ✓ Población capacitada en autoprotección, evacuación, prevención de incendios, seguridad, primeros auxilios (otros que se establezca en coordinación con la población).
- ✓ Implementación de señalética, identificación de rutas de evacuación y puntos de encuentro.
- ✓ Identificación de albergues a través de las instituciones responsables.
- ✓ Ejecución de campañas orientadas a difundir medidas preventivas ante deslizamientos y otros eventos adversos que se prioricen, para crear en la población una cultura de prevención.
- ✓ Elaboración de planes comunitarios de gestión de riesgos bajo la asesoría de instituciones responsables.

#### **4.3.1.2. Infraestructura para mitigación y prevención de deslizamientos**

**Justificación:** El marco legal, detallado en el numeral 2.3, entre las principales la Constitución de la República del Ecuador art. 389, la COOTAD art. 140, COPLAFIP art. 64, en base al mapa de susceptibilidad a deslizamientos donde se identifican las áreas con propensión natural a generar movimientos en masa, las cuales están ubicadas cerca de las áreas que actualmente se observa crecimiento urbano y considerando el inventario de deslizamientos realizado donde se identificaron 26 movimientos en masa de los cuales 17 de estos se generaron por incidencia antrópica especialmente por apertura de vías, por ello la importancia de ejecutar obras de infraestructura para mitigar y prevenir daños por deslizamientos y salvaguardar la integridad de la población.

**Objetivo:** Ejecutar obras de infraestructura para mitigar y prevenir deslizamientos en el área de estudio.

#### **Resultados esperados:**

- ✓ Estudio técnico para identificar taludes con mayor inestabilidad y proponer las medidas pertinentes para estabilización de estos. Vía panamericana (sector la Quinta del Olivo y barrio Santa Marianita del Olivo) y calle Fernando Rielo vía Arcángel.
- ✓ Estudio técnico al canal de riego para determinar la factibilidad de reubicación o proceso de embovedado con el fin de reducir riesgo de taponamiento y generación de flujos de lodo que afecten a la zona baja del canal donde se encuentra infraestructura pública y privada.

#### **4.3.1.3. Fortalecimiento de los marcos legales locales**

**Justificación:** Dentro del área de estudio se observa viviendas en zonas de pendiente y crecimiento urbano por ello se debe prestar atención en procesos de planificación territorial, a fin de evitar construcciones en zonas de riesgo. La normativa legal vigente, entre ellas la Constitución de la República del Ecuador y el Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización COOTAD, establecen que se debe trabajar en gestionar los riesgos dentro del territorio, es decir en aspectos de prevención, preparación, respuesta y

rehabilitación, de allí la importancia de contar con herramientas que incorporen a la gestión de riesgos como eje transversal, en los procesos de desarrollo de un territorio.

**Objetivo:** Fortalecer marcos legales locales, en base a los estudios técnicos para regular y controlar los asentamientos humanos en zonas de riesgo.

**Resultados esperados:**

- ✓ Fortalecimiento de la variable gestión de riesgo en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial cantonal “PD y OT” en base a estudios técnicos para propiciar condiciones adecuadas para el acceso a un hábitat seguro y reducir la vulnerabilidad de las poblaciones ante las amenazas como deslizamientos y otras que en base a estudios técnicos se determinen.
- ✓ Ordenanza fortalecida y sustentada con estudios técnicos para regular y controlar asentamientos humanos en zonas de riesgo a deslizamientos.

**4.3.1.4. Desarrollo de investigación científica y divulgación de la información para el análisis de amenazas, vulnerabilidades y riesgo a deslizamientos**

**Justificación:** El desarrollo de conocimiento a través de la investigación, tecnología y la innovación son esenciales para la producción de bienes y servicios orientados a satisfacer las necesidades del país, contar con sustentos técnicos que permitan tomar decisiones articuladas al desarrollo y fortalecimiento de los procesos de planificación y ordenamiento territorial, priorizando la inclusión socioeconómica de la población y la sostenibilidad ambiental.

**Objetivo:** Realizar investigación científica y divulgación de la información con el fin de generar base técnica para toma de decisiones en relación con fenómenos de remoción en masa.

### **Resultados esperados:**

- ✓ Convenios entre Universidades y las Instituciones responsables de la gestión del riesgo en el territorio para realizar estudios detallados sobre amenazas, vulnerabilidades y riesgos ambientales.
- ✓ Eventos de capacitación y difusión de la información de los estudios realizados.
- ✓ Entrega formal de estudios a instituciones responsables de la gestión de riesgos para fortalecer las capacidades técnicas y cuenten con insumos para la toma de decisiones.

### **4.3.2. Medidas propuestas para prevención y mitigación ante erosión**

#### **4.3.2.1. Reforestación y revegetación con especies nativas**

**Justificación:** Los procesos erosivos, afectan las condiciones de suelo e influye en la productividad de la tierra, de acuerdo al mapa de susceptibilidad a erosión tanto por el método de interferometría como USLE, indican que existe erosión dentro de área de estudio especialmente en el flanco derecho que pertenece a la cuenca de la laguna Yahuarcocha, el resultado mediante el método de interferometría indica que existió una pérdida de suelo de 181.255,15 m<sup>3</sup> en toda el área de estudio en 7 años, la cobertura vegetal cumple un papel importante dentro de la protección del suelo y la reducción de la erosión, por ello es importante considerar la ejecución de la medida propuesta, con el involucramiento directo de las instituciones responsables de ejecutar la política de conservación de suelos.

**Objetivo:** Incrementar y mantener la vegetación natural del área de estudio, para reducir la pérdida de suelo a través de procesos participativos.

### **Resultados esperados:**

- ✓ Participación de la población en los procesos de reforestación y revegetación con especies nativas.
- ✓ Áreas erosionadas reforestadas y revegetadas con especies nativas y adaptadas a la zona.
- ✓ Reducir la pérdida de suelo en las áreas erosionadas.



#### **4.3.2.2. Recuperación del suelo para la implementación de huertos familiares como medida de adaptación al cambio climático**

**Justificación:** Un huerto familiar bien realizado tiene posibilidades de suministrar alimentos a la familia, además de ser una práctica para conservar los suelos, donde se controla su degradación física, química y biológica, dentro del área de estudio de acuerdo al catastro urbano se puede observar que los predios van dividiéndose cada vez más, sin embargo aún cuentan con espacios para realizar actividades de agricultura familiar, el avance de la urbanización ha generado pérdida de la cobertura vegetal provocando una acelerada degradación del suelo, por ello la importancia de realizar actividades con incidencia ambiental y social a través de los huertos que proporcionan alimentos complementarios a la familia, mejorar su situación económica y se conserva el suelo.

**Objetivo:** Realizar un proceso de recuperación de suelos con la implementación de huertos, para garantizar la alimentación familiar, como un mecanismo de adaptación al cambio climático.

#### **Resultados esperados:**

- ✓ Implementación de huertos familiares como proceso de adaptación al cambio climático.
- ✓ Garantizar la seguridad alimentaria de las familias.
- ✓ Reducir la vulnerabilidad de las familias ante los efectos del cambio climático.
- ✓ Recuperar el suelo a través de prácticas agrícolas familiares.

#### **4.3.2.3. Recuperación de áreas erosionadas con la implementación de prácticas de conservación de suelos**

**Justificación:** La conservación de los suelos con medidas de agroforestería es de gran importancia, ya que reducen la erosión, aumentan la infiltración del agua, mejoran la fertilidad de los suelos entre las principales, de acuerdo con los mapas de susceptibilidad a erosión se evidencia que el flanco derecho presenta mayor erosión, el cual tiene importancia ambiental por ser parte de la cuenca de la laguna Yahuarcocha ecosistema lacustre sensible. De los encuestados un 48% no visibiliza la importancia del suelo en el desarrollo de la población, debido a que las principales actividades económicas de los habitantes fueron cambiando con el

trascuro del tiempo de la agricultura a empleos privados, públicos y el comercio para solventar sus necesidades, por esta razón los suelos han dejado de protegerse, por ello la necesidad de implementar prácticas de conservación de los suelos en base a la situación actual, con el liderazgo de las instituciones responsables de ejecutar la política pública de conservación de los suelos.

**Objetivo:** Implementar esquemas de agroforestería para protección y reducir la pérdida del suelo con perspectiva paisajística.

**Resultados esperados:**

- ✓ Participación de la comunidad en las actividades de implementación de las prácticas de conservación de suelos.
- ✓ Áreas con prácticas agroforestales, como barras vivas, cortinas rompe vientos, vegetación en linderos, con especies propias del sector.
- ✓ Reducción de la pérdida de suelo por acciones naturales como viento y agua.
- ✓ Contribuir al aumento de la biodiversidad del área.
- ✓ Mejorar la paisajística del área.

**4.3.2.4. Desarrollo de investigación científica y divulgación de la información para el análisis de amenazas y vulnerabilidades y riesgo a erosión del suelo**

**Justificación:** Los procesos de investigación local relacionados a la conservación de suelos requieren del apoyo constante y coordinado a nivel institucional, considerando el criterio social y bajo los parámetros establecidos por las políticas públicas que buscan la conservación de los recursos naturales, en este caso el suelo.

**Objetivo:** Realizar investigación científica y divulgación de la información para contar con base técnica para toma de decisiones.

**Resultados esperados:**

- ✓ Convenios entre Universidades e Instituciones responsables de la política de conservación de los suelos para realizar estudios detallados sobre el recurso suelo.
- ✓ Intercambio de experiencias de carácter institucional y académico en relación con el uso y conservación de los suelos.
- ✓ Eventos de capacitación y difusión de la información de los estudios realizados.

En la tabla 55 y 56, se muestran las medidas propuestas para prevención y mitigación ante riesgos de deslizamientos y erosión del suelo, indicando el aspecto al cual se incide y su duración a corto plazo (1 – 2 años), mediano plazo (2 – 3 años), largo plazo (3 – 5 años).

Tabla 55

Medias propuestas para prevención y mitigación ante deslizamientos

Medida	Resultados esperados	Aspecto	Duración
<p>Fortalecimiento de capacidades locales para la gestión del riesgo</p> <p><b>Justificación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis vulnerabilidad a deslizamientos (numeral 4.1.4.2.).</li> <li>• Mapa ubicación aplicación de encuestas (anexo 3. lámina 10).</li> <li>• Mapa susceptibilidad a deslizamientos (anexo 3. lámina 12).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conformación de comités locales y brigadas de gestión de riesgos.</li> <li>• Población capacitada en autoprotección, evacuación, prevención de incendios, seguridad, primeros auxilios (otros que se establezca en coordinación con la población).</li> <li>• Implementación de señalética, identificación de rutas de evacuación y puntos de encuentro.</li> <li>• Identificación de albergues a través de las instituciones responsables.</li> <li>• Ejecución de campañas orientadas a difundir medidas preventivas ante deslizamientos y otros eventos adversos que se prioricen, para crear en la población una cultura de prevención.</li> <li>• Elaboración de planes comunitarios de gestión de riesgos bajo la asesoría de instituciones responsables.</li> </ul>	Social	Largo Plazo
<p>Infraestructura para mitigación y prevención de deslizamientos</p> <p><b>Justificación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapa de pendientes (anexo 3. lámina 4).</li> <li>• Mapa inventario de deslizamientos (anexo 2. tabla 1; anexo 3. lámina 11).</li> <li>• Mapa susceptibilidad a deslizamientos (anexo 3. lámina 12).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudio técnico para identificar taludes con mayor inestabilidad y proponer la medida estructural pertinente para estabilización de estos. Vía panamericana (sector la Quinta del Olivo y barrio Santa Marianita del Olivo) y calle Fernando Rielo vía Arcángel.</li> <li>• Estudio técnico al canal de riego para determinar la factibilidad de reubicación o proceso de embovedado con el fin de reducir riesgo de taponamiento y generación de flujos de lodo que afecten a la zona baja del canal donde se encuentra infraestructura pública y privada.</li> </ul>	Infraestructura	Mediano plazo
<p>Fortalecimiento de los marcos legales locales.</p> <p><b>Justificación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marco legal (numeral 2.3).</li> <li>• Mapa de pendientes (anexo 3. lámina 4).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ordenanza fortalecida y sustentada con estudios técnicos para regular y controlar asentamientos humanos en zonas de riesgo a deslizamientos.</li> <li>• Fortalecimiento de la variable gestión de riesgo en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial cantonal “PDyOT” en base a estudios técnicos para propiciar condiciones adecuadas para el acceso a un hábitat seguro y</li> </ul>	Institucional	Corto plazo

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapa inventario de deslizamientos (anexo 2. tabla 1; anexo 3. lámina 11).</li> <li>• Mapa susceptibilidad a deslizamientos (anexo 3. lámina 12).</li> </ul>	<p>reducir la vulnerabilidad de las poblaciones ante las amenazas como deslizamientos y otras que en base a estudios técnicos se determinen.</p>		
<p>Desarrollo de investigación científica y divulgación de la información para el análisis de amenazas, vulnerabilidades y riesgo a deslizamientos.</p> <p><b>Justificación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marco legal (numeral 2.3).</li> <li>• Evaluación de la vulnerabilidad (numeral 3.6.4).</li> <li>• Susceptibilidad a deslizamientos (numeral 3.7.1).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Convenios entre Universidades e Instituciones responsables de la gestión del riesgo en el territorio para realizar estudios detallados sobre amenazas, vulnerabilidades y riesgos por eventos adversos.</li> <li>• Eventos de capacitación y difusión de la información de los estudios realizados.</li> <li>• Entrega formal de estudios a instituciones responsables de la gestión de riesgos para fortalecer las capacidades técnicas y cuenten con insumos para la toma de decisiones.</li> </ul>	<p>Investigación</p>	<p>Largo plazo</p>

Tabla 56

*Medias propuestas para prevención y mitigación ante erosión*

<b>Medida</b>	<b>Resultados esperados</b>	<b>Aspecto</b>	<b>Duración</b>
<p>Reforestación y revegetación con especies nativas.</p> <p><b>Justificación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis vulnerabilidad a erosión (numeral 4.1.4.3.).</li> <li>• Componente biótico, Flora (numeral 4.1.1.1).</li> <li>• Mapa cobertura vegetal (Anexo 3. Lámina 8).</li> <li>• Mapa susceptibilidad a erosión “Interferometría” (anexo 3. lámina 15).</li> <li>• Mapa susceptibilidad a erosión “USLE” (anexo 3. lámina 16).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Participación de la población en los procesos de reforestación y revegetación con especies nativas.</li> <li>• Áreas erosionadas reforestadas y revegetadas con especies nativas y adaptadas a la zona.</li> <li>• Reducir la pérdida de suelo en las áreas erosionadas.</li> <li>• Mejora la paisajística de la zona.</li> </ul>	<p>Social</p>	<p>Largo plazo</p>
<p>Recuperación del suelo para la implementación de huertos familiares como medida de adaptación al cambio climático.</p> <p><b>Justificación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis vulnerabilidad a erosión (numeral 4.1.4.3.).</li> <li>• Mapa de suelos (anexo 3. lámina 6).</li> <li>• Mapa de textura de suelos (anexo 3. lámina 7).</li> <li>• Mapa susceptibilidad a erosión “Interferometría” (anexo 3. lámina 15).</li> <li>• Mapa susceptibilidad a erosión “USLE” (anexo 3. lámina 16).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementación de huertos familiares como proceso de adaptación al cambio climático.</li> <li>• Garantizar la seguridad alimentaria de las familias.</li> <li>• Reducir la vulnerabilidad de las familias ante los efectos del cambio climático.</li> <li>• Recuperar el suelo a través de prácticas agrícolas familiares.</li> </ul>	<p>Social</p>	<p>Mediano plazo</p>

<p>Recuperación de áreas erosionadas con la implementación de prácticas de conservación de suelos.</p> <p><b>Justificación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapa de pendientes (anexo 3. lámina 4).</li> <li>• Mapa de cobertura vegetal (anexo 3. lámina 8).</li> <li>• Mapa susceptibilidad a erosión “Interferometría” (anexo 3. lámina 15).</li> <li>• Mapa susceptibilidad a erosión “USLE” (anexo 3. lámina 16).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Participación de la comunidad en las actividades de implementación de las prácticas de conservación de suelos.</li> <li>• Áreas con prácticas agroforestales, como barras vivas, cortinas rompe vientos, vegetación en linderos, con especies propias del sector.</li> <li>• Reducción de la pérdida de suelo por acciones naturales como viento y agua.</li> <li>• Contribuir al aumento de la biodiversidad del área.</li> <li>• Mejorar la paisajística del área.</li> </ul>	<p>Social</p>	<p>Largo plazo</p>
<p>Desarrollo de investigación científica y divulgación de la información para el análisis de amenazas y vulnerabilidades y riesgo a erosión del suelo.</p> <p><b>Justificación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marco legal (numeral 2.3).</li> <li>• Evaluación de la vulnerabilidad (numeral 3.6.4).</li> <li>• Susceptibilidad a erosión (numeral 3.7.2).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Convenios entre las Universidades e Instituciones responsables de la política de conservación de los suelos para realizar estudios detallados sobre el recurso suelo.</li> <li>• Intercambio de experiencias de carácter institucional y académico en relación con el uso y conservación de los suelos.</li> <li>• Eventos de capacitación y difusión de la información de los estudios realizados.</li> </ul>	<p>Investigación</p>	<p>Largo plazo</p>

## Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

- ✓ El área de estudio se encuentra ocupando parte de la microcuenca baja de la laguna Yahuarcocha y parte de la cuenca media del río Tahuando, presenta una altitud entre 2416 a 2423 m.s.n.m, con un 69,25% de la superficie con pendientes entre moderada, fuerte, muy fuerte que van de 5 a 35 grados, con orientación del 35,68% del territorio hacia el oeste y un 34,77 hacia el este, permitiéndonos conocer las características físicas del área de estudio.
- ✓ Cuenta con suelos Entic Haplustolls, en un 44,43% y 42,77% entre suelos Vitrandic Argiustolls y Entic Durustolls, con una textura franco arenoso en un 48,79%, y franco arcillo con un 28,69%, la geología se describe por presencia de volcánicos angochagua ocupando un área de 87,85% de superficie del área de estudio.
- ✓ Se determinó que la población encuestada posee una vulnerabilidad a deslizamientos del 70%, esto en base al análisis de los tipos de vulnerabilidad social, educativa, física, económica, ambiental, organizacional, cultural, se debe considerar que el 36% de la población tiene una percepción que se producirá un impacto alto al presentarse un deslizamiento, población que en su mayoría está asentada en las zonas de pendiente dentro del área de estudio, lo que permite conocer cómo el riesgo es entendido en base a su criterio.
- ✓ Se evidencian viviendas asentadas en áreas con pendiente y acciones de eliminación de la vegetación natural, reduciendo la estabilidad del suelo y aumentando el riesgo de impacto por deslizamientos, no solo a la población asentada en las zona de pendiente sino a la población que se encuentra en la parte baja del flanco izquierdo principalmente, donde existe mayor urbanización e infraestructura pública como la Universidad Técnica del Norte, esto se deben al escaso control y regulación de las instituciones que tiene la responsabilidad de realizar la zonificación y planificación territorial.
- ✓ Los niveles de preparación familiar ante la presencia de un evento adverso indican que un 95% de los hogares encuestados no cuenta con plan familiar de emergencia, un 92% no cuenta con mochila de emergencia, un 73% no cuentan con capacitación en autoprotección, y entre el 95% al 79% de hogares no cuentan rutas de evacuación y no han ejecutado simulacros como un proceso de preparación ante situaciones de emergencia es decir los



hogares cuentan con un bajo nivel de preparación y respuesta ante la ocurrencia de un evento adverso.

- ✓ La población es vulnerable en un 67,4% a la erosión del suelo, esto se debe a que las acciones antrópicas inciden directamente, convirtiéndose en un importante agente geomorfológico, principalmente por el avance de la urbanización, en especial el flanco derecho que forma parte de la cuenca de la laguna Yahuarcocha importante ecosistema lacustre, además la falta de prácticas de conservación de suelos acelera su degradación, los encuestados 48% no visibiliza la importancia del suelo en el desarrollo de la población, debido a que las principales actividades económicas de los habitantes dentro del área de estudio fueron cambiando con el transcurso del tiempo de agricultura a empleos privados, públicos y el comercio para solventar sus necesidades.
  
- ✓ Se identificaron 26 movimientos de ladera, distribuidos en 23 deslizamientos y 3 hundimientos, de los cuales 17 deslizamientos generados por incidencia antrópica especialmente por apertura de vías y 9 de origen natural, el movimiento que presenta la mayor superficie de afectación es de 0,62 Ha con un perímetro de 468,45 metros y el de menor superficie con 0,00347 Ha y un perímetro de 24,68 metros, un 84% de los movimientos poseen áreas entre 0,00347 Ha a 0,066 Ha, con un total de superficie afectada de 1,82 Ha, lo que corresponde a 1,13 % de la superficie del área de estudio la cual es de 160,93 Ha.
  
- ✓ Se determina que un 84,25%, del territorio posee susceptibilidad baja a deslizamientos, es decir no muestran ninguna propensión natural a generar movimientos en masa de magnitud significativa, un 7,86% presenta susceptibilidad media territorio que muestra cierta propensión natural a generar movimientos en masa de magnitud significativa aún en las condiciones en que se encuentran actualmente y 7,89%, de susceptibilidad alta territorio que muestran gran propensión natural a generar movimientos en masa de magnitud significativa, las áreas con susceptibilidad media y alta se encuentran en los flancos derecho e izquierdo del área de estudio, observándose crecimiento urbano por ello se debe prestar atención en procesos de planificación territorial, a fin de evitar construcciones en zonas de riesgo.

- ✓ Dentro del área de estudio un 55,57% de superficie presenta erosión normal es decir una pérdida de suelo menor a 0,5 Tn/Ha/año, seguido de un 21,88% con erosión ligera con pérdidas de 0,5 a 5 Tn/Ha/año y 14,53% de erosión moderada con pérdidas de 5 a 15 Tn/Ha/año, en base a la resta de los DEM se obtiene que existió una pérdida de suelo de 181.255,15 m<sup>3</sup> en toda el área de estudio en 7 años, resultados obtenidos aplicando el método de interferometría.
  
- ✓ Considerando la pérdida de suelo en Tn/Ha/año, se obtiene que un 75,57% del área de estudio presenta una erosión normal es decir una pérdida de suelo menor a 0,5 Tn/ha/año, seguido de un 18,99% con erosión ligera con pérdidas de 0,5 a 5 Tn/Ha/año, resultados obtenidos con la aplicación de la metodología ecuación universal para la pérdida de suelo “USLE”.
  
- ✓ Aplicando el método de la matriz para la validación del mapa de deslizamientos, se determina que posee una confiabilidad del 72,49%, con un coeficiente de Kappa de 0,54 que según Landis y Kotch tiene una fuerza de concordancia moderada.
  
- ✓ Aplicando el método de la matriz para la validación de los mapas de erosión tanto para interferometría como USLE, donde se determina que el mapa de erosión por el método de interferometría (análisis multitemporal) posee una confiabilidad del 71,52%, con un coeficiente de Kappa de 0,54 que según Landis y Kotch tiene una fuerza de concordancia moderada, mientras que el mapa de erosión por el método USLE, posee una confiabilidad del 46,32%, con un coeficiente de Kappa de 0,1 que según Landis y Kotch tiene una fuerza de concordancia leve.

## Recomendaciones

- ✓ Realizar procesos de preparación, prevención y respuesta con la población a fin de fortalecer las capacidades locales y formar comunidades resilientes capaces de responder y recuperarse ante la presencia de eventos adversos que impacten en la zona, a través de la ejecución de las actividades detalladas en la propuesta denominada fortalecimiento de capacidades locales para la gestión del riesgo.
- ✓ Establecer mecanismos de articulación con las Universidades e Instituciones competentes para realizar el desarrollo de investigación referentes al análisis de vulnerabilidades, amenazas, riesgos con la finalidad de contar con base técnica para la toma de decisiones, fortalecer los marcos legales locales como las ordenanzas, plan de desarrollo y ordenamiento territorial y otras herramientas que permitan controlar y regular los asentamientos humanos en zonas de riesgo y propiciar un hábitat seguro.
- ✓ 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 debido a que el flanco derecho forma parte de la microcuenca de la laguna Yahuarcocha ecosistema lacustre de importancia.
- ✓ Promover la gestión sostenible del suelo, con la ejecución de programas coordinadamente con las instituciones competentes, actividades como revegetación con especies propias del sector, agricultura urbana para fortalecer el papel de las prácticas de manejo del suelo, orientadas a generar 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.
- ✓ Socializar el presente estudio con los actores sociales e institucionales con la finalidad de coordinar acciones para la ejecución de las medidas de prevención y mitigación planteadas de forma articulada y participativa.

## Referencias Bibliográficas

- Acosta, V. (2005). El riesgo como construcción social y la construcción social de riesgos, Desacatos núm. 19, Revista de Ciencias Sociales, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, Distrito Federal, México.
- Aguilar, M. Brenes, G. (2008). La percepción de riesgo como herramienta para la gestión del riesgo, aportes para la cogestión comunitaria, Caso de la comunidad de Sixaola. Limón, Costa Rica.
- Aguirre, C. Vizcaino, M. (2010). Aplicación de estimadores estadísticos y diseños experimentales en investigaciones forestales. Ibarra: Editorial Universitaria.
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2012). Proyecto de ley Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos y Cambio Climático.
- Camargo, C. Andrades, J. Vidal, R. (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 Vol. 17.
- Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización. (2010). Registro Oficial N° 303, Registro Oficial N° 303 de martes 19 de octubre del 2010. Quito, Ecuador.
- Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas. (2010). Registro Oficial suplemento 306. (octubre 22, 2010). Quito, Ecuador.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Registro oficial No 449. Manabí, Ecuador.
- Edwards, R. (2016). Análisis de la percepción social del riesgo y de la vulnerabilidad con enfoque de género en población expuesta a amenazas de origen natural en la ciudad de Iquique, Santiago, Chile.
- Fidias, G. Arias, (2012). El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica (6ed). Caracas: Editorial Episteme, C.A.

- Guzmán J, 2015. Análisis multitemporal de las zonas forestales en la zona de INTAG Ecuador periodo 2010 al 2013, Universidad de Salzburg, departamento de Geomática Z\_GIS, Ecuador.
- Guzmán J, 2018. Validación de mapas a través de la matriz de confusión, con la utilización del software ArcMap y ENVI, Ibarra-Ecuador.
- Hernández, R. Fernández, C. Baptista, L. (2014). Metodología de la Investigación (6 ed). México: McGraw – Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), Magap. (CGSIN), (2015). Memoria técnica, cantón Ibarra, geomorfología, proyecto: “generación de geo información para la gestión del territorio a nivel nacional. escala 1: 25 000”, Ecuador.
- Corominas, J. Alonso, E. Romana, M. Hurlimann, M. (2005). VI Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Análisis cartográfica y validación de mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera ejemplos de la cordillera Bética, Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Jimenes, J. (2005). Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante SIG en la cuenca vertiente al embalse de Rules Grabada, curso de Doctorado Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente (112/4), Universidad de Granada, España.
- 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.
- Machado, W. Rodríguez, M. (2017). Criterios para la selección y aplicación de herramientas estadísticas en la investigación educativa. En Luis Rodríguez de los Ríos (Presidencia), 1 Congreso Latinoamericano de Investigación y Postgrado. Ponencia llevada a cabo en el 1 Congreso Latinoamericano de Investigación y Postgrado, Universidad Nacional de Educación, Lima, Perú.
- Lara, M. Sepúlveda, S. (2008). Remociones en masa, Departamento de Geología Universidad de Chile.
- Ministerio del Ambiente. (2011). Segunda comunicación nacional sobre el cambio climático), Ecuador.

- Narváez, L. Lavell, A. Pérez, G. (2009). La Gestión del Riesgo de Desastres, Un enfoque basado en procesos, Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina PREDECAN.
- Nieto, A. Rivas, P. Zacarias, N. (2007). Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad en regiones propensas a deslizamientos en el Salvador. Universidad de el Salvador, El Salvador.
- Pavón y Garzón (2013) Trabajo de grado, evaluación y zonificación de susceptibilidad y amenaza /peligros por fenómenos de remoción en masa en el cantón Pallatanga, escala 1:50.000.
- Prado, H. Jorge, V. Rivera, P. García, M. Martínez, A. (2017). Calibración de los modelos de pérdidas de suelo usle y musle en una cuenca forestal de México: caso el malacate, *Agrociencia*, vol. 51, núm. 3, abril-mayo, 2017, pp. 265-284.
- Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2012). Propuesta metodología análisis de vulnerabilidad a nivel municipal, (2012) Quito, Ecuador.
- Puerres, J. (2016). Identificación de zonas vulnerables a riesgos de: inundación, erosión y deslizamientos en el cantón San Miguel de Urcuquí-Ecuador mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Rodríguez, A. Romero, P. y Callejas, N. (2007). Trabajo de grado, Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad en regiones propensas a deslizamiento en el Salvador, El Salvador.
- Recalde, E. (2016). Anuario agroclimático, 1ª ed. PUCE-SI, Consejo de publicaciones de la Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- Salgado, R. (2005). Análisis integral del riesgo a deslizamientos e inundaciones en la microcuenca del río Gila, Copan, Honduras. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza Tropical Agricultural Research and Higher Education Center, Turrialba, Costa Rica.
- Secretaría de Gestión de Riesgos, (2016). Plan Estratégico Institucional 2014-2017, Actualización marzo 2016.

- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. 1 (2014). Manual del Comité de Gestión de Riesgos.
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. 2 (2014). Plan Estratégico Institucional 2014 2017.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo 2013. Plan Nacional para el Buen Vivir 2009- 2013, Quito, Ecuador.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2015) La importancia de la gestión de riesgos. Revista Chakana, Ecuador.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). Plan Nacional de Desarrollo / Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017, Quito, Ecuador.
- Servicio de Conservación de Recursos Naturales, (2014). Claves para la Taxonomía de Suelos, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Décima segunda Edición.
- Suarez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, Bucaramanga, Colombia. Ingeniería de suelos Ltda.
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador, (2016). Manual de trabajos de grado de especialización y maestría y tesis doctorales (5 ed.). Caracas: Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador.
- Yandún, C. (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.

# **Anexos**



# **Anexo 1.**

# **FORMATOS**

Formato 1. Encuesta aplicada





D.- DATOS ECONÓMICOS	
8.- CUAL ES SU PRINCIPAL ACTIVIDAD ECONOMICA	9.- CUÁL ES EL INGRESO MENSUAL DEL HOGAR (USD)
Empleado privado <input type="checkbox"/>	No tiene ingresos <input type="checkbox"/>
Comercio <input type="checkbox"/>	Menor a 400 <input type="checkbox"/>
Empleado publico <input type="checkbox"/>	401 - 1200 <input type="checkbox"/>
Ninguna <input type="checkbox"/>	Mayor a 1200 <input type="checkbox"/>
Otro: describa	

E.- SISTEMAS DE PRODUCCIÓN		
10.- TENENCIA DE TIERRAS (si no tiene tierras pasar a pregunta 15)	11.- LAS TIERRAS ESTÁN DESTINADAS PARA	
No tiene tierras <input type="checkbox"/>	Agricultura <input type="checkbox"/>	Qué tipo de cultivo
Menos de 1 Hectárea <input type="checkbox"/>	Ganadería <input type="checkbox"/>	Qué tipo de ganado
Mas de 1 Ha <input type="checkbox"/>	Forestal <input type="checkbox"/>	Qué especie
	Turismo <input type="checkbox"/>	Qué tipo de turismo
	Otro: <input type="checkbox"/>	Describa que actividad
	Sin actividad <input type="checkbox"/>	
12.- SUS TIERRAS POSEEN AGUA DE RIEGO	13.- REALIZA PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS (por observación)	
Si <input type="checkbox"/>	Rotación de cultivos <input type="checkbox"/>	
No <input type="checkbox"/>	Vegetación en linderos <input type="checkbox"/>	
	Terrazas <input type="checkbox"/>	
	Vegetación en el predio <input type="checkbox"/>	

F.- ORGANIZACIÓN COMUNITARIA		
14.- A QUÉ TIPO DE ORGANIZACIÓN PERTENECE (si la respuesta es ninguna pasar a la pregunta 18)	15.- PARTICIPA LA MUJER EN LA TOMA DE DECISIONES DENTRO DE LA ORGANIZACIÓN A LA CUAL USTED PERTENECE	16.- LA ORGANIZACIÓN A LA QUE PERTENECE TIENE REGLAMENTOS Y ESTATUTOS
Barrial: nombre de la organización	Si <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/>
Asociaciones: nombre de la organización	No <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Ninguna: <input type="checkbox"/>		Tal vez <input type="checkbox"/>
Otras: Describa		



**G.- PERCEPCIÓN DEL RIESGO**

**17.- A SU CRITERIO SEÑALE CUALES SON LOS EVENTOS ADVERSOS QUE LE PUEDEN AFECTAR Y EL NIVEL DE IMPACTO QUE PUEDE PROVOCAR**

Evento	Impacto			observaciones
	bajo	medio	alto	
Deslizamientos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Erosión (perdida de suelo fértil)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

**18.- INDICAR LOS EVENTOS ADVERSOS QUE OCURRIERON EN SU SECTOR E INDIQUE EL IMPACTO QUE PROVOCO**

Evento	Impacto				observaciones
	Ninguno	bajo	medio	Alto	
Deslizamientos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Erosión	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Otros: Describa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

**19.- EVALUÉ SU NIVEL DE PREPARACIÓN COMO HOGAR PARA RESPONDER ANTE LA OCURRENCIA DE UN DESASTRE**

	Si	No	Alguna vez
Cuenta con un plan familiar de emergencia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cuenta con mochila familiar de emergencia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Los integrantes de su familia conocen sobre medidas de autoprotección en caso de desastre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ha ejecutado simulacros familiares	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cuenta con rutas de evacuación y puntos de encuentro establecidos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**20.- A SU CRITERIO QUE MEDIDA PREVENTIVA SE DEBE CONSIDERAR PARA EVITAR DESLIZAMIENTOS EN SU SECTOR U OTRO TIPO DE DESASTRE.**

.....

.....

.....

# **Anexo 2.**

# **TABLAS**

**Tabla 1.** Inventario de movimientos de ladera

**Tabla 1.** Inventario de movimientos de ladera

No Mov.Masa	Coordenadas (X)	Coordenadas (Y)	Área (m2)	Área (Ha)	Perímetro (m2)	Tipo Mov. Masa	Causa	Daños ocasionados	Elementos expuestos
1	821671.869	10040774.96	67.22	0.007	31.09	deslizamiento	Antrópico	Pared de casa comunal	Casa comunal Barrio
2	821532.0769	10040632.72	34.79	0.003	24.68	deslizamiento	Antrópico	material sobre la vía panamericana	Vía panamericana y viviendas
3	821730.0738	10040112.34	433.64	0.043	89.24	deslizamiento	Natural	ninguno	Acequia y viviendas
4	821734.781	10040035.55	181.50	0.018	69.62	deslizamiento	Natural	ninguno	Acequia y viviendas
5	821810.5943	10039694.66	535.85	0.054	147.14	deslizamiento	Antrópico	vivienda; vía peatonal	Viviendas; vía peatonal
6	821817.5461	10039580.71	171.86	0.017	50.81	deslizamiento	Antrópico	vía	vía
7	821741.3394	10039331.04	646.62	0.06	107.89	deslizamiento	Natural	ninguno	Viviendas; vía
8	821709.1683	10039296.07	169.33	0.02	62.70	deslizamiento	Antrópico	material sobre la vía	vía; canal de riesgo; viviendas
9	821703.2542	10039276.85	180.29	0.02	61.65	deslizamiento	Antrópico	material sobre la vía; vivienda	vía; canal de riesgo; viviendas
10	821837.1712	10039131.25	320.07	0.03	89.78	deslizamiento	Antrópico	material sobre la vía	vía; canal de riesgo; viviendas
11	822198.523	10039050.22	354.26	0.04	94.38	deslizamiento	Antrópico	material en vía	vía
12	822346.7490	10038858.35	526.23	0.05	93.28	deslizamiento	Antrópico	material en vía	vía
13	822493.2462	10039058.19	6204.26	0.620	468.45	deslizamiento	Antrópico	arrastre de suelo fértil; cultivos	vía; canal de riesgo; viviendas
14	822283.5982	10039528.94	3349.65	0.335	230.25	deslizamiento	Natural	ninguno	ninguno
15	822223.3726	10039577.41	488.82	0.049	85.91	hundimiento	Natural	ninguno	ninguno
16	822169.4322	10039596.09	1174.72	0.117	143.86	hundimiento	Natural	ninguno	vía
17	822200.5357	10039619.6	433.90	0.043	80.60	deslizamiento	Natural	ninguno	viviendas
18	822184.6691	10039881.55	760.82	0.076	164.34	deslizamiento	Natural	ninguno	ninguno
19	822117.3872	10039936.43	410.33	0.041	91.32	deslizamiento	Natural	ninguno	ninguno
20	822240.608	10039951.47	508.96	0.051	106.71	deslizamiento	Antrópico	material vía autódromo Yahuarcocha	vía autódromo Yahuarcocha
21	822204.1447	10040090.79	195.37	0.020	71.24	deslizamiento	Antrópico	material vía autódromo Yahuarcocha	vía autódromo Yahuarcocha
22	822208.2266	10040101.65	129.35	0.013	43.04	deslizamiento	Antrópico	material vía autódromo Yahuarcocha	vía autódromo Yahuarcocha
23	822196.7423	10040117.04	213.35	0.021	59.60	deslizamiento	Antrópico	material vía autódromo Yahuarcocha	vía autódromo Yahuarcocha
24	822188.8815	10040144.09	374.34	0.037	81.56	hundimiento	Antrópico	material vía autódromo Yahuarcocha	vía autódromo Yahuarcocha
25	821942.672	10040872.76	200.47	0.020	55.79	deslizamiento	Antrópico	material vía autódromo Yahuarcocha	vía autódromo Yahuarcocha
26	821930.4879	10040899.57	106.38	0.011	54.56	deslizamiento	Antrópico	material vía autódromo Yahuarcocha	vía autódromo Yahuarcocha
		SUMA	18172.37	1.82					
		PROMEDIO	698.937	0.070	102.29				

# Anexo 3.

# LÁMINAS

**Lámina 1.** Mapa de ubicación área de estudio

**Lámina 2.** Mapa base

**Lámina 3.** Mapa de altitud

**Lámina 4.** Mapa de pendientes

**Lámina 5.** Mapa de orientación

**Lámina 6.** Mapa de suelos

**Lámina 7.** Mapa de textura de suelo

**Lámina 8.** Mapa cobertura vegetal

**Lámina 9.** Mapa geología.

**Lámina 10.** Mapa ubicación aplicación de encuestas

**Lámina 11.** Mapa Inventario de deslizamientos

**Lámina 12.** Mapa susceptibilidad a deslizamientos

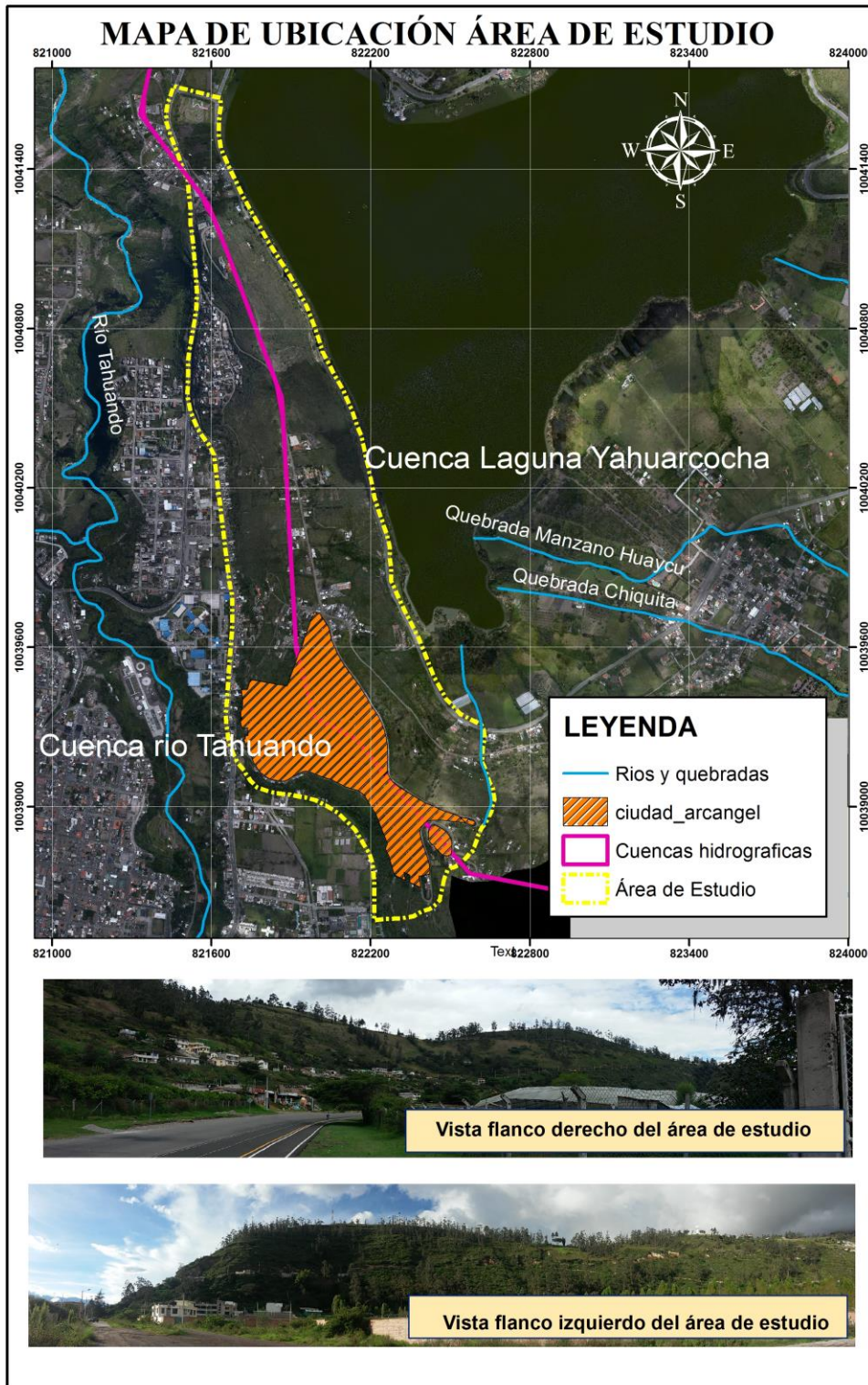
**Lámina 13.** Modelo digital del terreno año 2017

**Lámina 14.** Modelo digital del terreno año 2010

**Lámina 15.** Mapa susceptibilidad a erosión (interferometría)

**Lámina 16.** Mapa susceptibilidad a erosión (USLE)

Lamina 1. Mapa de ubicación área de estudio



PROVINCIA DE IMBABURA

Colombia

Peru

Esmeraldas

ÁREA DE ESTUDIO

Carchi

Pichincha

CANTON IBARRA

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**INSTITUTO DE POSGRADOS**

**MAESTRÍA:**

Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

**TEMA:**

Riesgos Ambientales

**DIRECTOR:**

Ing. Guillermo Beltrán

**ESTUDIANTES:**

Galo Valles / Diego Villalba

**PROYECCIÓN/DATUM:**

UTM-WGS84 - ZONA 17 SUR

**ESCALA: 1:10.000**

0 195 390 780 Metros

<b>FECHA:</b>	<b>LÁMINA:</b>
Septiembre 2018	<b>01/16</b>
<b>CIUDAD:</b>	
Ibarra ECUADOR	



Lamina 2. Mapa base



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**INSTITUTO DE POSGRADOS**

**MAESTRÍA:**  
Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

**TEMA:**  
Riesgos Ambientales

**DIRECTOR:**  
Ing. Guillermo Beltrán

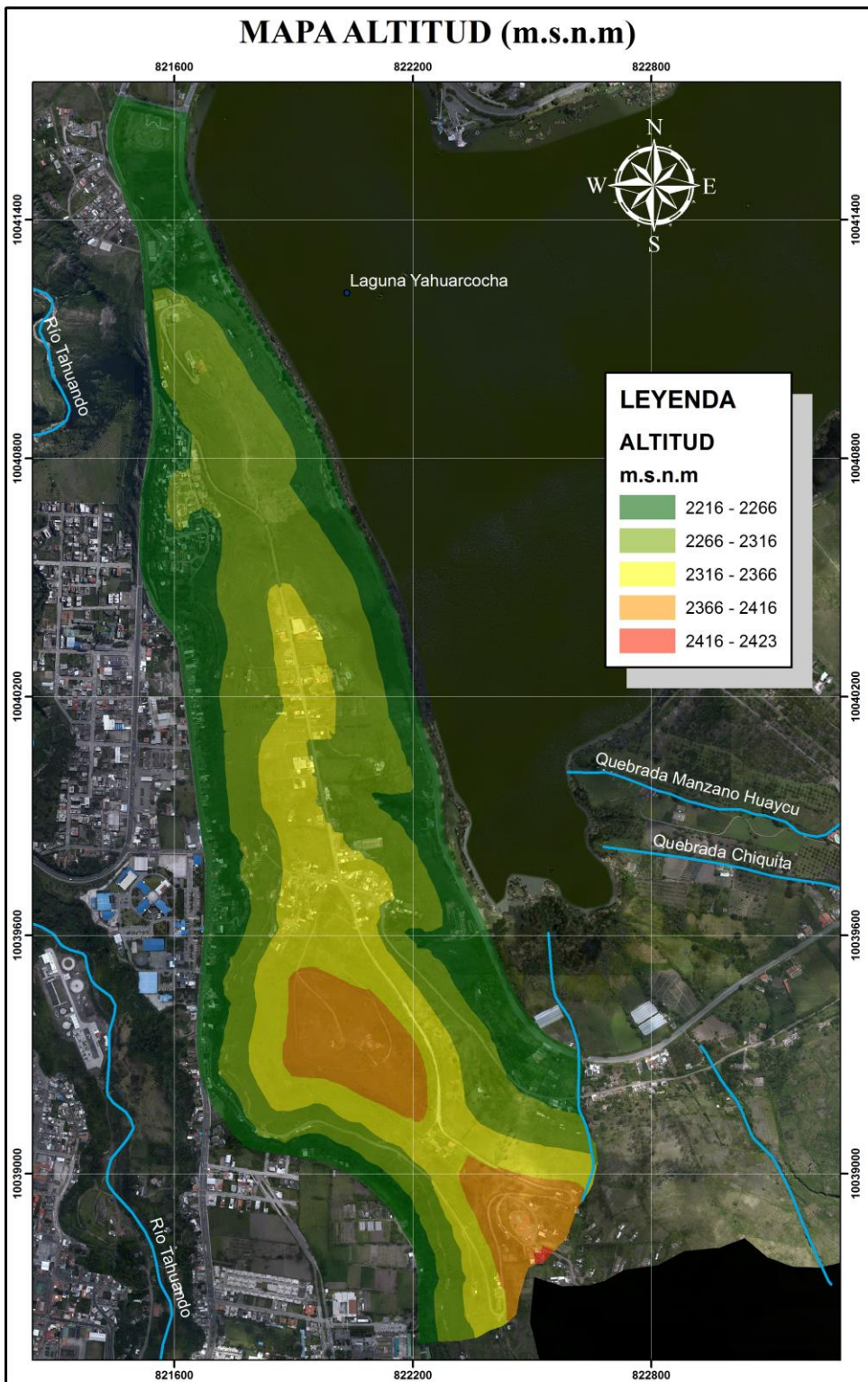
**ESTUDIANTES:**  
Galo Valles / Diego Villalba

**PROYECCIÓN/DATUM:**  
UTM-WGS84 - ZONA 17 SUR

**ESCALA: 1:10.000**  
0 130 260 520 Metros

<b>FECHA:</b> Septiembre 2018	<b>LÁMINA:</b> <b>02/16</b>
<b>CIUDAD:</b> Ibarra ECUADOR	

Lamina 3. Mapa de altitud



**UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DEL NORTE**

**INSTITUTO DE  
POSGRADOS**

**MAESTRÍA:**  
Gestión Integral de  
Cuencas Hidrográficas

**TEMA:**  
Riesgos Ambientales

**DIRECTOR:**  
Ing. Guillermo Beltrán

**ESTUDIANTES:**  
Galo Valles / Diego Villalba

**PROYECCIÓN/DATUM:**  
UTM-WGS84 - ZONA 17 SUR

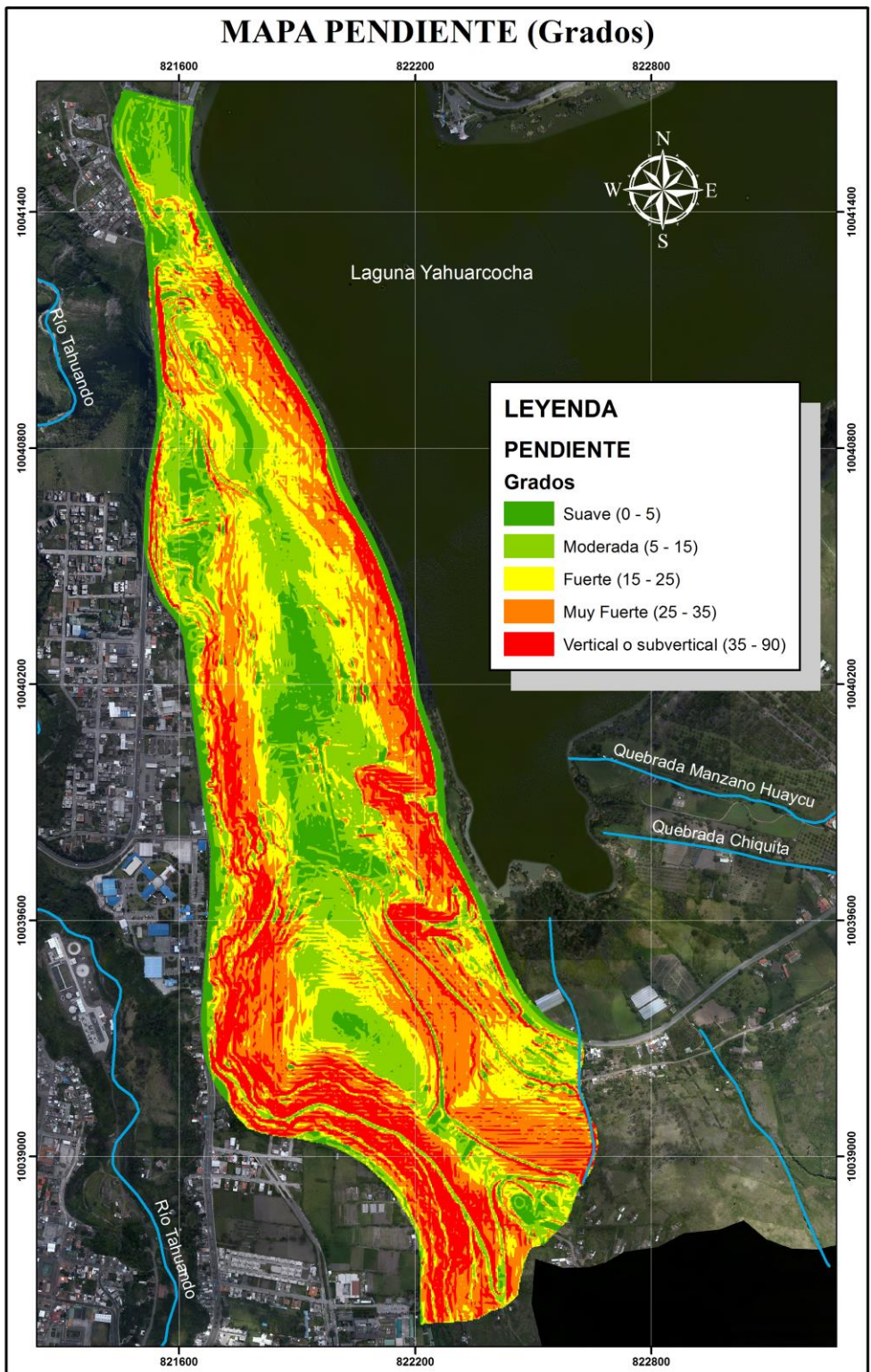
**ESCALA: 1 : 10.000**  
0 130 260 520 Metros

**FECHA:** Septiembre 2018

**LÁMINA:**  
**03/16**

**CIUDAD:**  
Ibarra  
ECUADOR

Lamina 4. Mapa de pendientes



**UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DEL NORTE**

**INSTITUTO DE  
POSGRADOS**

**MAESTRÍA:**  
Gestión Integral de  
Cuencas Hidrográficas

**TEMA:**  
Riesgos Ambientales

**DIRECTOR:**  
Ing. Guillermo Beltrán

**ESTUDIANTES:**  
Galo Valles / Diego Villalba

**PROYECCIÓN/DATUM:**  
UTM-WGS84 - ZONA 17 SUR

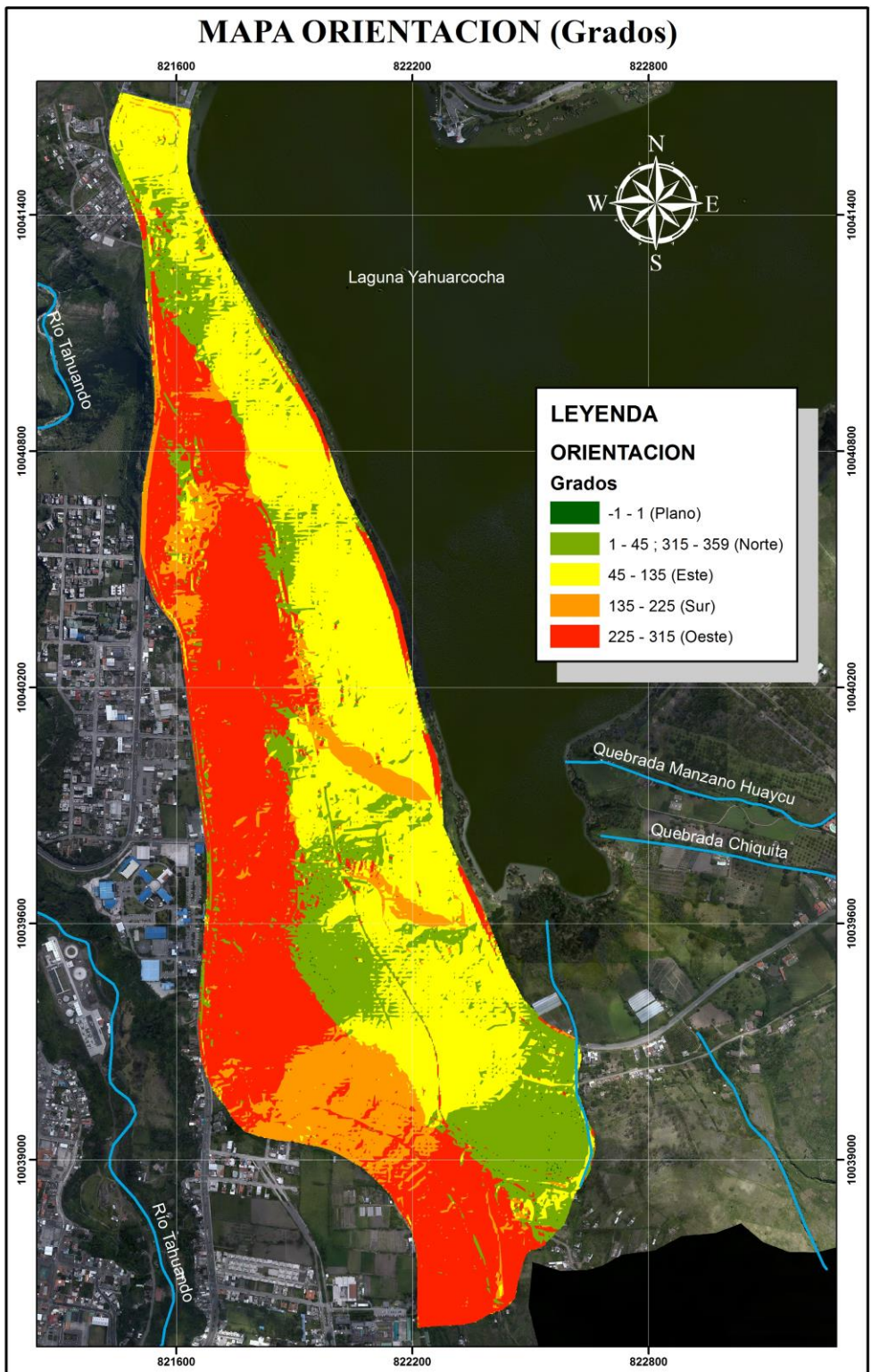
**ESCALA: 1 : 10.000**  
0 130 260 520 Metros

**FECHA:** Septiembre 2018

**LÁMINA:**  
**04/16**

**CIUDAD:**  
Ibarra  
ECUADOR

Lamina 5. Mapa de orientación



**UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DEL NORTE**

**INSTITUTO DE  
POSGRADOS**

**MAESTRÍA:**  
Gestión Integral de  
Cuencas Hidrográficas

**TEMA:**  
Riesgos Ambientales

**DIRECTOR:**  
Ing. Guillermo Beltrán

**ESTUDIANTES:**  
Galo Valles / Diego Villalba

**PROYECCIÓN/DATUM:**  
UTM-WGS84 - ZONA 17 SUR

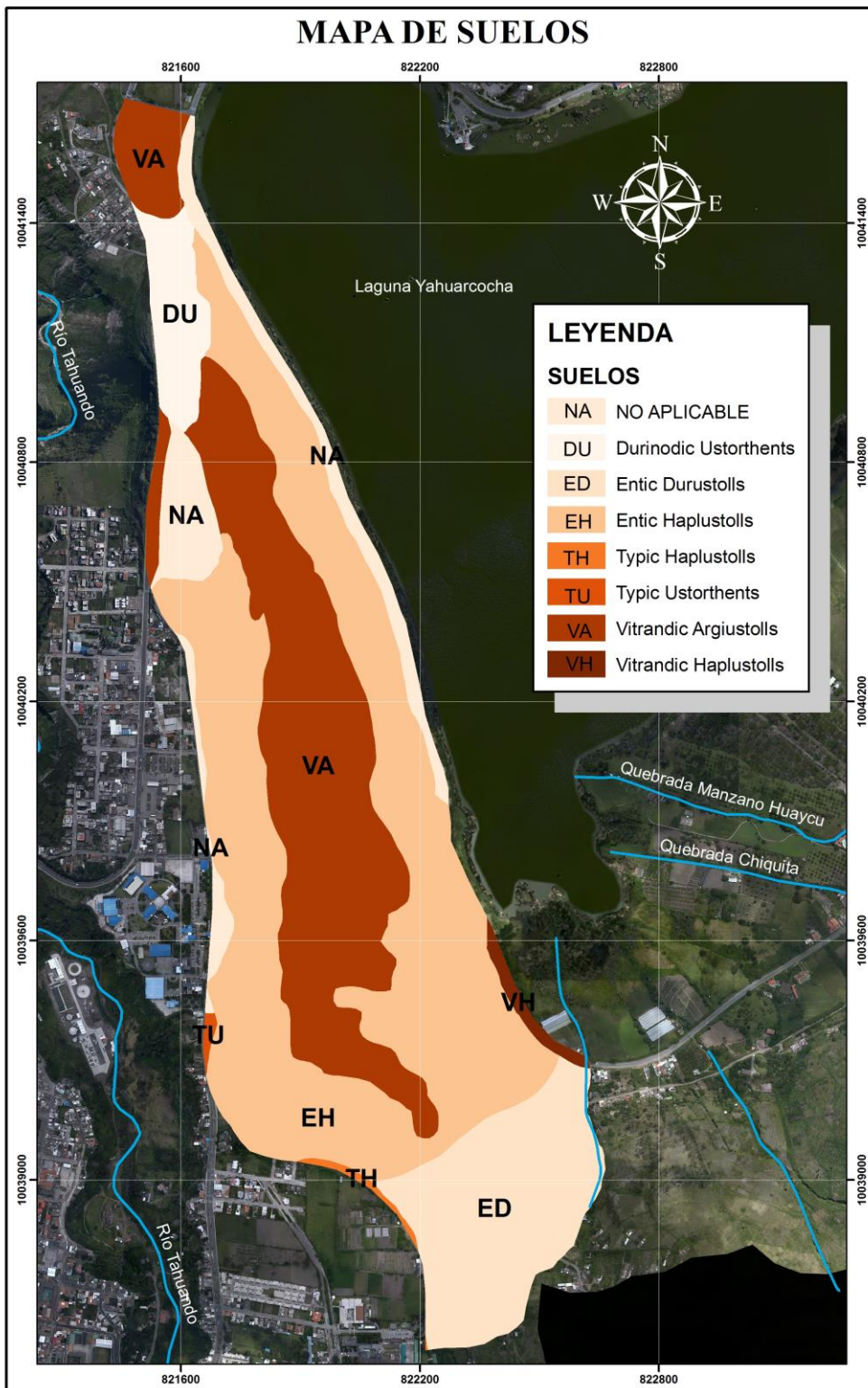
**ESCALA: 1 : 10.000**  
0 130 260 520 Metros

**FECHA:** Septiembre 2018

**LÁMINA:**  
**05/16**

**CIUDAD:**  
Ibarra  
ECUADOR

Lamina 6. Mapa de suelos



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**INSTITUTO DE POSGRADOS**

**MAESTRÍA:**  
Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

**TEMA:**  
Riesgos Ambientales

**DIRECTOR:**  
Ing. Guillermo Beltrán

**ESTUDIANTES:**  
Galo Valles / Diego Villalba

**PROYECCIÓN/DATUM:**  
UTM-WGS84 - ZONA 17 SUR

**ESCALA: 1 : 10.000**  
0 130 260 520 Metros

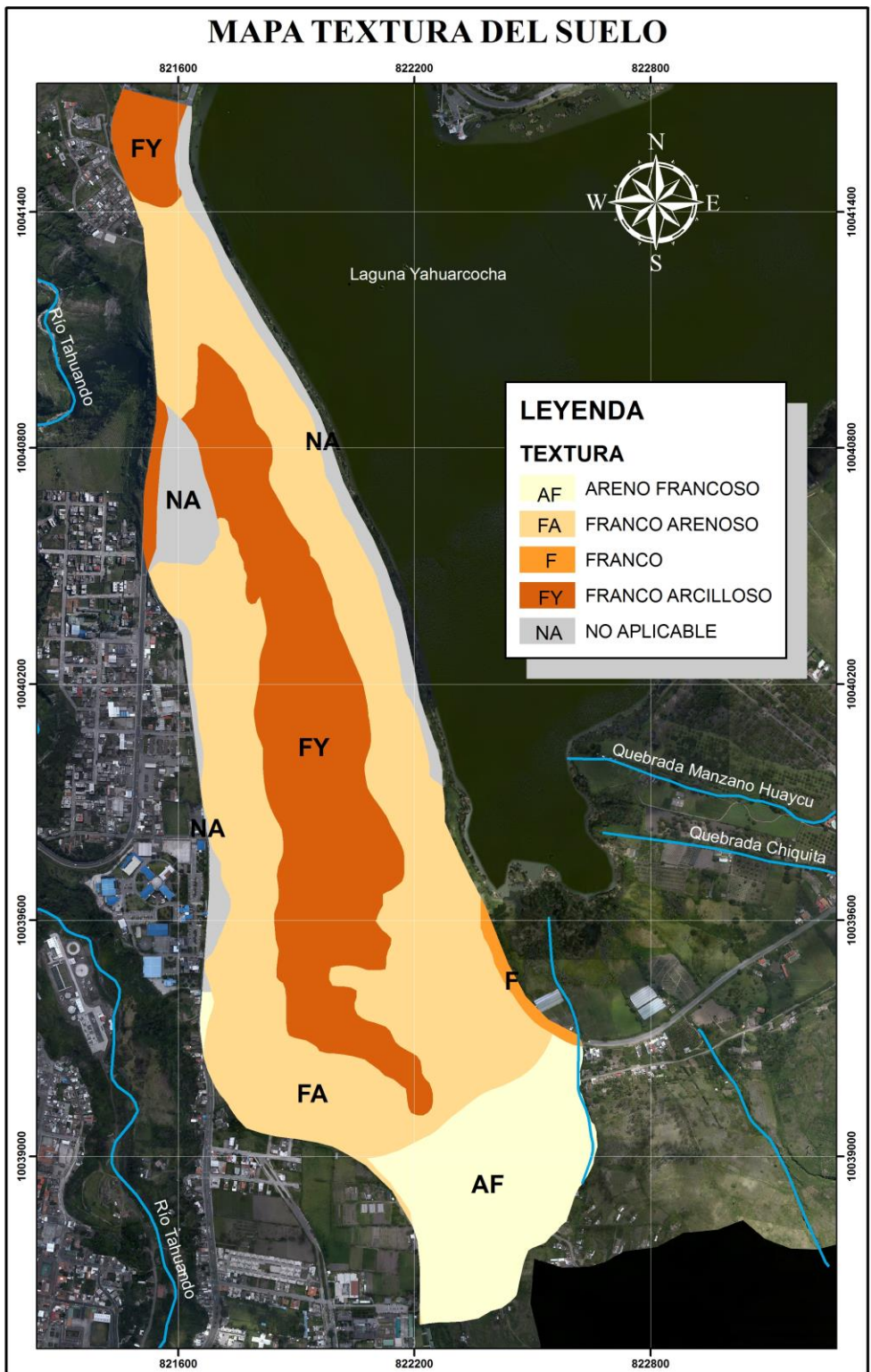
**FECHA:** Septiembre 2018

**LÁMINA:**

**CIUDAD:** Ibarra ECUADOR

**06/16**

Lamina 7. Mapa de textura de suelo



PROVINCIA DE IMBABURA

Colombia

Peru

Esmeraldas

Carchi

Pichincha

CANTON IBARRA

ÁREA DE ESTUDIO

**UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DEL NORTE**

**INSTITUTO DE  
POSGRADOS**

**MAESTRÍA:**

Gestión Integral de  
Cuentas Hidrográficas

**TEMA:**

Riesgos Ambientales

**DIRECTOR:**

Ing. Guillermo Beltrán

**ESTUDIANTES:**

Galo Valles / Diego Villalba

**PROYECCIÓN/DATUM:**

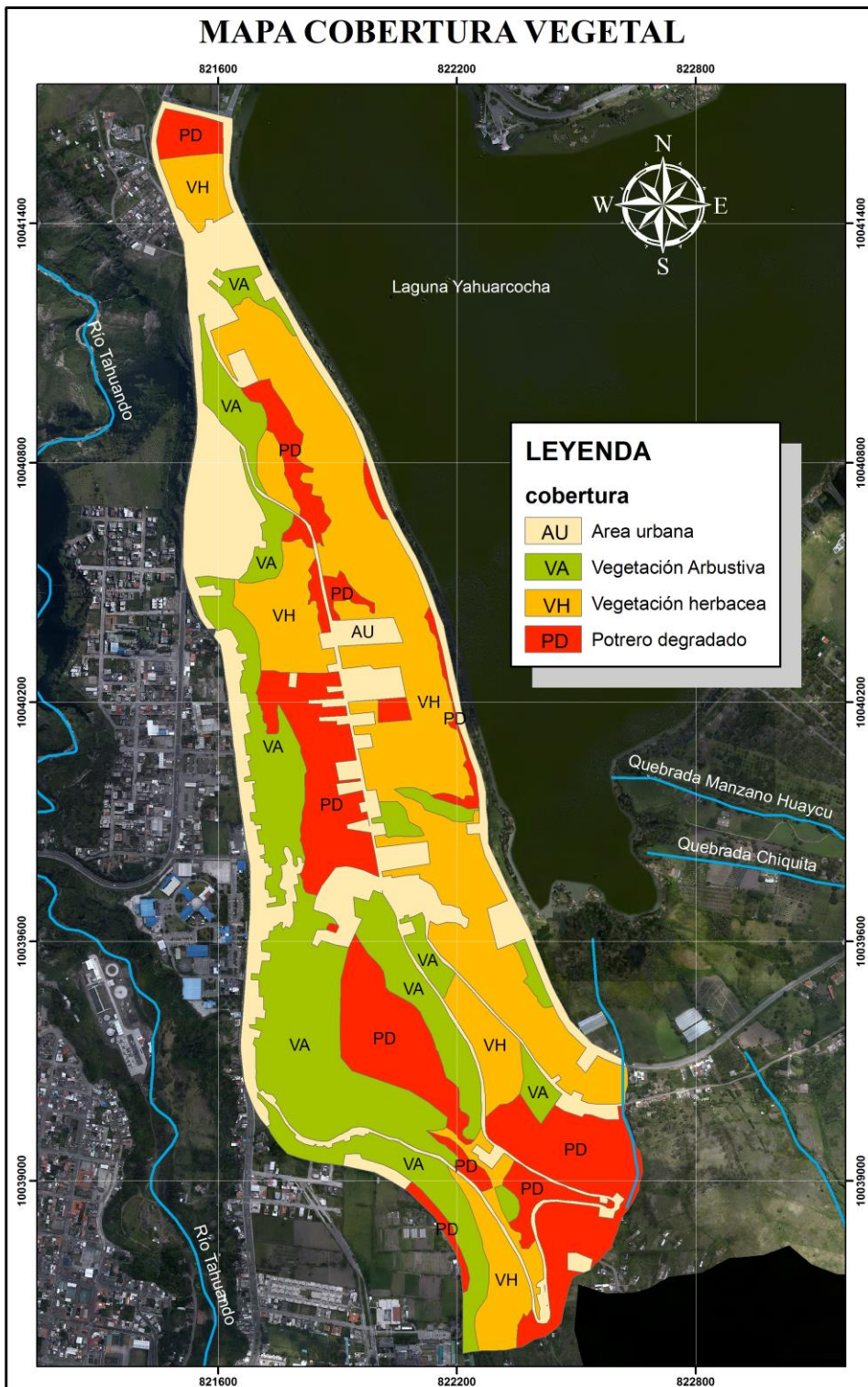
UTM-WGS84 - ZONA 17 SUR

**ESCALA: 1 : 10.000**

0    130    260    520  
Metros

<b>FECHA:</b>	<b>LÁMINA:</b>
Septiembre 2018	<b>07/16</b>
<b>CIUDAD:</b>	
Ibarra ECUADOR	

Lamina 8. Mapa cobertura vegetal



**UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DEL NORTE  
INSTITUTO DE  
POSGRADOS**

**MAESTRÍA:**  
Gestión Integral de  
Cuencas Hidrográficas

**TEMA:**  
Riesgos Ambientales

**DIRECTOR:**  
Ing. Guillermo Beltrán

**ESTUDIANTES:**  
Galo Valles / Diego Villalba

**PROYECCIÓN/DATUM:**  
UTM-WGS84 - ZONA 17 SUR

**ESCALA: 1 : 10.000**  
0 130 260 520 Metros

<b>FECHA:</b> Septiembre 2018	<b>LÁMINA:</b> <b>08/16</b>
<b>CIUDAD:</b> Ibarra ECUADOR	

Lamina 9. Mapa geología



**UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DEL NORTE**

**INSTITUTO DE  
POSGRADOS**

**MAESTRÍA:**  
Gestión Integral de  
Cuencas Hidrográficas

**TEMA:**  
Riesgos Ambientales

**DIRECTOR:**  
Ing. Guillermo Beltrán

**ESTUDIANTES:**  
Galo Valles / Diego Villalba

**PROYECCIÓN/DATUM:**  
UTM-WGS84 - ZONA 17 SUR

**ESCALA: 1 : 10.000**  
0 130 260 520  
Metros

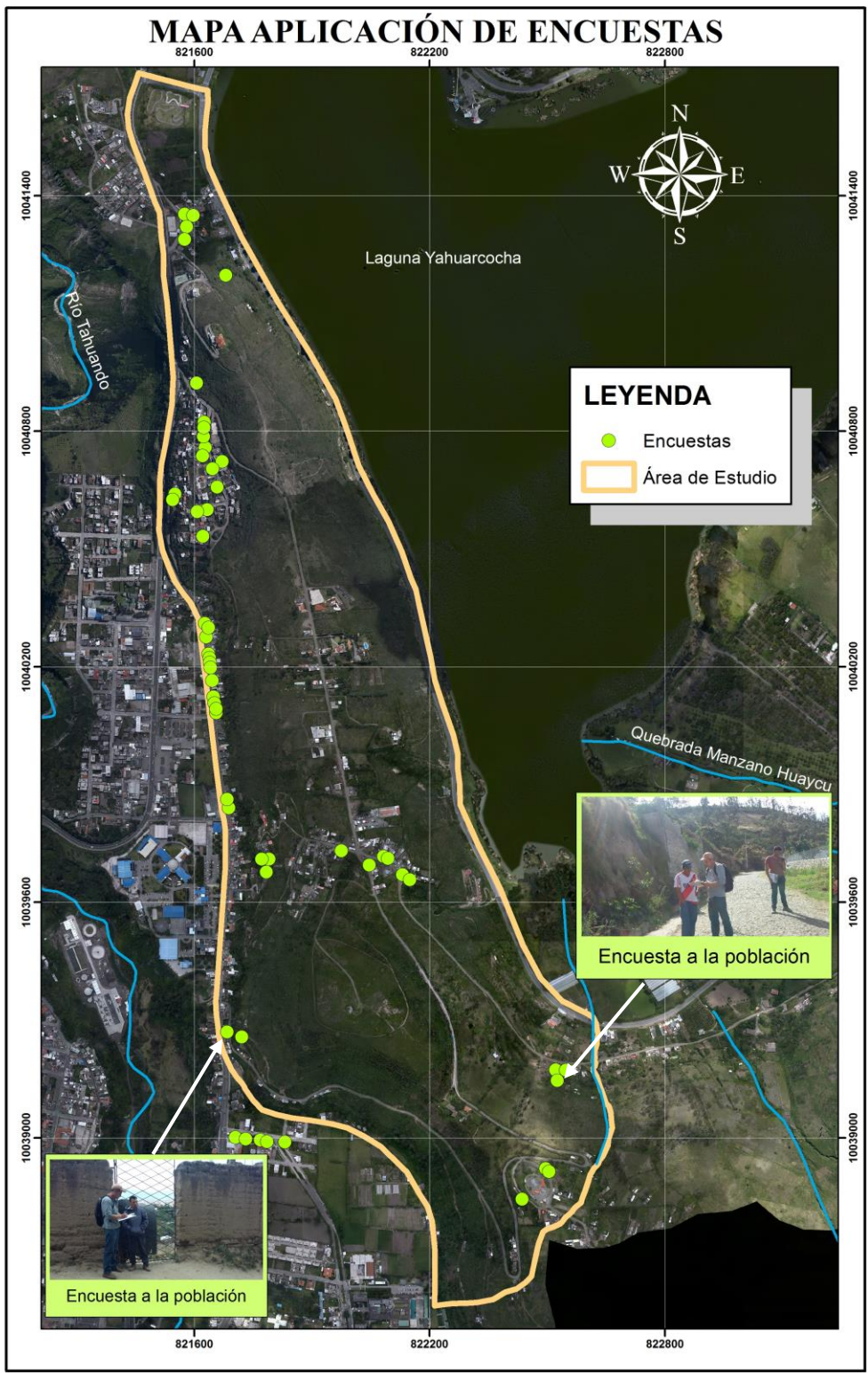
**FECHA:**      **LÁMINA:**

Septiembre 2018

**CIUDAD:**      **09/16**  
Ibarra  
ECUADOR



Lamina 10. Mapa ubicación aplicación de encuestas



**UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DEL NORTE**

**INSTITUTO DE  
POSGRADOS**

**MAESTRÍA:**  
Gestión Integral de  
Cuencas Hidrográficas

**TEMA:**  
Riesgos Ambientales

**DIRECTOR:**  
Ing. Guillermo Beltrán

**ESTUDIANTES:**  
Galo Valles / Diego Villalba

**PROYECCIÓN/DATUM:**  
UTM-WGS84 - ZONA 17 SUR

**ESCALA: 1:10.000**  
0 130 260 520 Metros

**FECHA:**      **LÁMINA:**

Septiembre 2018

**CIUDAD:**      **10/16**

Ibarra  
ECUADOR

Lamina 11. Mapa Inventario de deslizamientos



**UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DEL NORTE**

**INSTITUTO DE  
POSGRADOS**

**MAESTRÍA:**  
Gestión Integral de  
Cuencas Hidrográficas

**TEMA:**  
Riesgos Ambientales

**DIRECTOR:**  
Ing. Guillermo Beltrán

**ESTUDIANTES:**  
Galo Valles / Diego Villalba

**PROYECCIÓN/DATUM:**  
UTM-WGS84 - ZONA 17 SUR

**ESCALA: 1 : 10.000**

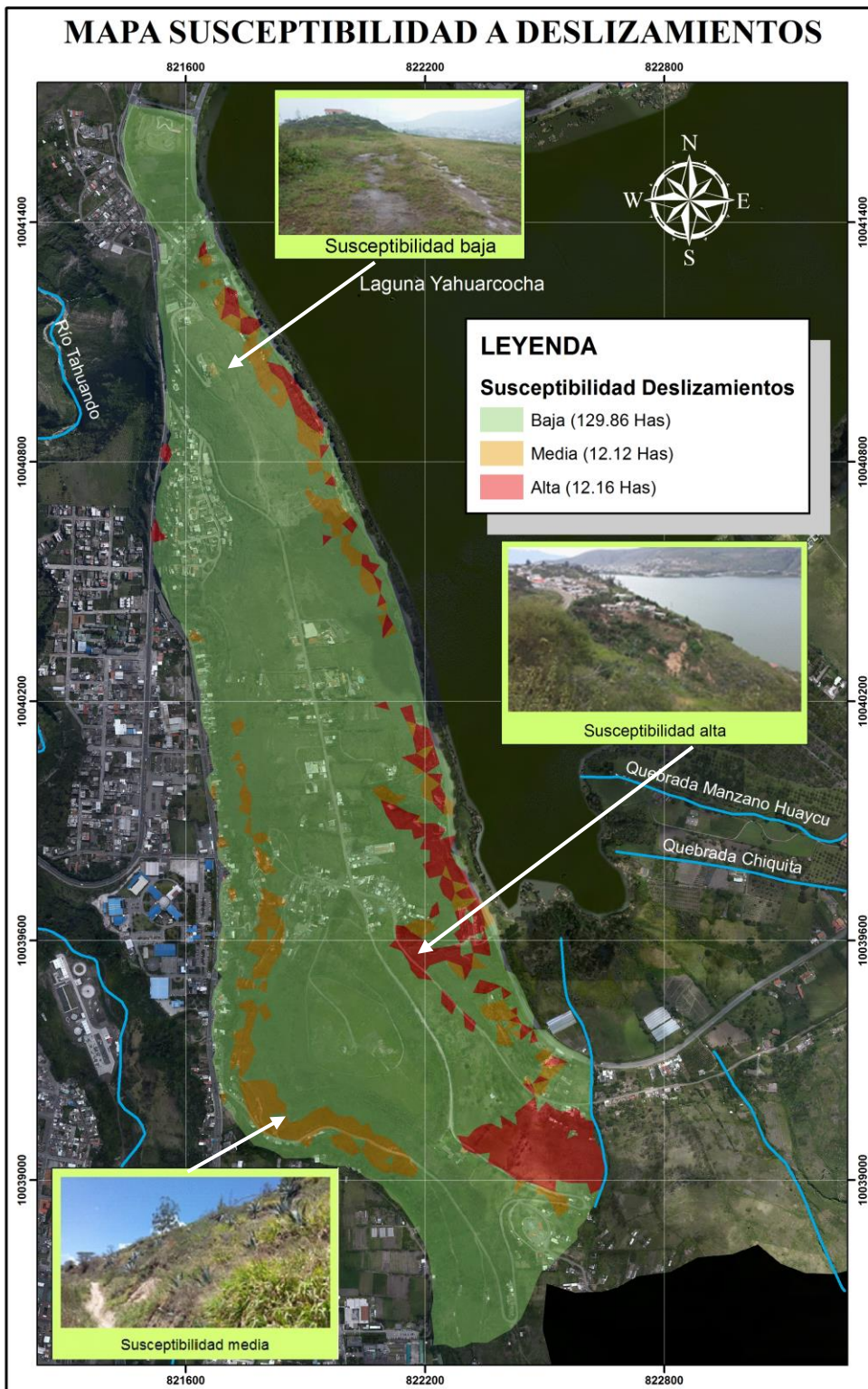
0 130 260 520  
Metros

**FECHA:** Septiembre 2018

**LÁMINA:**  
**11/16**

Ibarra  
ECUADOR

Lamina 12. Mapa susceptibilidad a deslizamientos



**UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DEL NORTE**

**INSTITUTO DE  
POSGRADOS**

**MAESTRÍA:**  
Gestión Integral de  
Cuencas Hidrográficas

**TEMA:**  
Riesgos Ambientales

**DIRECTOR:**  
Ing. Guillermo Beltrán

**ESTUDIANTES:**  
Galo Valles / Diego Villalba

**PROYECCIÓN/DATUM:**  
UTM-WGS84 - ZONA 17 SUR

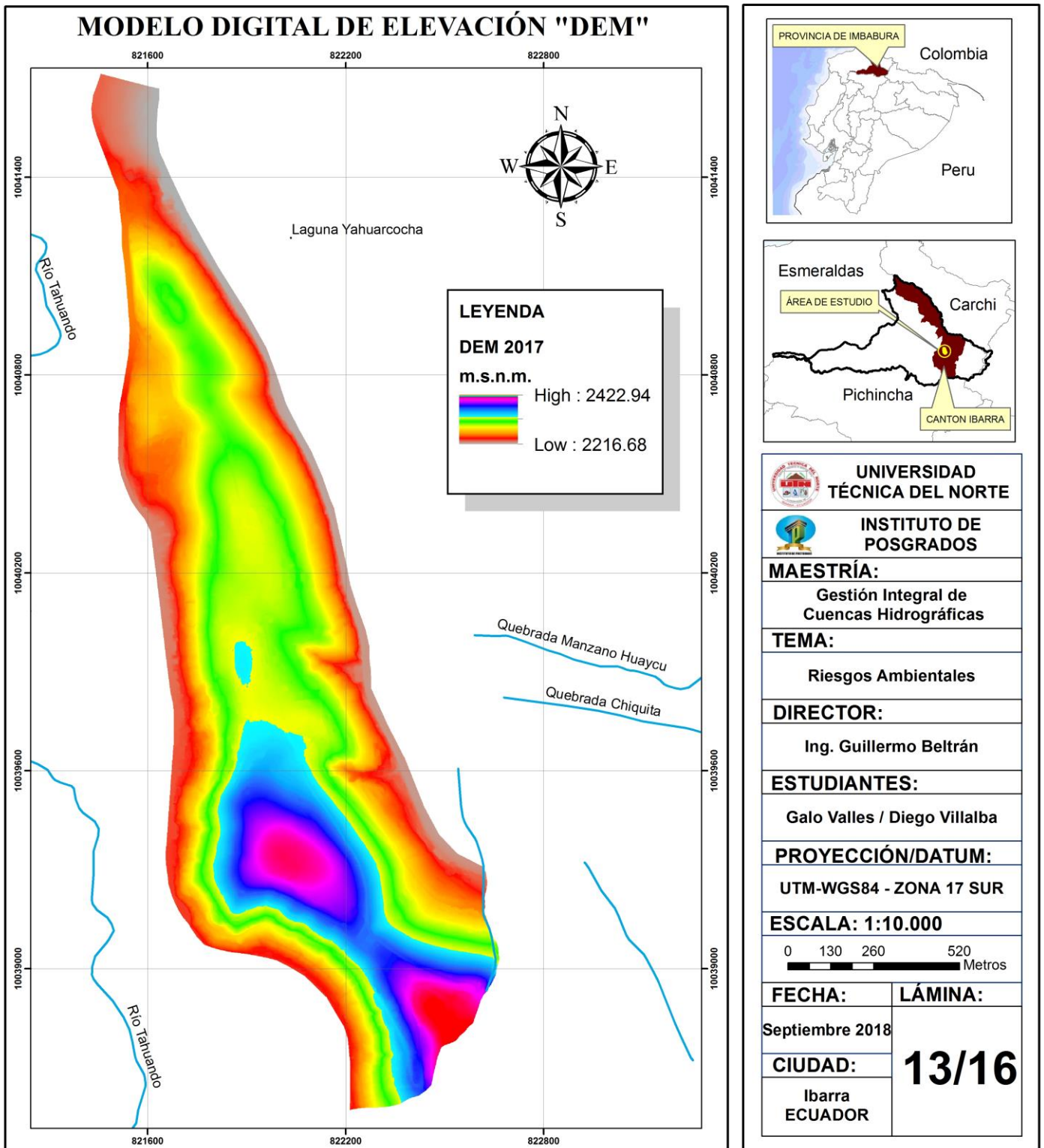
**ESCALA: 1 : 10.000**  
0 130 260 520 Metros

**FECHA:**      **LÁMINA:**

Septiembre 2018

**CIUDAD:**      **12/16**  
Ibarra  
ECUADOR

Lamina 13. Modelo digital de elevación año 2017



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**INSTITUTO DE POSGRADOS**

**MAESTRÍA:**  
Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

**TEMA:**  
Riesgos Ambientales

**DIRECTOR:**  
Ing. Guillermo Beltrán

**ESTUDIANTES:**  
Galo Valles / Diego Villalba

**PROYECCIÓN/DATUM:**  
UTM-WGS84 - ZONA 17 SUR

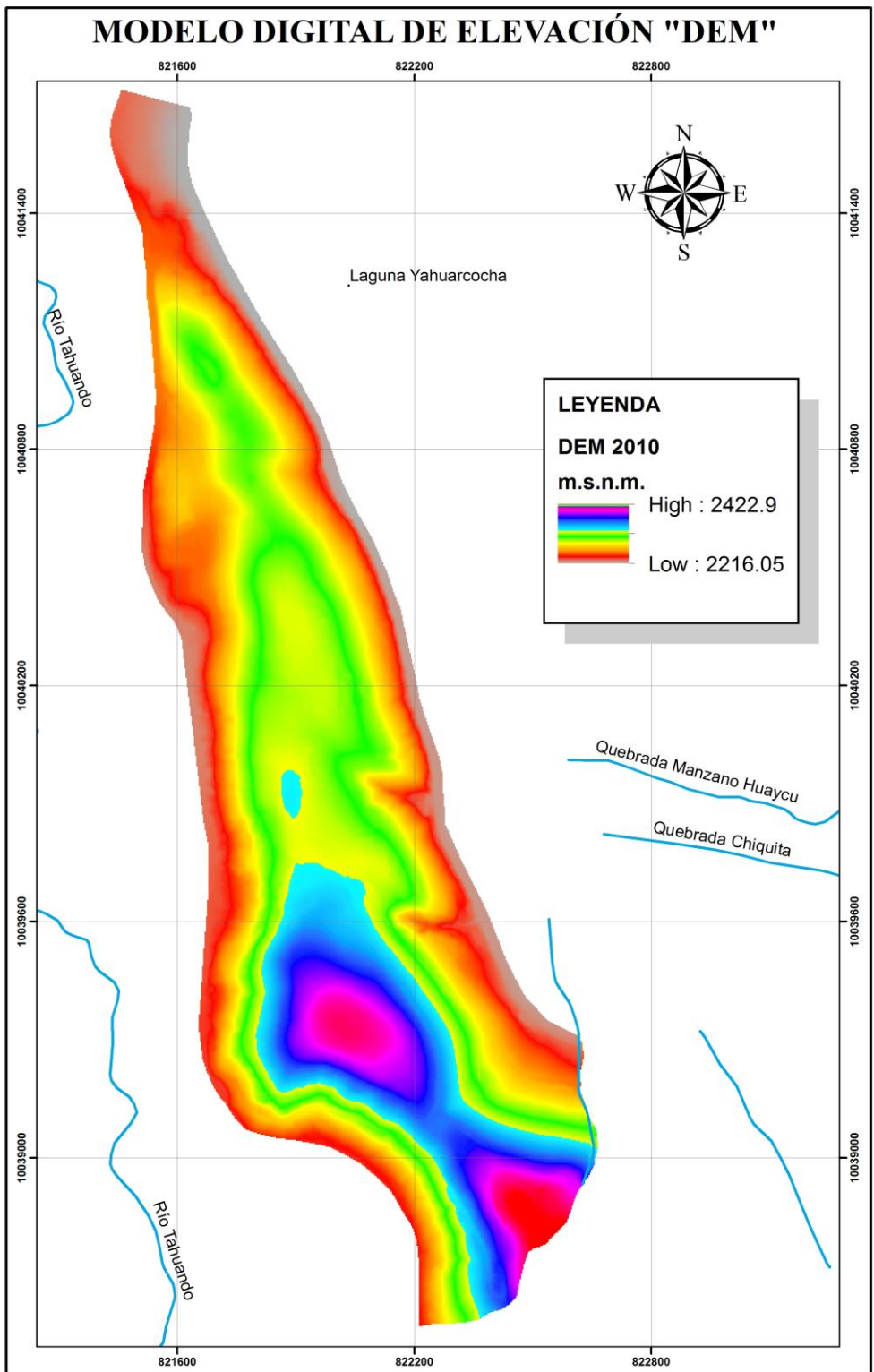
**ESCALA: 1:10.000**  
0 130 260 520 Metros

**FECHA:** Septiembre 2018

**LÁMINA:** 13/16

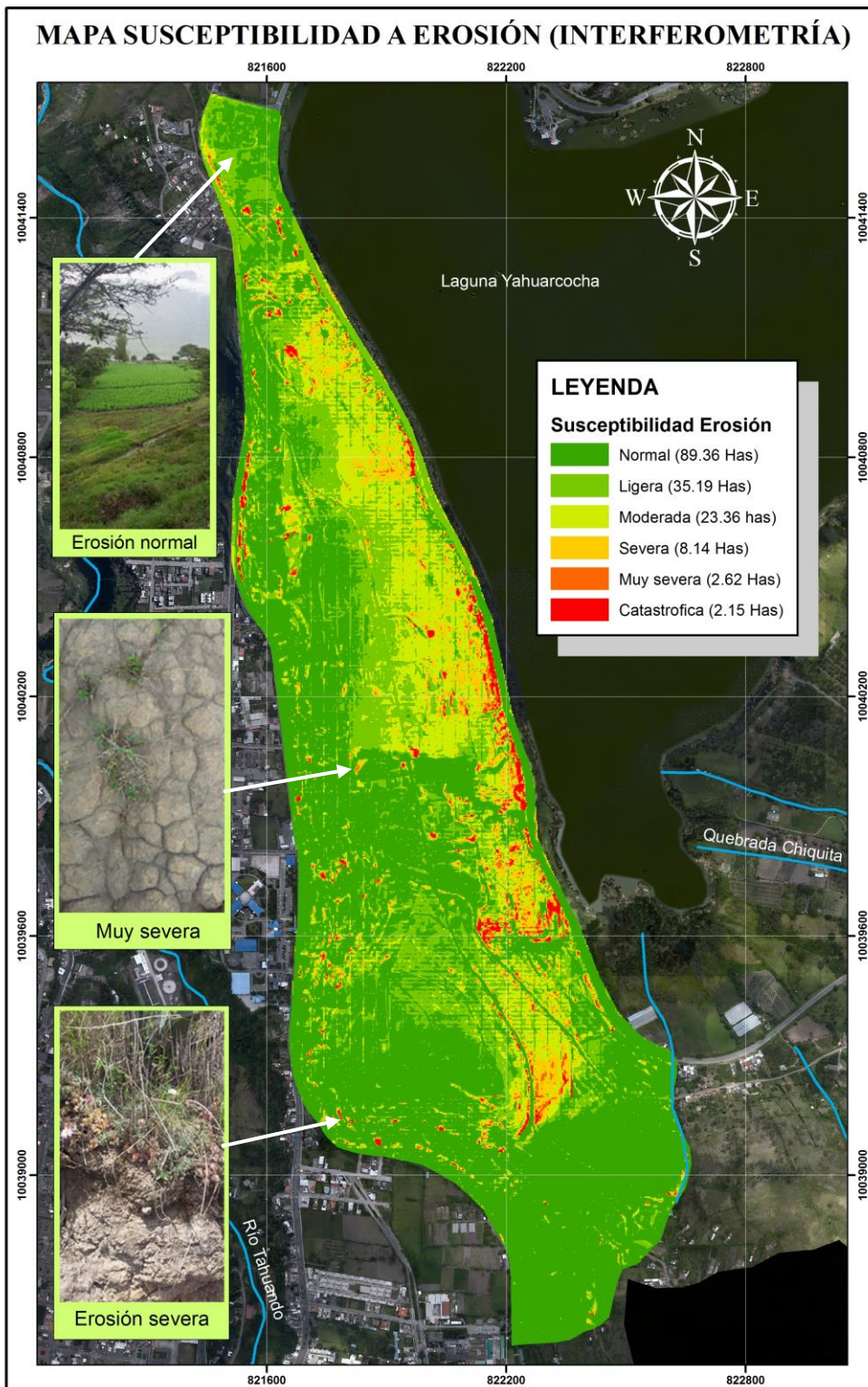
**CIUDAD:** Ibarra ECUADOR

Lamina 14. Modelo digital de elevación año 2010



<p><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE</b></p> <p><b>INSTITUTO DE POSGRADOS</b></p>	
<p><b>MAESTRÍA:</b></p> <p>Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas</p>	
<p><b>TEMA:</b></p> <p>Riesgos Ambientales</p>	
<p><b>DIRECTOR:</b></p> <p>Ing. Guillermo Beltrán</p>	
<p><b>ESTUDIANTES:</b></p> <p>Galo Valles / Diego Villalba</p>	
<p><b>PROYECCIÓN/DATUM:</b></p> <p>UTM-WGS84 - ZONA 17 SUR</p>	
<p><b>ESCALA: 1:10.000</b></p> <p>0 130 260 520 Metros</p>	
<p><b>FECHA:</b></p> <p>Septiembre 2018</p>	<p><b>LÁMINA:</b></p>
<p><b>CIUDAD:</b></p> <p>Ibarra ECUADOR</p>	<p><b>14/16</b></p>

Lamina 15. Mapa susceptibilidad a erosión (interferometría)



**UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DEL NORTE**

**INSTITUTO DE  
POSGRADOS**

**MAESTRÍA:**  
Gestión Integral de  
Cuencas Hidrográficas

**TEMA:**  
Riesgos Ambientales

**DIRECTOR:**  
Ing. Guillermo Beltrán

**ESTUDIANTES:**  
Galo Valles / Diego Villalba

**PROYECCIÓN/DATUM:**  
UTM-WGS84 - ZONA 17 SUR

**ESCALA: 1:10.000**

0 130 260 520  
Metros

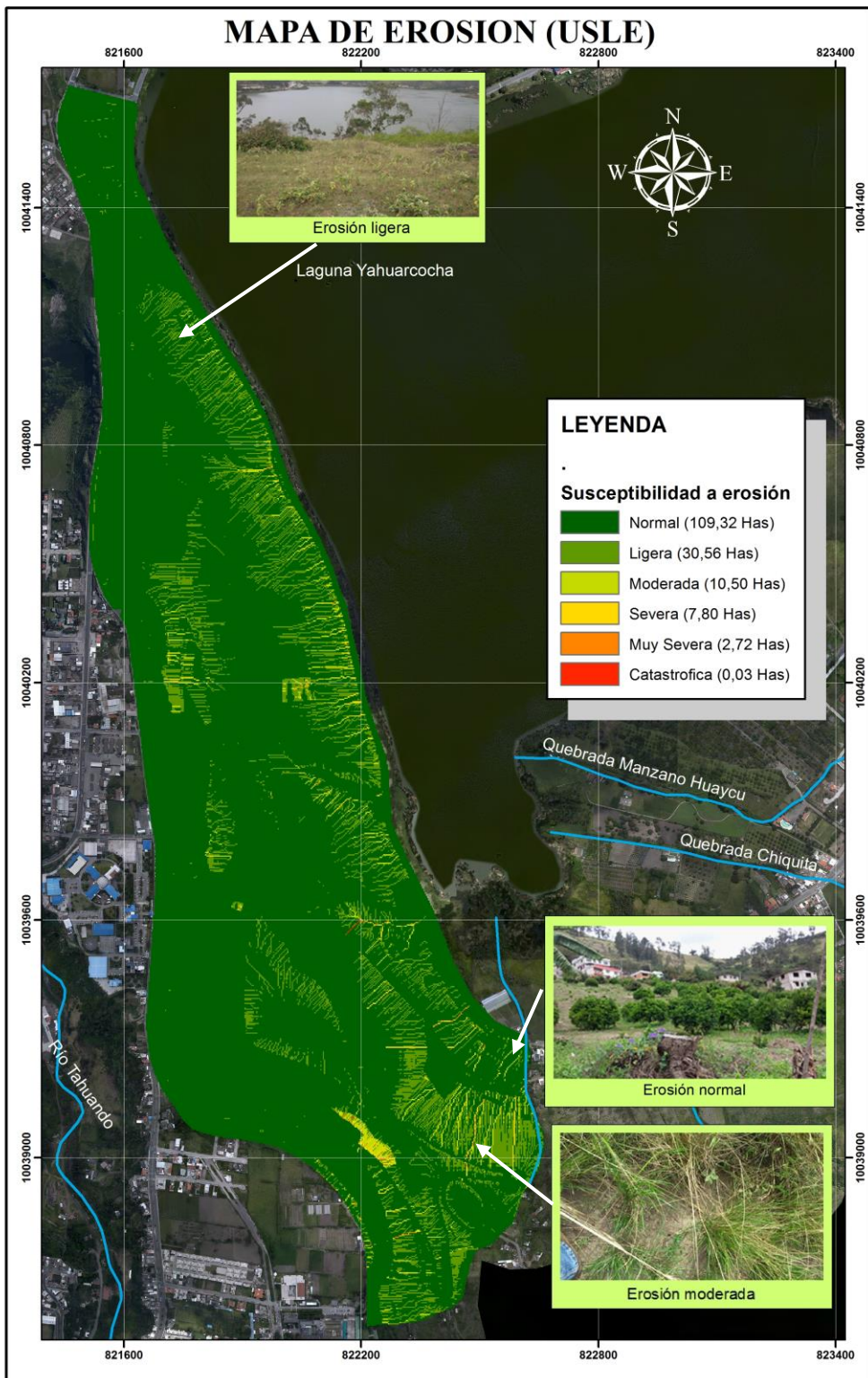
**FECHA:**      **LÁMINA:**

Septiembre 2018

**CIUDAD:**      **15/16**

Ibarra  
ECUADOR

lamina 16. Mapa susceptibilidad a erosión (USLE)



PROVINCIA DE IMBABURA

Colombia  
Peru

Esmeraldas

Carchi

Pichincha

CANTON IBARRA

ÁREA DE ESTUDIO

**UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DEL NORTE**

**INSTITUTO DE  
POSGRADOS**

**MAESTRÍA:**

Gestión Integral de  
Cuencas Hidrográficas

**TEMA:**

Riesgos Ambientales

**DIRECTOR:**

Ing. Guillermo Beltrán

**ESTUDIANTES:**

Galo Valles / Diego Villalba

**PROYECCIÓN/DATUM:**

UTM-WGS84 - ZONA 17 SUR

**ESCALA: 1:10.000**

0 125 250 500  
Metros

<b>FECHA:</b>	<b>LÁMINA:</b>
Septiembre 2018	<b>16/16</b>
<b>CIUDAD:</b>	
Ibarra ECUADOR	

# Anexo 4.

# FOTOGRAFÍAS

## **Fotos 1.** Aplicación de encuestas

**Foto 1.1** Encuesta vía antigua a Yahuarcocha

**Foto 1.2** Encuesta barrio Santa Marianita del Olivo

**Foto 1.3** Encuesta barrio Mirador del Olivo

## **Fotos 2.** Viviendas afectadas por deslizamientos

**Foto 2.1.** Vivienda afectada por deslizamiento (Vía al Arcángel)

**Foto 2.2.** Vivienda y camino peatonal afectada por deslizamiento (Olivo Alto)

**Foto 2.3.** Casa comunal afectada parcialmente por deslizamiento (La Quinta del Olivo)

**Foto 3.** Canal de riego el 15 (ubicado en el flanco derecho área de estudio)

**Foto 4.** Canal de riego (Flanco izquierdo del área de estudio Barrio la Quinta del Olivo)

**Foto 5.** Canal de riego (Ubicado en el flanco izquierdo del área de estudio)

## **Fotos 6.** Identificación de movimientos en masa

**Fotos 6.1.** Movimiento 1

**Fotos 6.2.** Movimiento 2

**Fotos 6.3.** Movimiento 3

**Fotos 6.4** Movimiento 4

**Fotos 6.5.** Movimiento 5

**Fotos 6.6.** Movimiento 6

**Fotos 6.7.** Movimiento 7

**Fotos 6.8.** Movimiento 8 – 9

**Fotos 6.9.** Movimiento 10

**Fotos 6.10.** Movimiento 11

**Fotos 6.11.** Movimiento 12

**Fotos 6.12.** Movimiento 13

**Fotos 6.13.** Movimiento 14 - 15 -16 -17

**Fotos 6.14.** Movimiento 18 – 19

**Fotos 6.15.** Movimiento 20

**Fotos 6.16.** Movimiento 21 - 22 - 23 – 24

**Fotos 6.17.** Movimiento 25 – 26

## **Fotos 7.** identificación puntos de validación

**Fotos 7.1** Identificación puntos en campo validación mapa movimientos en masa

**Fotos 7.2** Identificación puntos en campo validación mapa erosión

## **Fotos 8.** cobertura vegetal

**Fotos 8.1.** Vegetación arbustiva

**Fotos 8.2.** Vegetación herbácea



**Fotos 1.** Aplicación de encuestas



**Foto 1.1** Encuesta vía antigua a Yahuarcocha



**Foto 1.2** Encuesta Barrio Santa Marianita del Olivo



**Foto 1.3** Encuesta Barrio Mirador del Olivo

**Fotos 2.** Viviendas afectadas por deslizamientos



**Foto 2.1.** Vivienda afectada por deslizamiento (Vía al Arcángel)



**Foto 2.2.** Vivienda y camino peatonal afectada por deslizamiento (Olivo Alto)



**Foto 2.3.** Casa comunal afectada parcialmente por deslizamiento (La Quinta del Olivo)



**Foto 3.** Canal de riego el 15 (ubicado en el flanco derecho área de estudio)



**Foto 4.** Canal de riego (Flanco izquierdo del área de estudio Barrio la Quinta del Olivo)



**Foto 5.** Canal de riego (Ubicado en el flanco izquierdo del área de estudio)

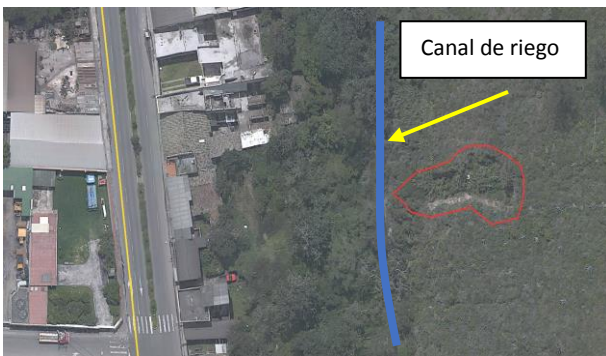
**Fotos 6. Identificación de movimientos en masa**



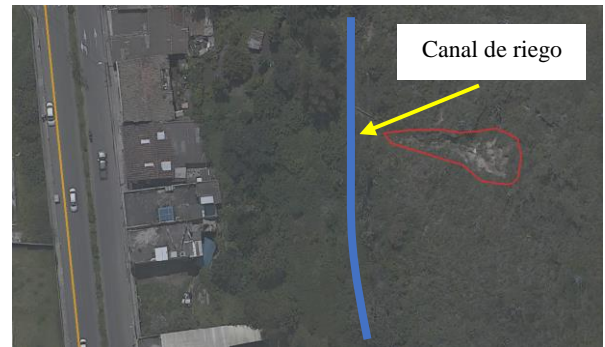
**Fotos 6.1. Movimiento 1**



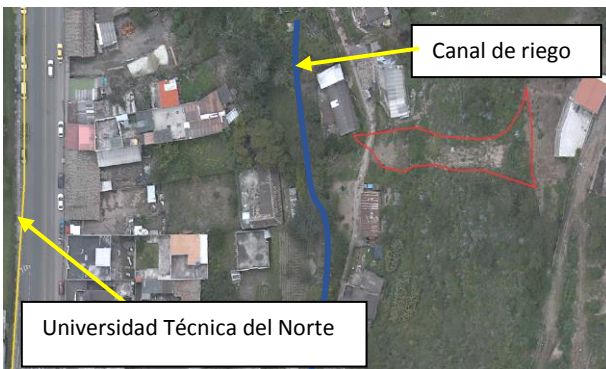
**Fotos 6.2. Movimiento 2**



**Fotos 6.3. Movimiento 3**



**Fotos 6.4. Movimiento 4**

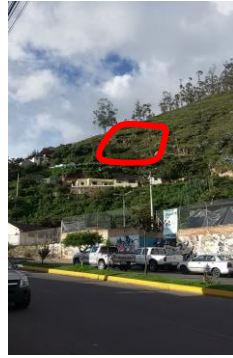


**Fotos 6.5. Movimiento 5**

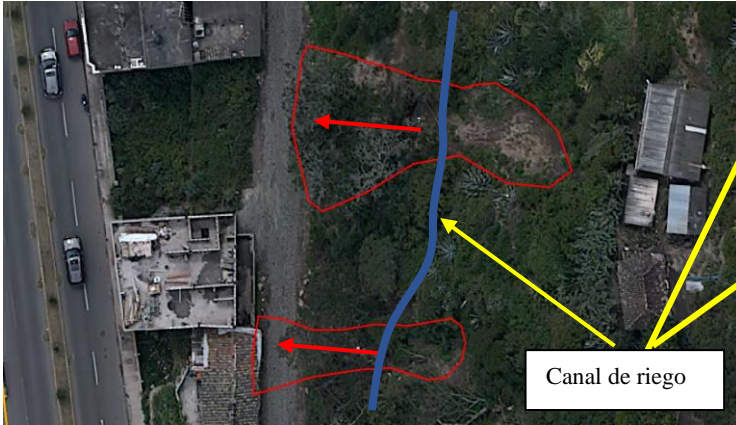


**Fotos 6.6. Movimiento 6**

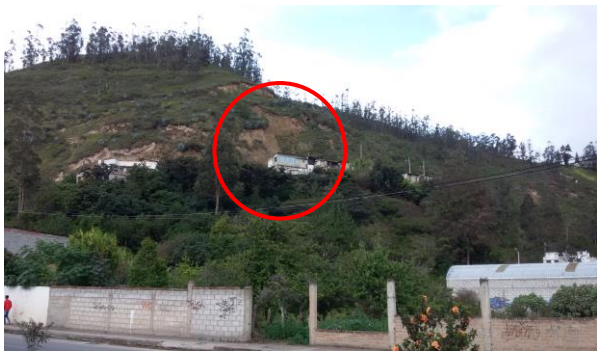




**Fotos 6.7. Movimiento 7**



**Fotos 6.8. Movimiento 8 - 9**



**Fotos 6.9. Movimiento 10**



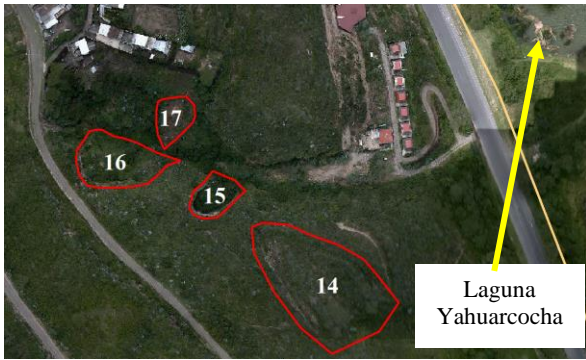
**Fotos 6.10. Movimiento 11**



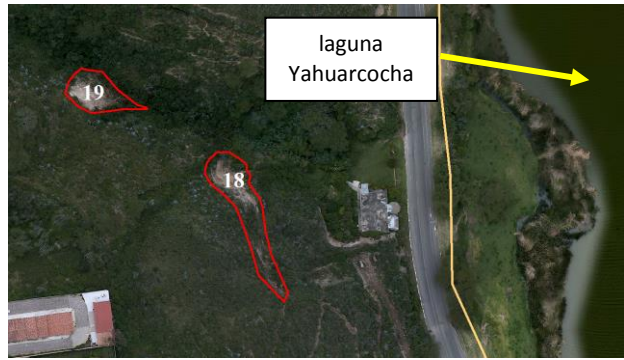
**Fotos 6.11. Movimiento 12**



**Fotos 6.12. Movimiento 13**



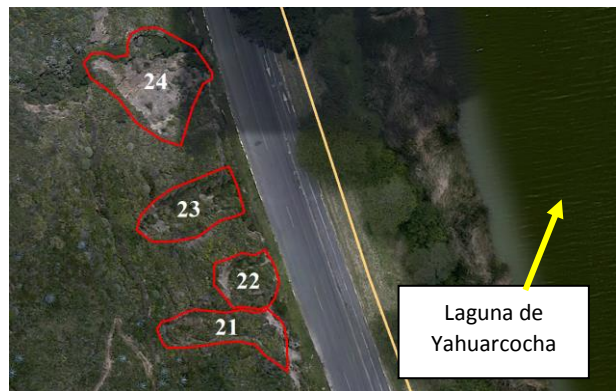
**Fotos 6.13.** Movimiento 14 - 15 -16 -17



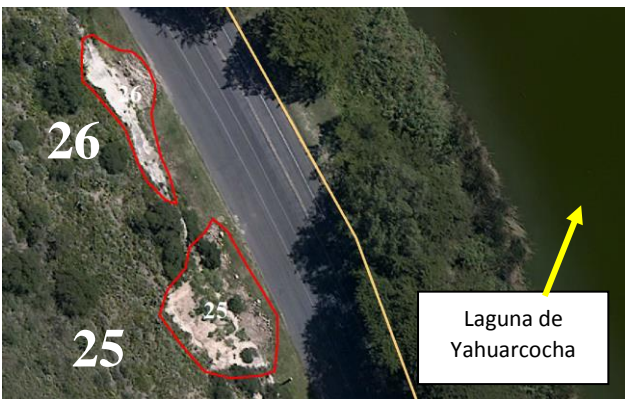
**Fotos 6.14.** Movimiento 18 - 19



**Fotos 6.15.** Movimiento 20



**Fotos 6.16.** Movimiento 21 - 22 - 23 - 24



**Fotos 6.17.** Movimiento 25 - 26

## Fotos 7. Identificación puntos de validación



Fotos 7.1 Identificación puntos en campo validación mapa deslizamientos



Fotos 7.2 Identificación puntos en campo validación mapa erosión

## Fotos 8. Cobertura vegetal



Fotos 8.1. Vegetación arbustiva



Fotos 8.2. Vegetación herbácea