



**Estimación de la susceptibilidad a deslizamientos en el área de los ríos Guasuntos,
Picay y Chanchan, provincia del Chimborazo, utilizando técnicas geoespaciales, como
insumo para los PDOT de los cantones**

Cabascango Lara, Daniela del Pilar e Iguago Guevara, Mayra Cristina

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera Geógrafa y del Medio
Ambiente

Dr. Padilla Almeida Oswaldo Vinicio.

10 de noviembre de 2022



TESIS_CABASCANGO_IGUAGO_SOLO_TEXTO.pdf

Scanned on: 14:43 November 10, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	821
Words with Minor Changes	910
Paraphrased Words	803
Omitted Words	0

Firma



Firmado electrónicamente por:
OSWALDO VINICIO
PADILLA ALMEIDA

Ing. Oswaldo Padilla, MSc.

Director.



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación **"Estimación de la susceptibilidad a deslizamientos en el área de los ríos Guasuntos, Picay y Chanchan, provincia del Chimborazo, utilizando técnicas geoespaciales, como insumo para los PDOT de los cantones"** fue realizado por las señoritas **Cabascango Lara, Daniela del Pilar e Iguago Guevara, Mayra Cristina**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.



Escaneo electrónico con firma digital
**OSWALDO VINICIO
PADILLA ALMEIDA**

Ing. Oswaldo Padilla, MSc.

CI: 1709776650

Director.



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción
Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Responsabilidad de Autoría

Nosotras, **Cabascango Lara, Daniela del Pilar e Iguago Guevara, Mayra Cristina**, con cédulas de ciudadanía n°172580106-0 y 172439919-9 correspondientemente, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Estimación de la susceptibilidad a deslizamientos en el área de los ríos Guasuntos, Picay y Chanchan, provincia del Chimborazo, utilizando técnicas geoespaciales, como insumo para los PDOT de los cantones"**. Es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 10 de noviembre del 2022

Cabascango Lara, Daniela del Pilar

C.C.:1725801060

Iguago Guevara, Mayra Cristina

C.C.:1724399199



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción
Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Autorización de Publicación

Nosotras, **Cabascango Lara, Daniela del Pilar e Iguago Guevara, Mayra Cristina**, con cédulas de ciudadanía n°172580106-0 y 172439919-9 correspondientemente, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Estimación de la susceptibilidad a deslizamientos en el área de los ríos Guasuntos, Picay y Chanchan, provincia del Chimborazo, utilizando técnicas geoespaciales, como insumo para los PDOT de los cantones"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 10 de noviembre del 2022.

Cabascango Lara, Daniela del Pilar

C.C.:1725801060

Iguago Guevara, Mayra Cristina

C.C.:1724399199

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a mis ángeles en el cielo Pilar, Luis y José que con todo el amor que me regalaron hicieron que se refleje en cada acción que realizo, esto lo hice con ustedes en el corazón.

A mi hermana Fernanda el ser más luchador, bondadoso, trabajador y lleno de amor, sin ti nada de esto hubiese pasado, te amo.

A Sofia, la más pequeñita, porque día a día abro mis ojos y lucho para ti

A Solange, mi amiga de toda la vida, que, aunque un continente nos separe, sé que siempre estas, gracias por tus palabras de aliento, años de compañía y amor incondicional.

A Carolina, Christopher, Mónica, Josselyn, Jhon, Tamara, Mishell, Cristian y Bryan amigos que hicieron que esta etapa sea la mejor de mi vida, gracias por cada momento compartido.

A Mayra mi compañera de lucha, gracias por brindarme tu hombro para llorar y por jamás soltarme, este proyecto jamás se hubiese hecho realidad sin tu brillantez, gracias por convertirte en mi hermana y caminar junto a mí.

Y para a mi perrita Canela que ha sido mi compañera en absolutamente todas las noches de este camino, admiro el amor que día a día me da sin pedirme nada, que hubiese hecho sin ti.

Daniela

Dedicatoria

Este trabajo de titulación lo dedico a mis padres Fabián y Cecilia porque sin el apoyo de ellos no lo habría logrado, pues estuvieron junto a mí en todo este largo proceso, que con sus palabras de aliento y todo su amor, me llevaron a culminar una meta más, los amo con mi vida entera.

A mis hermanos, Rodolfito, Fausto y Liz, por estar siempre al pendiente de mí, y darme su apoyo en todo momento, a pesar de mis enojos repentinos, los amo.

A mis abuelitos, que los amo con todo el corazón, gracias por todo el amor que me dan, por llevarme siempre en sus oraciones, porque no tengo duda de que lo hacen, por sus consejos de vida que han llevado a ser una gran persona, gracias por confiar en mí.

A mi compañera de tesis, Daniela mi amiga del alma, por su esfuerzo y dedicación en este proyecto, porque cuando iniciamos este trabajo teníamos miedo, pero juntas lo sacamos adelante y logramos culminar con éxito.

Mayra

Agradecimiento

Agradezco a Dios por cada oportunidad que me brinda, porque puedo abrir los ojos, ver el sol día a día y permitirme caminar y aprender.

Agradezco a mis ángeles en el cielo, mis padres que sin importar los años que pasen siempre están en mi corazón y en mi mente alentándome a continuar. No los olvido jamás

Agradezco a mi ángel en la tierra, mi hermana María Fernanda, que sin ella jamás lo hubiese logrado, todo es por ti y para ti. A mi sobrina Sofía que con sus ocurrencias y abrazos ha sabido curar mi corazón y levantarme el ánimo cuando ya no podía seguir.

Agradezco a mis padrinos Susana y Víctor que desde el primer día han sabido cuidarme y en ningún momento dejarme sola, son un ejemplo en mi vida.

Agradezco a mi tutor de tesis Ing. Oswaldo Padilla que con su paciencia y sabiduría supo guiarnos y ayudarnos a terminar con éxito este proyecto. Al Ing. Rodolfo Salazar por sus palabras de aliento y sus ideas brillantes en todo este proceso.

Al ingeniero Mario Cruz que no dudo ni un segundo en abrirnos su mente y su corazón para guiarnos en el camino, con toda mi alma, gracias.

Daniela

Agradecimiento

En primer lugar, agradezco a Dios, por guiarme en este caminar y ponerme las personas correctas en este camino.

A mis padres, quienes han sido mi pilar fundamental en este proceso por confiar en mí en todo momento, pues sin ellos no estaría donde hoy estoy

A Daniela, mi amiga del alma, por acompañarme en toda esta travesía, nunca dejarme sola y hacer que todo sea más llevadero, agradezco tanto el poder culminar contigo esta meta, por enseñarme a confiar más en mí, y recordarme siempre que todo lo que me proponga lo puedo conseguir, gracias de todo corazón.

A Sherley, por su apoyo incondicional, quien ha estado junto a mí en risas, llantos, enojos y más, que con sus palabras y abrazos siempre me reconforta, por ser esa amiga, hermana, que nunca me ha dejado sola, gracias por ser parte de este proceso y estar junto a mí en cada paso, espero que estas palabras logren expresar todo lo que siento, agradezco infinitamente habernos cruzado en esta vida.

A mis amigos, Moni, Liz, Mabel, Grace, Jonson por los momentos tan lindos que hemos compartido, porque sin ustedes esta etapa no hubiese sido la misma, por brindarme sus palabras de aliento, y su gran amistad que la llevo en el corazón.

Al ingeniero Mario Cruz, por acompañarnos y guiarnos en el proceso, impartiendo sus conocimientos para el desarrollo de este trabajo, por ser ese amigo, profesor, que ha aportado aspectos positivos a nuestras vidas. A mis profesores Ing. Oswaldo Padilla, Ing. Rodolfo Salazar, por guiarnos y ayudarnos a culminar satisfactoriamente este proyecto de titulación.

Mayra

Índice de contenidos

- Dedicatoria	6
- Agradecimiento	8
- Índice de contenidos.....	10
- Índice de Tablas	17
- Índice de Figuras.....	21
- Resumen.....	25
- Abstract.....	26
- Capítulo I.....	27
- Aspectos Generales	27
Antecedentes	27
Planteamiento del problema.....	31
Justificación e importancia.....	31
- Objetivos	34
Objetivo General	34
Objetivos Específicos	34
Metas	35
- Capitulo II.....	35
- Marco teórico.....	36
Riesgos	36

Riesgos naturales.....	36
Deslizamientos	38
Susceptibilidad de deslizamientos	39
Tipos de deslizamientos	40
Causas de los deslizamientos	40
Técnicas de modelamiento de deslizamientos.....	41
Tecnologías de la información Geográfica.....	42
Ortofotos	43
Generación de modelos cartográficos en SIG	43
Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process: AHP)	44
Redes Neuronales.....	44
Lógica Difusa.....	48
Regresión Logística.....	49
Regresión Lineal	50
Tipos de R^2	51
Base Legal	52
Constitución del Ecuador.....	52
- Leyes orgánicas y especiales.....	53
COOTAD.....	53
- Capítulo III	53
Área de estudio	54

Recopilación de información.....	55
Fotointerpretación de los puntos de muestreo	56
Digitalización	57
Generación de la base de datos.....	57
Análisis de variables y relaciones	57
Distancia a vías de comunicación	57
Cobertura Vegetal.....	58
Distancia a ríos	60
Litología	61
Pendiente	63
Precipitaciones	64
Infraestructura Hidrosanitaria	65
Fallas geológicas	65
Geomorfología	67
Tipo de suelo	68
Erosión	69
- Metodología de Satty.....	71
Modelo cartográfico.....	74
- Normalización de datos	75
- Metodología Fuzzy	76
Comportamiento de las variables que intervienen	76

Conversión a Radianes	79
Probabilidad en variables	79
Obtención del modelo.....	80
Proceso estadístico	82
Análisis fuzzy ponderada.....	83
Obtención del modelo.....	84
Modelo Cartográfico	85
- Regresión lineal.....	85
Obtención del modelo	88
Modelo Cartográfico.....	89
- Regresión Logística.....	89
Obtención del modelo	92
Modelo Cartográfico	93
- Análisis de Redes Neuronales.....	94
Generación del modelo	95
- Ajuste de modelos	97
- Diseño muestral de campo	99
- Capítulo IV.....	101
- Resultados	101
Análisis y descripción de los modelos obtenidos	102
Modelo Fuzzy	102

Modelo Regresión Lineal	104
Primer trimestre	105
Modelo intro	105
Modelo eliminar	106
Modelo por pasos	106
Modelo hacia atrás.....	107
Segundo trimestre del año.....	107
Modelo intro	107
Modelo hacia adelante	108
Modelo eliminar	108
Modelo por pasos	108
Modelo hacia atrás.....	109
Modelo hacia adelante	109
Anual	110
Modelo intro	110
Modelo eliminar	110
Modelo por pasos	110
Modelo hacia atrás.....	111
Modelo hacia adelante	111
Modelo Regresión Logística	113
Primer trimestre del año	113

Modelo Intro.....	113
Modelo Hacia adelante condicional.....	114
Modelo Hacia adelante verosimilitud.....	115
Modelo Hacia adelante Wald	115
Modelo Hacia atrás condicional	116
Modelo Hacia atrás verosimilitud	118
Modelo Hacia atrás Wald	119
Segundo trimestre	120
Modelo Intro.....	120
Modelo Hacia adelante condicional.....	121
Modelo Hacia adelante verosimilitud.....	121
Modelo Hacia adelante Wald	122
Modelo Hacia atrás condicional	123
Modelo Hacia atrás verosimilitud	125
Modelo Hacia atrás Wald	126
Anual.....	127
Modelo Intro.....	127
Modelo Hacia adelante condicional.....	127
Modelo Hacia adelante verosimilitud.....	128
Modelo Hacia adelante Wald	129
Modelo Hacia atrás condicional	130

Modelo Hacia atrás verosimilitud	131
Modelo Hacia atrás Wald	132
- Modelo Redes Neuronales	135
- Verificación de campo	138
Punto 1	138
Punto 2	140
Punto 3	142
Punto 4	146
Punto 5	149
Punto 6	153
Punto 7	156
Punto 8	157
Punto 9	160
Punto 10	164
Punto 11	166
Punto 12	168
Punto 13	170
Punto 14	172
- Propuesta de plan de Gestión de Riesgo	175
Propuesta	176
Cobertura	177

Amplitud	177
Alcance	177
Antes	178
Durante	180
Después	181
Medidas de rehabilitación	181
Responsables del proceso	181
Esquema de resumen de la propuesta de gestión de riesgo	183
- Capítulo V	184
- Conclusiones y recomendaciones	184
Conclusiones	184
Recomendaciones	186
Bibliografía	188

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Recopilación de datos para e proyecto de investigación</i>	55
Tabla 2 <i>Índices de protección por la vegetación</i>	59
Tabla 3 <i>Ponderación de Saaty para cobertura vegetal</i>	72
Tabla 4 <i>Ponderación de Saaty para tipos de suelo</i>	72
Tabla 5 <i>Ponderación de Saaty para geomorfología</i>	72
Tabla 6 <i>Ponderación de Saaty para litología del are de estudio</i>	73
Tabla 7 <i>Ponderación de Saaty para la erosión.</i>	74

Tabla 8 <i>Relación de variables para metodología Fuzzy</i>	77
Tabla 9 <i>Porcentaje aciertos del primer modelo Fuzzy</i>	82
Tabla 10 <i>Porcentaje aciertos del segundo modelo Fuzzy</i>	83
Tabla 11 <i>Porcentaje aciertos del tercer modelo Fuzzy</i>	83
Tabla 12 <i>Ponderación Metodología Fuzzy</i>	83
Tabla 13 <i>Coeficientes de las variables</i>	95
Tabla 14 <i>Ajuste estadístico de los modelos resultantes</i>	98
Tabla 15 <i>Ajuste estadístico de los modelos resultantes en el campo</i>	98
Tabla 16 <i>Ajuste estadístico de los modelos resultantes</i>	100
Tabla 17 <i>Datos estadísticos Fuzzy 1er trimestre</i>	102
Tabla 18 <i>Resumen del modelo intro del primer trimestre</i>	105
Tabla 19 <i>Coeficientes del modelo intro del primer trimestre</i>	105
Tabla 20 <i>Resumen del modelo eliminar del primer trimestre</i>	106
Tabla 21 <i>Resumen del modelo por pasos del primer trimestre</i>	106
Tabla 22 <i>Resumen del modelo hacia atrás del primer trimestre</i>	107
Tabla 23 <i>Resumen del modelo intro del segundo trimestre</i>	108
Tabla 24 <i>Resumen del modelo hacia adelante del primer trimestre</i>	107
Tabla 25 <i>Resumen del modelo eliminar del segundo trimestre</i>	108
Tabla 26 <i>Resumen del modelo por pasos del segundo trimestre</i>	108
Tabla 27 <i>Resumen del modelo hacia atrás del segundo trimestre</i>	109
Tabla 28 <i>Resumen del modelo hacia adelante del segundo trimestre</i>	109
Tabla 29 <i>Resumen del modelo intro anual</i>	110
Tabla 30 <i>Resumen del modelo eliminar anual</i>	110
Tabla 31 <i>Resumen del modelo por pasos anual</i>	110
Tabla 32 <i>Resumen del modelo hacia atrás anual</i>	111

Tabla 33 <i>Resumen del modelo hacia adelante anual</i>	111
Tabla 34 <i>Resumen de los modelos por trimestres</i>	111
Tabla 35 <i>Coeficientes del modelo intro del primer trimestre</i>	113
Tabla 36 <i>Resumen del modelo intro del primer trimestre</i>	114
Tabla 37 <i>Datos de clasificación y pronóstico del modelo intro del primer trimestre</i>	114
Tabla 38 <i>Resumen del modelo Hacia adelante condicional primer trimestre</i>	114
Tabla 39 <i>Datos de clasificación y pronóstico del modelo</i>	114
Tabla 40 <i>Resumen del modelo Hacia adelante verosimilitud primer trimestre</i>	115
Tabla 41 <i>Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia adelante verosimilitud</i>	115
Tabla 42 <i>Resumen del modelo Hacia adelante Wald primer trimestre</i>	115
Tabla 43 <i>Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia adelante Wald</i>	116
Tabla 44 <i>Resumen del modelo Hacia atrás condicional primer trimestre</i>	116
Tabla 45 <i>Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia atrás condicional</i>	117
Tabla 46 <i>Resumen del modelo Hacia atrás verosimilitud</i>	118
Tabla 47 <i>Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia atrás</i>	118
Tabla 48 <i>Resumen del modelo Hacia atrás Wald primer trimestre</i>	119
Tabla 49 <i>Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia atrás Wald</i>	119
Tabla 50 <i>Resumen del modelo intro del segundo trimestre</i>	120
Tabla 51 <i>Datos de clasificación y pronóstico del modelo intro</i>	120
Tabla 52 <i>Resumen del modelo Hacia adelante condicional</i>	121
Tabla 53 <i>Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia adelante</i>	121
Tabla 54 <i>Resumen del modelo Hacia adelante verosimilitud</i>	121
Tabla 55 <i>Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia adelante</i>	122
Tabla 56 <i>Resumen del modelo Hacia adelante Wald</i>	122
Tabla 57 <i>Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia adelante</i>	123

Tabla 58 <i>Resumen del modelo Hacia atrás condicional segundo trimestre</i>	123
Tabla 59 <i>Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia atrás condicional</i>	124
Tabla 60 <i>Resumen del modelo Hacia atrás verosimilitud</i>	125
Tabla 61 <i>Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia atrás verosimilitud</i>	125
Tabla 62 <i>Resumen del modelo Hacia atrás Wald</i>	126
Tabla 63 <i>Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia atrás Wald</i>	126
Tabla 64 <i>Resumen del modelo intro anual</i>	127
Tabla 65 <i>Datos de clasificación y pronóstico del modelo intro anual</i>	127
Tabla 66 <i>Resumen del modelo Hacia adelante condicional anual</i>	127
Tabla 67 <i>Datos de clasificación y pronóstico del modelo</i>	128
Tabla 68 <i>Resumen del modelo Hacia adelante</i>	128
Tabla 69 <i>Datos de clasificación y pronóstico del modelo</i>	129
Tabla 70 <i>Resumen del modelo Hacia adelante Wald</i>	129
Tabla 71 <i>Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia adelante</i>	129
Tabla 72 <i>Resumen del modelo Hacia atrás condicional anual</i>	130
Tabla 73 <i>Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia atrás</i>	130
Tabla 74 <i>Resumen del modelo Hacia atrás verosimilitud anual</i>	131
Tabla 75 <i>Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia atrás</i>	131
Tabla 76 <i>Resumen del modelo Hacia atrás Wald anual</i>	132
Tabla 77 <i>Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia atrás</i>	132
Tabla 78 <i>Tabla de resumen de los modelos construidos</i>	133
Tabla 79 <i>Parámetros establecidos en la arquitectura de la red</i>	135
Tabla 80 <i>Resumen del modelo</i>	136
Tabla 81 <i>Tonalidad del punto en cada modelo</i>	139
Tabla 82 <i>Tonalidad del punto en cada modelo</i>	142

Tabla 83 <i>Tonalidad del punto en cada modelo</i>	145
Tabla 84 <i>Tonalidad del punto en cada modelo</i>	148
Tabla 85 <i>Tonalidad del punto en cada modelo</i>	152
Tabla 86 <i>Tonalidad del punto en cada modelo</i>	155
Tabla 87 <i>Tonalidad del punto en cada modelo</i>	157
Tabla 88 <i>Tonalidad del punto en cada modelo</i>	159
Tabla 89 <i>Tonalidad del punto en cada modelo</i>	164
Tabla 90 <i>Tonalidad del punto en cada modelo</i>	165
Tabla 91 <i>Tonalidad del punto en cada modelo</i>	167
Tabla 92 <i>Tonalidad del punto en cada modelo</i>	170
Tabla 93 <i>Tonalidad del punto en cada modelo</i>	172
Tabla 94 <i>Tonalidad del punto en cada modelo</i>	174

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Tipos de desastres naturales</i>	38
Figura 2 <i>Partes de un deslizamiento</i>	40
Figura 3 <i>Deslizamiento Rotacional</i>	45
Figura 4 <i>Representación de la arquitectura de una red neuronal</i>	55
Figura 5 <i>Delimitación del área de estudio</i>	58
Figura 6 <i>Influencia de la distancia a vías en la zona de estudio</i>	60
Figura 7 <i>Influencia de la cobertura vegetal en la zona de estudio</i>	61
Figura 8 <i>Influencia de distancia a ríos en la zona de estudio</i>	62
Figura 9 <i>Influencia de litología en el área de estudio</i>	63
Figura 10 <i>Influencia de pendientes en el área de estudio</i>	64

Figura 11 <i>Influencia de precipitaciones en el área de estudio.</i>	65
Figura 12 <i>Influencia de la distancia a infraestructura hidrosanitaria en el área de estudio.</i>	66
Figura 13 <i>Influencia de las fallas geológicas en el área de estudio</i>	67
Figura 14 <i>Influencia de geomorfología en el área de estudio.</i>	69
Figura 15 <i>Influencia del tipo de suelo en la zona de estudio.</i>	70
Figura 16 <i>Influencia de erosión en el área de estudio</i>	71
Figura 17 <i>Interfaz ArcGis 10.8.</i>	74
Figura 18 <i>Modelo cartográfico del manejo de variables.</i>	76
Figura 19 <i>Interfaz ArcGis 10.8.</i>	79
Figura 20 <i>Interfaz ArcGis 10.8.</i>	80
Figura 21 <i>Interfaz ArcGis 10.8.</i>	81
Figura 22 <i>Interfaz ArcGis 10.8.</i>	82
Figura 23 <i>Interfaz ArcGis 10.8.</i>	85
Figura 24 <i>Modelo cartográfico del modelo Fuzzy</i>	89
Figura 25 <i>Modelo cartográfico de la regresión lineal.</i>	91
Figura 26 <i>Interfaz Software SPSS.</i>	93
Figura 27 <i>Interfaz ArcGis 10.8.</i>	93
Figura 28 <i>Modelo cartográfico de Regresión Logística</i>	95
Figura 29 <i>Interfaz software SPSS (Arquitectura de la red)</i>	97
Figura 30 <i>Modelo Cartográfico de Redes neuronales.</i>	101
Figura 31 <i>Puntos de muestreo en campo.</i>	103
Figura 32 <i>Mapa de susceptibilidad a deslizamientos con la metodología Fuzzy</i>	104
Figura 33 <i>Susceptibilidad a deslizamientos con la metodología Fuzzy Ponderado</i>	112
Figura 34 <i>Susceptibilidad a deslizamientos con la metodología de regresión lineal</i>	134
Figura 35 <i>Susceptibilidad a deslizamientos con la metodología de regresión logística.</i>	137

Figura 36 <i>Esquema de red neuronal</i>	137
Figura 37 <i>Susceptibilidad a deslizamientos con la metodología de redes neuronales</i>	138
Figura 38 <i>Deslizamiento en la vía E-35</i>	140
Figura 39 <i>Deslizamientos observados en el punto 2</i>	141
Figura 40 <i>Deslizamientos observados en el punto 2</i>	142
Figura 41 <i>Deslizamientos observados en el punto 3</i>	143
Figura 42 <i>Deslizamientos observados en el punto 3</i>	143
Figura 43 <i>Deslizamientos observados en el punto 3</i>	144
Figura 44 <i>Deslizamientos observados en el punto 3</i>	146
Figura 45 <i>Deslizamientos observados en el punto 4</i>	147
Figura 46 <i>Deslizamientos observados en el punto 4</i>	147
Figura 47 <i>Deslizamientos observados en el punto 4</i>	149
Figura 48 <i>Deslizamientos observados en el punto 5</i>	150
Figura 49 <i>Deslizamientos observados en el punto 5</i>	150
Figura 50 <i>Deslizamientos observados en el punto 5</i>	151
Figura 51 <i>Deslizamientos observados en el punto 5</i>	153
Figura 52 <i>Deslizamientos observados en el punto 6</i>	153
Figura 53 <i>Deslizamientos observados en el punto 6</i>	154
Figura 54 <i>Deslizamientos observados en el punto 6</i>	156
Figura 55 <i>Deslizamientos observados en el punto 7</i>	157
Figura 56 <i>Deslizamientos observados en el punto 8</i>	158
Figura 57 <i>Deslizamientos observados en el punto 8</i>	158
Figura 58 <i>Deslizamientos observados en el punto 8</i>	160
Figura 59 <i>Deslizamientos observados en el punto 9</i>	160
Figura 60 <i>Deslizamientos observados en el punto 9</i>	161

Figura 61 <i>Deslizamientos observados en el punto 9</i>	161
Figura 62 <i>Deslizamientos observados en el punto 9</i>	162
Figura 63 <i>Deslizamientos observados en el punto 9</i>	162
Figura 64 <i>Deslizamientos observados en el punto 9</i>	164
Figura 65 <i>Deslizamientos observados en el punto 10</i>	166
Figura 66 <i>Deslizamientos observados en el punto 11</i>	167
Figura 67 <i>Deslizamientos observados en el punto 11</i>	168
Figura 68 <i>Deslizamientos observados en el punto 12</i>	169
Figura 69 <i>Deslizamientos observados en el punto 12</i>	170
Figura 70 <i>Deslizamientos observados en el punto 13</i>	171
Figura 71 <i>Deslizamientos observados en el punto 13</i>	172
Figura 72 <i>Deslizamientos observados en el punto 14</i>	173
Figura 73 <i>Deslizamientos observados en el punto 14</i>	173
Figura 74 <i>Deslizamientos observados en el punto 14</i>	183

Resumen

El proyecto se llevó a cabo en la cuenca de los ríos Guasuntos, Picay y Chanchan, ubicados en la provincia de Chimborazo, dentro de los cantones Alausí, Chunchi y parte de Guamote. Este tiene como finalidad determinar las áreas con mayor susceptibilidad a deslizamientos, a partir de la recopilación y correlación de once variables a estudiar, las cuales fueron escogidas sobre la base de estudios anteriores, en donde se aplicó metodologías similares y con la opinión de expertos, dichas variables son: Cobertura vegetal, Litología, geomorfología, tipo de suelo, distancia a vías de comunicación, distancia a ríos, distancia a la red hidrosanitaria, distancia a fallas geológicas, pendiente, erosión y precipitación. Una vez recolectado los datos se aplicó métodos probabilísticos de predicción de deslizamientos, que son: Fuzzy, Fuzzy ponderada, Regresión Logística, Regresión Lineal y Redes neuronales, los cuales se basan en combinaciones lineales de distintas situaciones y características de la variación del fenómeno. Con el estudio de estos métodos se logró comparar cuál de los modelos se adapta de mejor forma a la realidad del terreno, y cual estadísticamente posee menor error, siendo este el modelo de regresión logística, el cual al poseer variables dicotómicas permite manejarse con la probabilidad más alta de ocurrencia, marcando los lugares con esta susceptibilidad con mayor precisión. Con el resultado de esta investigación se determinó qué áreas están más propensas a que se produzca un deslizamiento, y a partir de ello se pueda sentar bases para una mejor planificación territorial de la zona y evitar desastres futuros.

Palabras claves: deslizamientos, redes neuronales, regresión lineal, regresión logística.

Abstract

The project was carried out in the basin of the Guasuntos, Picay and Chanchan rivers, located in the province of Chimborazo, in the cantons of Alausí, Chunchi and part of Guamote. The purpose of this study is to determine the areas with greater susceptibility to landslides, based on the compilation and correlation of eleven variables to be studied, which were chosen on the basis of previous studies, where similar methodologies were applied and with the opinion of experts, these variables are: Vegetation cover, lithology, geomorphology, soil type, distance to communication routes, distance to rivers, distance to the hydro-sanitary network, distance to geological faults, slope, erosion and precipitation. Once the data was collected, probabilistic landslide prediction methods were applied, which are: Fuzzy, Weighted Fuzzy, Logistic Regression, Linear Regression and Neural Networks, which are based on linear combinations of different situations and characteristics of the variation of the phenomenon. With the study of these methods it was possible to compare which of the models adapts better to the reality of the terrain, and which statistically has less error, being this the logistic regression model, which having dichotomous variables allows to handle with the highest probability of occurrence, marking the places with this susceptibility with greater precision. With the result of this research, it was determined which areas are more prone to landslide occurrence, and from this it is possible to lay the foundations for better territorial planning of the area and avoid future disasters.

Key words: Landslides, neural networks, linear regression, logistic regression.

Capítulo I

El siguiente apartado consta de los aspectos generales a tratar en el proyecto, en donde se especifica los objetivos que se cumplirán y la justificación de la realización de este. Los deslizamientos son evento que cuando se dan, causa pérdidas irreparables, por lo que es de suma importancia analizarlo desde el punto de vista de la gestión de riesgo, y como estos están estructurados. Con la información detallada en este capítulo se tiene una idea clara de todo el proyecto.

Aspectos Generales

Antecedentes

Los deslizamientos se tratan de sucesos frecuente en el país, los mismos que aumentan significativamente durante la época de lluvias, interrumpen las vías de comunicación, destruyen bienes e infraestructura, bloquean ríos. La prevención de estos eventos es importante para evitar pérdidas humanas y materiales, por lo que se han desarrollado diversas medidas preventivas, incluidos modelos para determinar la susceptibilidad a deslizamientos.

Existen distintos modelos que pueden predecir las zonas propensas a estos sucesos, pero es difícil implementarlos en el Ecuador debido a que el clima existente es diverso, por lo que es importante determinar qué modelo usar, tomando en cuenta las características del área. La zona de estudio se encuentra en una constante amenaza de movimientos en masa, por problemáticas geológicas y aparición de grietas de tracción, por lo que entidades gubernamentales han declarado a la Armenia como zona no habitable y de riesgo debido al acontecimiento de febrero del 2021. (Jumbo, 2021)

La zona de interés se encuentra ubicada en los cantones Alausí, Chunchi y parte del cantón Guamote, en la cuenca de los ríos Guasuntos, Picay y Chanchan, donde se presenta

inestabilidad del suelo ocasionado principalmente por las características geológicas del sector, en el que se observan suelos poco consolidados y suelos residuales, características hidrogeológicas, presencia de aguas subterráneas, fuertes pendientes en los bordes de la cuenca con rastros de erosión hídrica que, junto con las lluvias y las actividades agrícolas en la zona, producen un proceso continuo de desprendimiento de masa.

Según el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE), hay una falla geológica activa en la zona lo que ocasiona derrumbes de material produciendo deslizamientos, además de las aguas subterráneas del sector, y lluvias. (Márquez, 2021), es así que “el Alcalde declaró en estado de emergencia al Cantón Chunchi por la amenaza, exposición y daños por deslizamientos y grietas en los sectores de Armenia y Kullpa” (SNGRE, 2021).

La presión de la infiltración del agua en el subsuelo y las lluvias que causan los poros del suelo resultó en un deslizamiento de tierra como flujo de lodo desde la altura de la laguna de oxidación. El deslizamiento provocó que el río Pique se represe y que se rompa el dique natural, generando una capa aluvial (avalancha) que recorrió aguas abajo hasta llegar al cauce del río Chanchán, afectando infraestructuras aledañas (SNGRE, 2021).

Cabe mencionar que los deslizamientos del año 2021 fueron nada más el primer anuncio de un problema ambiental, social y económico en Ecuador. Esto se ha convertido en una verdadera problemática.

El proyecto está directamente alineado con el eje de seguridad integral del Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 enfocado en el objetivo 9, el cual pretende garantizar la seguridad ciudadana, orden público y gestión de riesgos, que se alinea con el Objetivo 11 de

los ODS el cual busca lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

Tomando en cuenta el objetivo 9 se busca fortalecer la gestión de riesgos mediante la identificación de estos, que afectan el territorio ecuatoriano, la difusión oportuna de información y la coordinación de las acciones pertinentes para prevenir, enfrentar y mitigar los riesgos. Lo cual nos lleva a proponer medidas oportunas para prevenir, reducir, prepararse y prestar atención a los desastres.

Además, da énfasis a la política 9.3 la cual busca “impulsar la reducción de riesgos de desastres y atención oportuna de emergencias ante amenazas naturales o antrópicas en todos los sectores y niveles territoriales” (Secretaría Nacional de Planificación, 2021).

El objetivo 11 de los ODS procura que ciudades y asentamientos con políticas y planes para resiliencia aumente. Este pretende integrar la gestión de riesgo en todos los niveles de gobernanza y en concordancia de inter-nivel, es decir a nivel nacional, regional y seccional. En relación con el proyecto este objetivo aporta ideas para una gestión segura, enfocada a la prevención de desastres, como los deslizamientos.

Para el cumplimiento de esta política, es necesario levantar y difundir conocimientos sobre riesgo de desastres a nivel nacional, con la participación de instituciones académicas y de ciencias técnicas, para facilitar la toma de decisiones sobre desarrollo sostenible, además integrar las variables de gestión del riesgo de desastres en todos los niveles de acción en la región.

Enfocándose en diferentes proyectos, a lo largo de los años, se han desarrollado varios métodos para localizar o mapear deslizamientos de tierra, con el uso de análisis cualitativos fundamentados en la experticia del operador, también técnicas cuantitativas, donde la precisión

de los datos es crítica para obtener mapas confiables y precisos. Debido al procesamiento complejo de los datos adquiridos, los sistemas de información geográfica brindan una importante asistencia en el procesamiento de estos. En los últimos años, los conceptos y metodologías de lógica difusa, redes neuronales y regresión se han utilizado en una variedad de aplicaciones, incluido el mapeo de susceptibilidad a deslizamientos de tierra.

Se plantea la revisión de distintos estudios, según (Betancourt & Castro, 2018) en su investigación utilizando redes neuronales plantearon el uso de estas para modelar las áreas susceptibles a deslizamientos en la Av. Simón Bolívar, debido a que una vez identificadas estas áreas se pueden abordar con anticipación, de esta manera lograron determinar cuáles son las áreas con mayor índice a deslizamientos.

Por otro lado en el estudio de (Bustos et al., 2020) de estimación de riesgos a deslizamientos, haciendo uso de regresión logística y redes neuronales, se buscó desarrollar un código que genere predicciones de deslizamientos futuros, permitiendo así la generación de mapas de susceptibilidad a deslizamientos, a través de inventarios de deslizamientos elaborados in situ a lo largo de las carreteras, se obtuvo como resultado que el modelo de redes neuronales estadísticamente es el más preciso, sin embargo para preparar mapas de susceptibilidad el modelo más adecuado es regresión logística.

Según (L. Andocilla, 2012) en su investigación utilizando lógica difusa menciona que el uso de esta metodología simplifica la elaboración del mapeo temático, ya que no hay necesidad de clasificar las variables que interfieren con el modelo generativo, además este método es una alternativa válida para el modelado de deslizamientos en la región, mostrando resultados matemáticamente sólidos relacionados con la validación de campo.

Planteamiento del problema

El fenómeno natural de deslizamientos de tierra ha provocado la desestabilización de la zona estudiada, por lo que de acuerdo con datos registrados por el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias SNGRE de los fenómenos ocurridos entre los años 2010 al 2021 “el cantón tuvo un porcentaje del 44,03% de eventos correspondientes a deslizamientos, hundimientos o socavamientos, siendo de esta manera la amenaza más recurrente. Desde el mes de enero del año 2021 en el sector se evidenció rasgos de inestabilidad”(SNGRE, 2021), caracterizados por la presencia de grietas, hundimientos, deslizamientos en el terreno y afloramientos agua subterránea y características representativas en macizos rocosos.

En la zona se han observado grietas longitudinales y transversales que revelan aún el carácter activo del deslizamiento. “Los expertos estiman un volumen aproximado de 10.000 metros cúbicos que aún pueden deslizarse y afectar las viviendas ubicadas en la Panamericana y en la parte inferior de la carretera” (SNGRE, 2021). La zona del deslizamiento abarca varias comunidades de la zona, por lo que la Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias ha anticipado evacuaciones de algunas familias de la zona.

La recurrencia de este tipo de movimientos masivos en el área de estudio y el hecho de declararlo zona de emergencia requiere un estudio de gestión de riesgos, pues este análisis constituye en la actualidad una tarea de gran interés para la gestión de riesgos en Ecuador; y por ende un elemento esencial en las tareas del Ordenamiento Territorial, generando información sumamente importante para la colaboración a las autoridades competentes en la toma de decisiones.

Justificación e importancia

Debido a la alta vulnerabilidad de la zona a los deslizamientos y el hecho de que existen asentamientos humanos en el sector, se hace indispensable identificar zonas con

inestabilidades del terreno. En este sentido, la generación de mapas de susceptibilidad a deslizamientos es una forma de lograrlo.

La mayoría de las soluciones al problema de estabilización de taludes es utilizar métodos convencionales como respuesta inmediata, por lo que en el estudio se pretende desarrollar modelos, a partir de los cuales sea posible determinar las zonas más susceptibles a deslizamientos siendo una forma de adelantarse a los hechos y prevenir dichas situaciones.

El presente proyecto pretende analizar las posibles causas que producen deslizamientos de tierra en la provincia de Chimborazo entre las cuencas de los ríos Guasuntos, Picay y Chanchan. El grave riesgo que representa esta área, por los asentamientos humanos en la zona, es un factor de gran importancia para justificar este proyecto. El lugar presenta una fácil accesibilidad para el inicio de este estudio. Los GAD cantonales afectados son los más interesados en que se dé una solución a la situación. Por tal razón se considera necesaria e indispensable la realización del presente proyecto para dar solución a todos los problemas generados por los deslizamientos de tierra en la zona.

Este proyecto contribuye al desarrollo actual destinado a mitigar los desastres, especialmente los causados por deslizamientos. Este estudio de susceptibilidad es relevante pues las autoridades pues han declarado la zona como un área de enfoque, ya que existen varios asentamientos humanos, y se realizan actividades de producción agrícola, por lo que se busca efectuar actividades preventivas en el sector para mitigar cualquier afectación.

En relación con la metodología son varios los métodos que se han utilizado para modelar mapas de susceptibilidad a deslizamientos, sin embargo, recientemente se han aplicado modelos llamados redes neuronales, que “representan una mejora porque incorporan

relaciones no lineales, siendo más eficientes que los tradicionales que trabajan solamente con relaciones lineales” (Salvador, 2012).

De igual manera se ha aplicado la metodología de regresión logística, la cual tiene su grado de importancia ya que prevé la ocurrencia de una variable dependiente en este caso los deslizamientos, siendo una variable cualitativa dicotómica, a partir de una o más variables explicativas independientes o covariables. Los modelos de regresión logística nos permiten cuantificar la importancia de la relación entre cada covariable y la variable dependiente, y clasificar a los individuos en categorías donde la variable dependiente está presente o ausente (Pineda et al., 2012).

La aplicación de la lógica difusa tiene gran relevancia, pues el resultado de esta metodología tiene información de la probabilidad de ocurrencia a deslizamientos, que permiten prestar la atención o priorización del mantenimiento vial, la estabilización de taludes, la señalización e incluso la gestión del riesgo desde el punto de vista económico, lo que significa costos más bajos (L. Andocilla, 2012).

Con lo mencionado la presente investigación consiste en construir modelos predictivos probabilísticos que clasifique si un área geográfica de la zona de estudio es susceptible a deslizamientos en base a variables como vías de comunicación, elementos de acción antrópica, fallas geológicas, red hidrográfica, índice de resistencia de la roca a la erosión, cobertura vegetal, pendiente, precipitación y uso de suelo, tipo de suelo y dureza de la roca de esta manera cuantificar dichos eventos con el fin de proporcionar a las autoridades competentes la documentación cartográfica necesaria para la toma de decisiones en materia de prevención, atención y remediación.

Objetivos

Objetivo General

Determinar la susceptibilidad y probabilidad de ocurrencia a deslizamientos, mediante el uso de herramientas geoinformáticas, Redes neuronales, Lógica difusa y Regresión, en el área de los ríos Guasuntos, Picay y Chanchan, provincia del Chimborazo, como insumo para la elaboración del PDOT del cantón.

Objetivos Específicos

- Determinar los criterios a utilizar en el análisis estadístico dentro de la zona de estudio, para la elaboración de una base de datos de variables dependientes e independientes.
- Estructurar una geodatabase que contenga las variables recopiladas, utilizadas en el estudio.
- Generar modelos de predicción del fenómeno con el uso de métodos estadísticos redes neuronales, lógica difusa y regresión.
- Generar una estrategia de muestreo de campo
- Validar los resultados de la investigación, en función de la estrategia muestral previamente diseñada
- Realizar un análisis estadístico de los modelos estudiados y comparar los resultados de cada uno.
- Elaborar una propuesta de gestión de riesgos para la zona de estudio, la cual este alineada al objetivo 11 de los Objetivo de Desarrollo Sostenible del 2030, que intenta integrar la gestión de riesgo en todos los niveles de gobernanza.

Metas

- Una base de datos de las variables dependientes e independientes recopiladas en el estudio, en una escala 1: 50 000 en función del catálogo ecuatoriano de datos.
- Una geodatabase, que recopila toda la información a escala 1:50 000 de las variables a usar en el estudio, en una escala 1: 50 000
- Tres modelos de predicción del fenómeno con el uso de métodos estadísticos.
- Tres Mapas de susceptibilidad a deslizamientos del área de estudio, uno por cada método, a escala 1:50 000
- Una estrategia de muestreo de campo
- Un informe de validación que contenga los lugares identificados en campo como susceptibles para la verificación con los obtenidos en los modelos y así determinar la veracidad de los mismos.
- Un informe con los resultados obtenidos de la comparación de cada uno de los métodos aplicados en el estudio.
- Una propuesta de Gestión de Riesgos, que tome en cuenta la aplicación del objetivo 11 de los ODS2030

Se determinó que los deslizamientos son uno de los principales problemas que aquejan a nuestro país en torno a la gestión de riesgo, por lo que es de suma importancia que sean identificados y que se propongan metodologías para que su estudio sea preciso y de esta forma asegurar un correcto manejo de estos desastres antes, durante y después que ocurran.

Capítulo II

El siguiente capítulo muestra la temática del proyecto, en donde se detalla de manera profunda cada uno de los temas que intervienen en estudio, hablando de su parte teórica y de

la parte conceptual, conjuntamente las principales leyes que están enfocadas en la gestión de riesgo y el ordenamiento territorial. Se pone énfasis en las metodologías que se usaron en este proyecto y las principales ecuaciones de estos.

Marco teórico

Riesgos

El riesgo es la posibilidad de que un peligro se llegue a convertir en un desastre, este consta de dos componentes la vulnerabilidad y la amenaza mismos que si actúan de manera independiente no llegan a constituirse en un peligro, pero al relacionarse se convierte en una posibilidad de desastre.

El concepto también está relacionado con varias medidas de la posibilidad de resultados negativos generales, pérdida esperada de vidas, lesiones corporales, daños a la propiedad y trastornos económicos causados por fenómenos naturales específicos y, por lo tanto, riesgo y elementos de riesgo (Echemendía, 2011).

El riesgo puede reducirse o gestionarse, si se toma conciencia del entorno y de las distintas debilidades y vulnerabilidades en cuanto a las amenazas presentes, se puede tomar acciones que garanticen que las amenazas no lleguen a ser desastres. Por otro lado, la gestión de riesgos no solo permite prevenir desastres, además ayuda a ejercer acciones para el desarrollo sostenible, que se evidencia cuando las personas pueden vivir una vida sana y feliz sin causar daños a largo plazo al medio ambiente o a los demás.

Riesgos naturales

Los desastres naturales son eventos meteorológicos y climáticos extremados que ocurren a nivel mundial, aunque algunas zonas son más propensas a ciertas amenazas que otras. Cuando los fenómenos naturales destruyen la vida y el sustento de las personas, se

convierten en desastres. Sin embargo, la vida y la propiedad se pueden proteger emitiendo pronósticos y advertencias precisas, educando a las personas sobre cómo prepararse para estos peligros antes de que se conviertan en desastres (Rojas & Martínez, 2011).

Estos fenómenos ocurren en diferentes momentos y en diferentes regiones geográficas. Los tornados y las inundaciones repentinas son fenómenos violentos y temporales que afectan áreas relativamente pequeñas. Por otro lado, las sequías, se desarrollan lentamente, aunque afectan a gran parte del continente y a poblaciones enteras durante meses o incluso años. El clima extremo puede involucrar múltiples fuentes de riesgo simultáneamente o en rápida sucesión. Además de vientos y lluvias de gran magnitud, las tormentas tropicales también pueden causar inundaciones e incluso deslizamientos de tierra. (Organización Meteorológica Mundial, 2020)

Figura 1

Tipos de desastres naturales



Nota: Tomado de (Villegas, 2018)

Deslizamientos

Los deslizamientos son movimientos descendentes rápidos de una masa de suelo o roca que se dan a lo largo de una o varias superficies definidas. Se considera que la masa movilizada se desplaza como un bloque único.

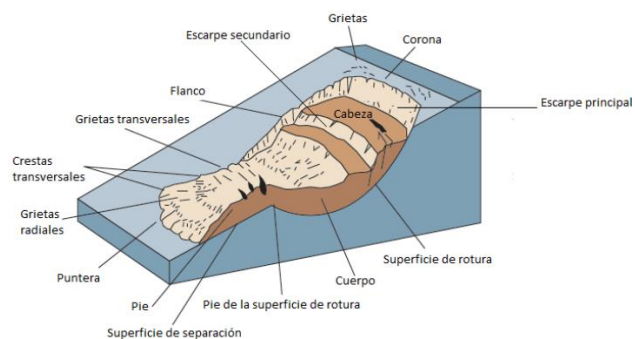
Los deslizamientos son uno de los peligros geológicos que se dan con mayor frecuencia en la naturaleza (Hermosa et al., 2011) razón por la que ha sido motivo de estudios e implementación de nuevas técnicas metodológicas que permitan evaluar la susceptibilidad a este tipo de eventos, que han cobrado vidas humanas y daños a bienes e infraestructuras (Palacios, 2020).

Los deslizamientos o movimientos de masa son diferentes en todos los casos, y para evitarlos o mitigarlos es preciso saber las causas y la forma como se originan, por tanto, para cada área de estudio se consideran diferentes variables que expresen la mejor correlación con el fenómeno, para ser tomadas en cuenta en el modelo de predicción (L. Andocilla, 2012).

El concepto tratado es importante en la investigación pues permitirá la identificación de deslizamientos potenciales y activos durante todo el proceso del estudio

Figura 2

Partes de un deslizamiento



Nota: Tomado de (USGS, 2008)

- Corona: sector de la ladera que no ha fallado y ceñida arriba del deslizamiento. Puede presentar grietas, llamadas grietas de la corona.
- *Escarpe principal: superficie de pendiente muy fuerte, ubicada en el límite del deslizamiento y se da por el material desplazado de la ladera. Si este escarpe se proyecta bajo el material deslizado, se obtiene la superficie de ruptura.*
- *Escarpe menor: superficie de pendiente muy fuerte en el material desplazado y producida por el movimiento diferencial dentro de este material.*
- *Punta de la superficie de ruptura: la intersección de la parte baja de la superficie de ruptura y la superficie original del terreno.*
- *Cabeza: la parte superior del material desplazado a lo largo de su contacto con el escarpe principal.*
- *Tope: el punto más alto de contacto entre el material desplazado y el escarpe principal.*

(Cruden & Varnes, 1996)

En torno a este tema se pretende tomarlo como fuente de información para ser usado en las conclusiones de la investigación.

Susceptibilidad de deslizamientos

La susceptibilidad a deslizamientos se define, como “la predisposición natural o potencialidad que tiene un área para que se presenten fenómenos de remoción en masa bajo la influencia de agentes tales como altas precipitaciones, cortes naturales o artificiales y sismos” (Chaverri, 2016).

La información sobre este tema es utilizada como una de las definiciones principales para el desarrollo de la investigación.

Tipos de deslizamientos

Deslizamiento rotacional: la superficie de rotura es de forma cóncava y se producen generalmente en materiales semejantes o en macizos rocosos muy quebrantados y se suelen diferenciarse por una inclinación contrapendiente de la cabecera.

Deslizamiento traslacional: la superficie es un plano con una inclinación más o menos constante y se dan sobre materiales heterogéneos o diferentes con superficies de discontinuidad bien definidas.

Deslizamientos compuestos: movimientos de ladera que tienen una superficie de rotura con una geometría mixta (Navarro, 2012).

Figura 3

Deslizamiento Rotacional



Causas de los deslizamientos

La distribución espacial y temporal de los deslizamientos está condicionada por factores propios de la ladera o factores externos a ella. Se clasifican estos factores en varios grupos (Suarez, 1998):

- *Condiciones originales del talud, que determinan la susceptibilidad al deterioro y son característicos a la topografía, geología y características de los materiales, condiciones ambientales generales, cobertura vegetal, entre otros.*

- *Factores de deterioro, que producen una transformación lenta de las condiciones originales del talud y son capaces de producir movimientos leves.*
- *Factores detonantes, que activan el movimiento.*
- *Factores de susceptibilidad: aquellos que forman parte de las propiedades y comportamiento del medio, es decir, que estructuran los elementos pasivos. Como la pendiente, la litología y las condiciones naturales de humedad, además de muchos otros dependiendo de las características locales del área.*
- *Factores de disparo (detonante): aquellos factores externos que provocan a un comportamiento dinámico activo, y que a partir de las condiciones iniciales generarán mayor o menor intensidad del fenómeno.*

También se presentan factores de ocurrencia, son aquellos que contribuyen en la ocurrencia de un deslizamiento, para incorporar dichos factores en un estudio depende de la experiencia del investigador (Cereceda, 2006).

- *Litológicos: Corresponde a la tipología de la roca que está definido por la composición mineralógica, cristalografía y textura de la roca.*
- *Distancia a la falla principal: Los efectos de este factor se guían según el grado de actividad de la falla.*
- *Geomorfología del talud: Son las características morfológicas del talud (ángulo, la dirección y altura), que se desprenden a partir de un mapa topográfico.*

Es relevante para el estudio conocer cuáles son las causas de los deslizamientos, y de esta manera lograr identificar las variables que intervienen en los mismos (Navarro, 2012).

Técnicas de modelamiento de deslizamientos

Las técnicas para predecir procesos de deslizamientos en masa pueden dividirse en dos grupos: métodos cualitativos y métodos cuantitativos. Los primeros se basan en el

conocimiento e incorporan la experticia específica de quien determina el grado y susceptibilidad a la presencia de estos movimientos, combinando mapas, capas u otra información que sea clave para la caracterización del deslizamiento, como son procesos de jerarquía analítica (análisis geomorfológico y combinación cuantitativa de mapas). “Entre tanto, los métodos cuantitativos incorporan el análisis estadístico y probabilístico o siguen enfoques deterministas” (Florez & Pérez, 2019a).

Tomando en cuenta las técnicas de predicción mencionadas, el estudio de basa en técnicas de métodos cuantitativos, es decir métodos probabilísticos.

Tecnologías de la información Geográfica

Las Tecnologías de la Información Geográfica, es una disciplina en constante crecimiento debido a su aplicación en diversos campos como el medio ambiente y los recursos naturales, la demografía, la gobernanza, entre otros.

Además, se trata de un conjunto de tecnologías que permiten una fácil recopilación, gestión y análisis de datos. “El núcleo TIG consta de Teledetección, Sistema de Posicionamiento Global y Sistema de Información Geográfica” (Gentili & Gil, 2011). El potencial de SIG radica, en particular, en su capacidad para superponer capas de información de diferentes disciplinas. Esta característica permite el análisis de procesos y dinámicas resultantes de las relaciones socio-naturales. Estos incluyen funciones para trabajar con datos espaciales como almacenamiento, visualización, consulta, análisis de datos y modelado.

No hay duda sobre el uso de las nuevas tecnologías de la información geográfica y su potencial para la ordenación y gestión del territorio a nivel local, y es claro que son herramientas casi indispensables para este fin. Pero muchos municipios, asociaciones, grupos de acción local, agencias de empleo, desarrollo y administraciones locales de otros organismos públicos o privados que trabajan en estos lugares tienen un acceso muy limitado a ellos. Las

razones de esto son: la falta de técnicos calificados para estas tecnologías, los recursos financieros limitados, los errores a nivel de software y hardware, la complejidad de estas tecnologías y el desconocimiento casi total de lo que son y lo que hacen (Robas et al., 2016).

Ortofotos

Una ortofoto es una imagen fotográfica de un terreno donde la proyección central se ha convertido en una proyección ortogonal, descartando así las distorsiones del plano producto de la posición de inclinación de la cámara y el desplazamiento del terreno.

Esta permite tomar medidas precisas como si de un avión se tratase. Esta combina el alto nivel de detalle de la fotografía aérea con las características geométricas de una aeronave. Todas estas características hacen de la ortofoto una valiosa inversión en el proceso de planificación espacial (SIG TIERRAS, 2020).

Esta herramienta es utilizada para la fotointerpretación, la cual es el proceso de extracción de la información contenida en ortofotos. La primera etapa consiste en identificar y encontrar los diversos elementos representados. Se requiere cierta comprensión de los procesos topográficos, la vegetación y el uso de la tierra del área de trabajo; también se debe tener en cuenta la escala del marco y el tamaño de los objetos representados. Por lo tanto, es una herramienta útil en los estudios espaciales.

Generación de modelos cartográficos en SIG

Un modelo cartográfico es un sistema de información geográfica raster o vectorial con información geoespacial, que se basa en procedimientos analíticos a través de la representación gráfica de datos, para el análisis y estructuración de procedimientos y muestra información cartográfica a través de mapas (Escalona Maurice et al., 2017).

Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process: AHP)

“El Proceso de Análisis Jerárquico, desarrollado por Thomas L. Saaty (The Analytic Hierarchy Process, 1980) está diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples. El proceso requiere que quien sea la persona que toma las decisiones proporcione evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios y que después, especifique su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio” (Toskano Hurtado, 2005).

Es un método matemático creado para evaluar alternativas cuando se tienen en consideración varios criterios y está basado en el principio que la experiencia y el conocimiento de los actores son tan importantes como los datos utilizados en el proceso. El resultado del AHP es una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión (OSORIO, 2008).

Redes Neuronales

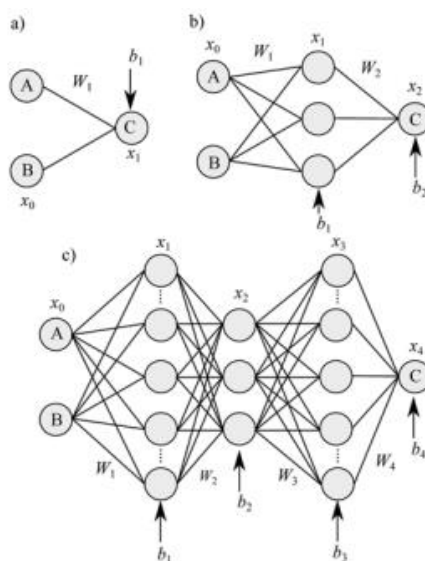
En los análisis cuantitativos para los mapas de susceptibilidad por movimientos en masa, las Redes Neuronales Artificiales han estado relacionadas con la capacidad de predecir o calcular la probabilidad de producirse un evento dado un conjunto de factores condicionantes (Zhou et al., 2018).

Entre las técnicas que recientemente se han usado para estimar la susceptibilidad a deslizamientos de tierra se encuentra la teoría de Redes Neuronales Artificiales (RNA) las cuales han representado un nuevo paradigma de solución de problemas, este nuevo enfoque es inspirado en las redes neuronales biológicas, las RNA han mostrado mayor efectividad para resolver problemas que los enfoques tradicionales no han solucionado.

Los tipos de Redes Neuronales Artificiales aplicados a este campo y, según desde su complejidad, pueden ir desde un Perceptrón Simple (Figura 4a), Perceptrón Multicapa (MLP por sus siglas en inglés) (Figura 4b) y Redes Neuronales Profundas (DNN por sus siglas en inglés) (Figura 4c).

Figura 4

Representación de la arquitectura de (a) un Perceptrón Simple 2-1, (b) Perceptrón Multicapa (MLP) 2-3-1 y (c) Red Neuronal Profunda (DNN) 2-10-3-10-1.



Nota: Tomado de (Yang et al., 2019).

En la Figura 3b se incluye una capa oculta, donde la definición de los pesos

es: $W_1 \in \mathbb{R}^{3 \times 2}$ y $W_2 \in \mathbb{R}^{1 \times 3}$. A este tipo de red se le conoce como Red Neuronal Artificial (ANN por sus siglas en inglés) y, a pesar de su simplicidad, ha constituido una alternativa importante debido a su agilidad, precisión y efectividad, por lo cual MLP representa una nueva generación de métodos cuantitativos para calcular el índice de susceptibilidad (Abbaszadeh Shahri et al., 2019).

Las (red neuronal profunda) ANN son dispositivos de procesamiento implementados como un algoritmo y reaccionan a la entrada de datos de entrenamiento, de tal manera que perturban su estado inicial. Un desarrollo profundo de las ANN se puede abordar en el trabajo realizado en el campo de la predicción de movimientos en masa, los datos o las capas que se usan en la entrada son factores condicionantes de deslizamientos; entonces, el procedimiento continúa asignando pesos a las conexiones entre las capas de entrada de forma aleatoria y eligiendo la cantidad de capas ocultas. “El resultado calculado se compara con el esperado y se determina el error; el procedimiento se repite de manera iterativa hasta que se alcanza la convergencia del producto calculado con el esperado” (Florez & Pérez, 2019).

Los modelos conocidos como RNA los cuales representan una mejora, ya que incorporan relaciones no-lineales que los métodos tradicionales les resulta muy difícil modelar; sin embargo, estos modelos tienen el inconveniente de presentar un comportamiento tipo “caja negra”, es decir, que una vez estimado uno de estos modelos no se tiene en cuenta la interpretación de sus parámetros y cómo las variables explicativas inciden en la variable respuesta.

Recientemente se han incorporado Metodologías basadas en el concepto de remuestreo que nos permiten realizar ciertas deducciones con respecto al comportamiento e interpretación de las variables explicativas en los modelos de RNA, pero la mayoría de las investigaciones no han venido aplicando estas nuevas metodologías, debido en parte a la carencia de software que las implemente y a su alto costo computacional.

La idea que animó el modelo conexionista fue la de imitar el sistema de computación más complejo de los que se conocen hasta ahora, que es el cerebro. El cerebro está formado por millones de células llamadas neuronas. “Estas neuronas son unos

procesadores de información muy sencillos con un canal de entrada de información (dendritas), un órgano de cómputo (soma) y un canal de salida de información (axón)” (Ricardo Rios, 2016).

La unión o comunicación entre dos neuronas se denomina sinapsis. En relación con la sinapsis se habla de neuronas presinápticas (La neurona que envía las señales) y postsinápticas (La que recibe las señales). Las sinapsis son unidireccionales, es decir, la información fluye siempre en un único sentido.

De esta forma, las redes neuronales imitan en cierto modo la estructura física y el modo de operación de un cerebro. Teniendo en cuenta que el cerebro muestra las cualidades de procesamiento paralelo, procesamiento distribuido y adaptabilidad, un sistema de redes neuronales tiene, también, estas características.

El sistema resulta ser intrínsecamente paralelo porque está formado por unidades básicas de procesamiento llamadas neuronas. Cada neurona realiza un tipo de procesamiento muy simple (Ricardo Rios, 2016).

No obstante, debido a recientes avances en la generación de nuevos algoritmos de retro propagación más eficientes, y con la definición de funciones de pérdida más coherentes con el problema de la susceptibilidad por movimientos en masa, es posible mejorar la exactitud de las predicciones por medio de las DNN (red neuronal profunda), donde se pueden integrar varias capas ocultas con un número variable de neuronas. En la Figura 3c se muestra una DNN de arquitectura 2-10- 3-10-1. En este proyecto se usa una función de pérdida tipo entropía binaria cruzada (binary crossentropy) que se muestra en la siguiente ecuación:

$$L(\mathbf{y}, \hat{\mathbf{y}}) = -\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N [Y_i \log(\hat{y}_i) + (1 - y_i) \log(1 - \hat{y}_i)] \quad \text{Ec. 1}$$

Donde \hat{y}_i es el valor de la etiqueta del entrenamiento, \hat{y}_i es el dato estimado y N es el número de datos del conjunto del entrenamiento.

La función antes mencionada mide que tan lejos del valor (0 y 1) se encuentra la predicción para cada una de las clases lo cual se ajusta bien a la naturaleza del problema de predicción de deslizamientos, donde la etiqueta en los datos de entrenamiento contiene valores de 0 (sin deslizamiento) y 1 (con deslizamiento) (Chollet, 2018).

También en este proyecto se usó la función de activación sigmoideal para la capa de salida, puesto que esta función representa la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos, ya que ha mostrado un alto desempeño en otros trabajos relacionados con la susceptibilidad a deslizamientos (Huang et al., 2020). Finalmente, la retropropagación (backpropagation) en este algoritmo demostró una manera eficiente de resolver el problema de optimización de grandes volúmenes de datos en comparación con los otros algoritmos basados en el gradiente descendiente (Lagari et al., 2020).

Lógica Difusa

La lógica difusa puede usarse para explicar el mundo real, puesto que sigue el comportamiento humano de razonar, sacando conclusiones a partir de hechos observados; esto incluye sistemas lógicos que admiten varios valores de verdad posibles, permitiendo representar de forma matemática conceptos o conjuntos imprecisos (Padilla et al., 2011). Basándose en la curva seno cuadrado como función de pertenencia; se tiene varios casos posibles, con sus correspondientes funciones de pertenencia, a las cuales las variables pueden ajustarse. Esta metodología se basa en el análisis y selección del caso particular de cada variable que interactúa con el fenómeno. Para esto se analiza dos posibles casos, que dependerá según el comportamiento de la variable en el fenómeno a estudiar.

Los modelos Fuzzy, muestran el comportamiento de todas las variables con relación a la ocurrencia del fenómeno de deslizamientos, mostrando resultados más confiables, tanto matemáticamente (mediante las pruebas estadísticas), como ciertos sectores que fueron verificados en campo (Padilla et al., 2011).

Esta metodología simula el razonamiento humano para generar uno de tipo artificial. Y se diferencia ampliamente de las técnicas determinísticas en que el resultado es sesgado a valores de SI/NO con la presencia de (0-1), esta metodología está estructurada con probabilidades en cada elemento o valor de píxel y que estos pertenezcan a la ocurrencia del fenómeno, en este caso la susceptibilidad a deslizamientos. Con este proceso es posible representar modelos matemáticos que no son lineales con el uso de variables lingüísticas y condiciones estrictamente definidas (Fernando & Orejuela, 2020).

La estructura de la lógica difusa se presentan tres posibles escenarios, el primero ocurre con la función seno en el rango de $0 - \pi$ radianes, el segundo con la función coseno con rango $0 - \frac{\pi}{2}$ radianes, y el tercer caso con la misma función seno en un rango de $0 - \frac{\pi}{2}$. (P. Andocilla, 2012).

Regresión Logística

La RL, al tratarse de un método cuantitativo y multivariante, resulta especialmente apropiada para los casos en los que se desea predecir la presencia o ausencia de una característica o resultado según los valores de un conjunto de indicadores. La siguiente ecuación (1) formula la relación matemática subyacente entre la variable dicotómica dependiente y las variables explicativas (Bornaetxea et al., 2018).

La Regresión Logística (RL) es un método estadístico cuantitativo usado ampliamente en los análisis de susceptibilidad por movimientos en masa (Yang et al., 2019) (Daya Sagar et al., 2018).

En la siguiente ecuación se representa la Regresión Logística como una función de probabilidad de ocurrencia:

$$\text{Log} \left(\frac{\rho}{1-\rho} \right) = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i X_i = Z \quad \text{Ec. 2}$$

$$\rho = \frac{1}{1+e^Z} \quad \text{Ec. 3}$$

En donde ρ representa a la probabilidad de ocurrencia, X_i son las variables independientes analizadas en el proyecto, b_0 es el intercepto y b_i son los coeficientes de la Regresión Logística, que son los pesos de las variables independientes.

Las variables pueden ser continuas, discretas, o incluso una combinación de ambas; la principal ventaja radica en que el método de Regresión Logística no necesita que dichas variables tengan una distribución normal (Mahdadi et al., 2018).

No obstante, se debe garantizar que las variables sean independientes entre sí, o que tengan una multicolinealidad con tendencia a cero. La multicolinealidad existe cuando se evidencia una alta correlación entre las variables analizadas, lo que puede afectar negativamente en la interpretación de los coeficientes de la regresión (Lin et al., 2017).

Regresión Lineal

Uno de los aspectos más importantes de la Estadística es el análisis de la relación o dependencia entre variables, por lo que resulta de interés conocer el efecto que una o varias variables pueden causar sobre otra.

La estructura del modelo de regresión lineal es la siguiente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad \text{Ec. 4}$$

Esta expresión muestra que todos los factores influyen en la variable de respuesta y pueden dividirse en dos grupos: el primero contiene a una variable explicativa X y el segundo incluye un conjunto de factores no controlados que abarcaremos bajo el nombre de perturbación o error aleatorio, ε , que provoca que la dependencia entre las variables dependiente e independiente no sea perfecta, sino que esté sujeta a incertidumbre (Bornaetxea et al., 2018).

El modelo de regresión lineal es un modelo que vincula o relaciona dos variables aleatorias que denominaremos

- **$X = \text{Variable predictora o covariable}$** estas son las once variables mencionadas durante todo el proyecto
- **$Y = \text{Variable dependiente o de respuesta}$** , en este caso se convierte en los deslizamientos.

Este modelo de regresión lineal propone que:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \varepsilon \quad \text{Ec. 5}$$

Donde ε representa al término del error. Esto dice que para cada valor de X , la correspondiente observación Y consiste en $\beta_0 + \beta_1 X_1 + \varepsilon$ más una cantidad ε , la cual puede ser positiva o negativa, y que da la noción de que la relación que existe entre X e Y no es exactamente lineal, sino que está expuesta a variaciones individuales.

Tipos de R^2

Estos coeficientes representan la proporción de varianza en la variable dependiente que explica el modelo. Existen dos tipos de R^2 en la regresión logística y ambos son válidos. La proporción de la variable dependiente explicada por el modelo de concordancia está entre el R^2

de Cox y Snell y el R2 de Nagelkerke. Cuanto mayor sea el R-cuadrado, más explicativo será el modelo, es decir, la variable independiente explica a la variable dependiente. (Cárdenas, 2014)

El R2 de Cox y Snell es un valor de determinación generalizado que estima la proporción de varianza en la variable dependiente que es explicada por los predictores. Se basa en comparar el logaritmo de verosimilitud del modelo con el logaritmo de verosimilitud del modelo base. Su valor oscila entre 0 y 1, pero en realidad nunca llega a 1.

“El R2 de Nagelkerke es una modificación del R2 de Cox y Snell. Un estadístico que cambia la escala para cubrir todo el rango de 0 a 1” (Díaz Narváez, 2017).

Base Legal

- *La presente investigación se enfoca en ciertas, secciones y artículos de los cuerpos legales que respaldan su realización, tales como:*

Constitución del Ecuador

“Art. 83.- Son deberes y responsabilidades de los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la Constitución y la ley: Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible” (Asamblea Nacional Constituyente, 2008).

“En la sección sexta de Hábitat y vivienda, se tiene el art. 30, menciona que las personas tienen derecho a un hábitat seguro y saludable, y a una vivienda adecuada y digna, con independencia de su situación social y económica” (Asamblea Nacional Constituyente, 2008).

Con respecto a la gestión de riesgos el art. 389 señala que el “Estado protegerá 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”.

Art. 390: “Los riesgos se gestionarán bajo el principio de descentralización subsidiaria, que implicará 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” (Lianet et al., 2020).

Leyes orgánicas y especiales

COOTAD

- *Art. 54.- “Regular y controlar las construcciones en la circunscripción cantonal o parroquial, con especial atención a las normas de control y prevención de riesgos y desastres”.*
- *Art. 140.- “La gestión de riesgos que incluye las acciones de prevención, reacción, mitigación, reconstrucción y transferencia, para enfrentar todas las amenazas de origen natural o antrópico que afecten al cantón se gestionarán de manera concurrente con las políticas y los planes emitidos por el organismo nacional responsable, de acuerdo con la Constitución y la ley” (COOTAD, 2010).*

Capítulo III

En este capítulo se detalla los diferentes procedimientos que se realizaron para obtener los modelos que se presentan en el proyecto, incluyendo la información requerida para el mismo. Se menciona las características del área de estudio, las variables que intervienen y posterior a ello, se describe el proceso de obtención de cada uno de los modelos matemáticos.

Área de estudio

El área de estudio abarca los cantones de Chunchi y Alausí en donde las ciudades más importantes son Chunchi, Alausí, Guasuntos y repartidos en el territorio otras poblaciones más pequeñas como Sibambe, Gonzol y Pagma.

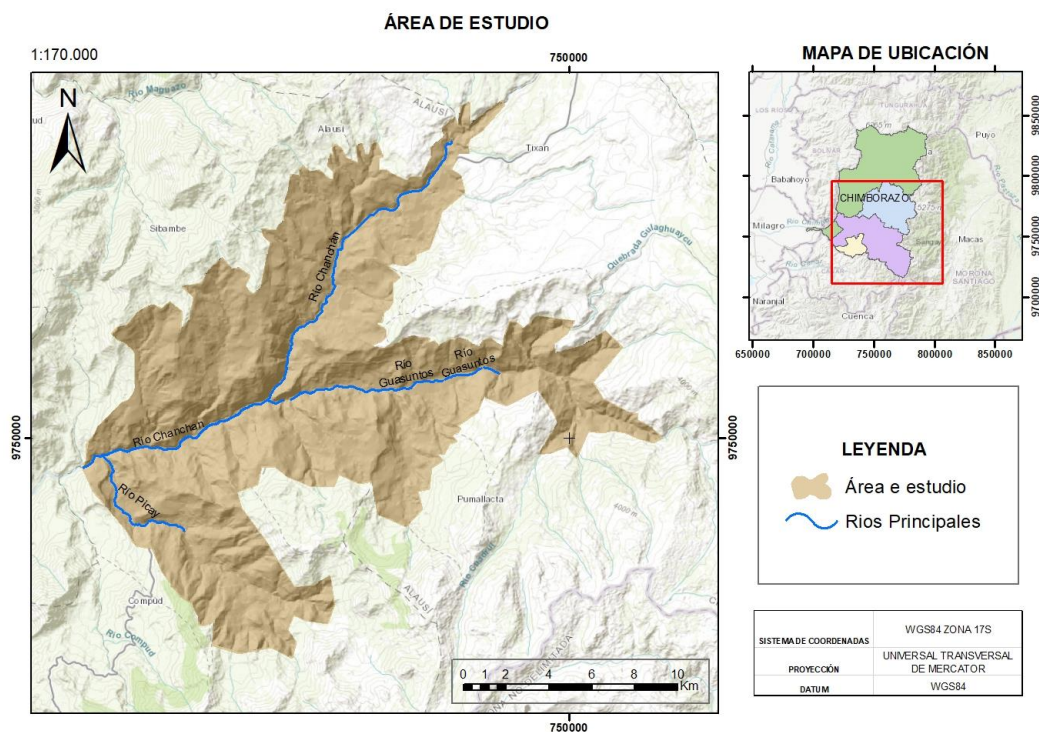
Los cantones se encuentran en la cordillera, en una zona montañosa con alturas comprendidas entre los 1237 msnm y 4222 msnm, laderas rectilíneas de pendiente fuerte entre el 40% y 69% con una red de drenaje predominantemente de tipo rectangular de densidad media a baja, lo cual evidencia la presencia de fracturas, fallas geológicas, entre otras estructuras. El sector es montañoso con cimas agudas y alargadas. Los suelos son derivados de depósitos volcánico sedimentarios; son frecuentes los suelos franco-arenosos, limos arcillosos, y arcillo arenoso; en ciertos lugares con bloques de rocas tipo andesita fuertemente meteorizadas. En las zonas altas sub-paramales se observan suelos derivados de ceniza volcánica meteorizada con cobertura de depósitos coluviales y de pie de monte.

En las microcuencas de los ríos Guasuntos, Picay y Chanchan, la acción erosiva de los drenajes al pie de los taludes es evidente, factor que condiciona la inestabilidad de los mismos, conjuntamente con la ausencia de cobertura vegetal, incorrectas prácticas agrícolas, sistemas de riego inadecuados, conflictos de uso del suelo, y agua meteórica, especialmente en los meses de enero a abril, hace que la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa sea alta.

El clima en la región tiene dos periodos característicos: los meses de enero a abril corresponden al periodo de lluvias intensas y prolongadas, y en los meses de junio a noviembre las precipitaciones son menores a escasas. Los valores promedios anuales oscilan desde 400 mm a 1000 mm.

Figura 5

Delimitación del área de estudio



Recopilación de información

Tabla 1

Recopilación de datos para e proyecto de investigación

Información	Fuente	Escala
-Cartografía base	Instituto Geográfico militar Sistema Nacional de Información (SIN)	1: 50 000

- Fotografías	SIG TIERRAS	
aéreas del área de estudio	AÑO 2015	
		1: 5000
- Modelo digital de elevación	USGS EARTH EXPLORER	
- Información temática de los recursos hídricos, red vial, fallas geológicas y cobertura vegetal.	Instituto Geográfico militar Sistema Nacional de Información (SIN) SIG TIERRAS	1:50 000
-Precipitación	World Clim Historical climate Data.	

Fotointerpretación de los puntos de muestreo

La fotointerpretación es una técnica que permite identificar de forma remota detalles selectivos en el terreno, ya sean elementos u objetos de importancia para el caso. Este no es solo un reconocimiento superficial, si no que trata de identificar la naturaleza del fenómeno.

La fotointerpretación en este proyecto es una parte fundamental, pues a partir de este proceso se obtuvo los puntos y polígonos de deslizamientos en el área, mediante la aplicación de técnicas fotointerpretativas y conocimientos geomorfológicos.

Posteriormente se procede a digitalizar los deslizamientos en el software ArcGIS 10.8 sobre el ortomosaico, las principales características que se tomaron en cuenta para seleccionar un área y que esta sea definida como deslizamiento fueron: procesos de

reptación, grietas de tracción, masa deslizada y en la mayoría de los casos se distinguía la forma de la corona del deslizamiento.

Digitalización

Este proceso consiste en representar o capturar gráficamente las coordenadas de un punto, línea o polígono desde una imagen satelital o una fotografía en una serie de archivos.

La digitalización se llevó a cabo mediante las herramienta del software ArcGIS 10.8 en donde la primera parte consiste en identificar la corona de los deslizamientos, lo que es la parte más evidente dentro de la fotografía, también estos tiene una estructura morfológica evidente en forma de herradura invertida. Se obtuvieron 288 polígonos y puntos de deslizamientos en la zona.

Generación de la base de datos

La base de datos es la recopilación de todos los shapes e información de las variables que se usaron en el proyecto, este conjunto de datos es alfanumérico y gráfico, dando atributos específicos a cada tipo de variable.

Análisis de variables y relaciones

- Distancia a vías de comunicación

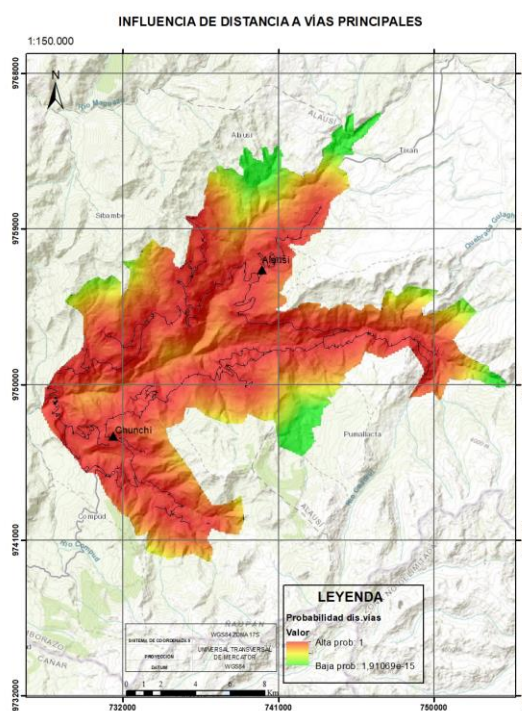
La construcción de cualquier estructura antrópica en este caso las vías poseen una relación directa con la inestabilidad de los taludes, pues este tipo de intervenciones causan desequilibrio en la estabilidad natural de las laderas y de esta forma provocan deslizamientos, por ello se tomó en cuenta esta variable para el estudio. fuente

Para obtener esta variable se utilizó la distancia euclidiana, esta muestra la relación que tiene cada celda del raster con un origen o un conjunto de orígenes usando como base la distancia de la línea recta, en otras palabras, proporciona la distancia desde cada celda en el raster hasta el origen que este más cercano.

Esta variable nos muestra una relación inversa, pues mientras menor sea la distancia de una vía en el terreno, mayor es la probabilidad a que ocurra un deslizamiento.

Figura 6

Influencia de la distancia a vías en la zona de estudio



- Cobertura Vegetal

Esta hace referencia a los índices de protección del suelo, y depende estrictamente de su naturaleza, pues de esta forma puede brindar diferentes grados de protección al suelo.

Como evidencia se tiene el índice de protección que fue publicada por la guía para la

elaboración de Estudios del Medio Físico de Madrid – España, en donde muestra la relación entre la cobertura de suelo y algunos factores edáficos, conjuntamente con la influencia de la pendiente. Estos valores permiten relacionar la pérdida de suelo con la cobertura vegetal.

Tabla 2

Índices de protección por la vegetación

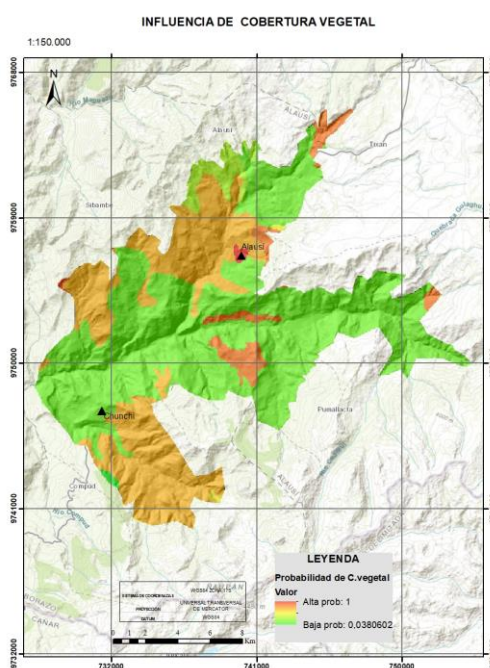
TIPO DE VEGETACIÓN	ESTADO DE LA VEGETACIÓN	PENDIENTES	ÍNDICES DE PROTECCIÓN	
Forestal	Masas arbóreas densas (densidad > 0,7)	Para cualquier pendiente	1,0	
	Masas arbóreas de densidad inferior a 0,7, con substrato arbustivo o herbáceo no degradado	Para cualquier pendiente	1,0	
	Masas arbóreas de densidad inferior a 0,7, con substrato arbustivo o herbáceo degradado	3	0,4	
		2	0,8	
		1	1,0	
	Vegetación arbustiva no degradada	Para cualquier pendiente	1,0	
	Vegetación arbustiva degradada	3	0,2	
		2	0,6	
		1	0,3	
	Pastizales bien conservados	Inferiores al 30%	0,9	
		Superiores al 30%	0,6	
	Pastizales degradados	Para cualquier pendiente	0,3	
	Agrícola	Cultivos agrícolas sin prácticas de conservación	3	0,0
			2	0,5
1			0,9	
Cultivos agrícolas con prácticas de conservación		1 y 2	0,1	
		3	0,3	
Terrenos desnudos	1	0,0		
	2	0,5		
	3	0,9		

Nota: Tomado de Aguiló Alonso, 2014

En este caso la variable fue trabajada de una manera diferente, se aplicó el Método de Jerarquías Analítica propuesto por T.L. Saaty, lo cual arrojó que esta es directamente proporcional pues a mayor ponderación en el proceso multicriterio mayor es la probabilidad de que ocurra un deslizamiento.

Figura 7

Influencia de la cobertura vegetal en la zona de estudio



- Distancia a ríos

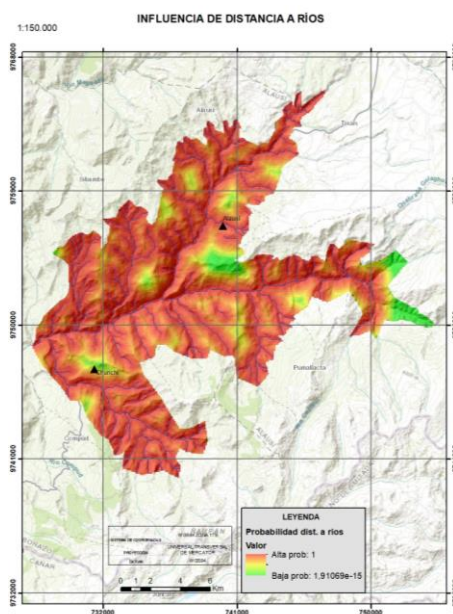
La presencia de recursos hídricos en una zona determinada puede ocasionar erosión, ya que este es un proceso que implica la pérdida de ciertas capacidades en el suelo, como es la productiva. La acción del agua causa inestabilidad en el terreno generando movimientos del mismo y por ende deslizamientos.

Esta variable es directamente proporcional, pues mientras más cerca se esté de una fuente hídrica es más probable la ocurrencia de un deslizamiento. Para trabajarla se utilizó el análisis de proximidad, con la herramienta de distancia euclidiana, como antes se mencionó esta nos muestra la relación que tiene cada una de las celdas del ráster con un origen específico.

Esta variable muestra una relación inversa, pues mientras menor sea la distancia a un río mayor es la probabilidad de que ocurra un deslizamiento.

Figura 8

Influencia de distancia a ríos en la zona de estudio



- Litología

La litología está enfocada en las características físicas y químicas que tienen las rocas, la calidad de estas y la facilidad con la que se degrada ya sea por factores externos como la erosión, meteorización. Los deslizamientos se presentan en gran parte por las siguientes condiciones.

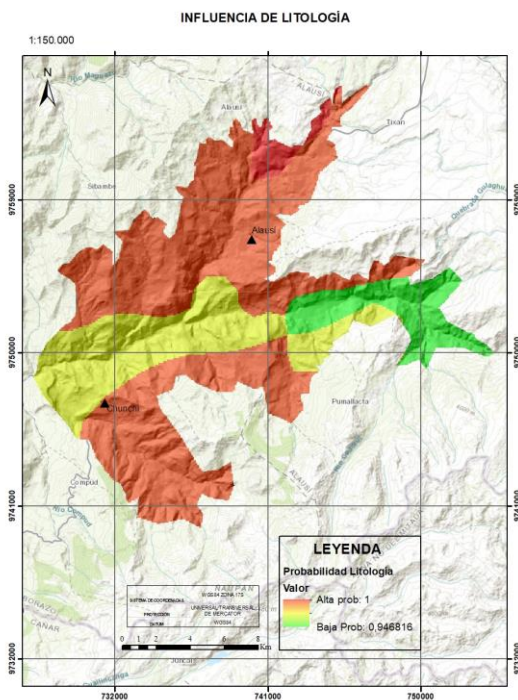
- *Importantes formaciones de terrenos sueltos*
- *Rocas detríticas poco consolidadas*
- *Rocas arcillosas o filíticas*
- *Rocas muy fragmentadas o descomprimidas*
- *Rocas químicamente solubles.*

(Andocilla López, 2012)

Esta variable al ser analizada mediante la metodología de Saaty presenta una relación directa, pues mientras mayor sea la ponderación en el tipo litológico de la roca, mayor es la probabilidad a deslizamiento.

Figura 9

Influencia de litología en el área de estudio



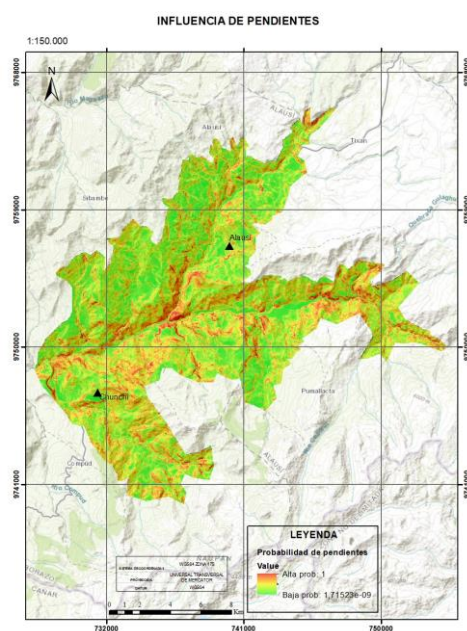
- *Pendiente*

La pendiente es una de las variables más preponderantes en los deslizamientos, estos son causadas gracias a que la fuerza de gravedad logra movilizar la roca por la pendiente; en el área de estudio se observó grandes cambios en la topografía, por lo que la inclusión de esta variable es esencial. En el estudio la pendiente fue representada en grados, a partir de la herramienta de Slope en el software ArcGIS 10.8 utilizando las curvas de nivel de la zona y el modelo digital del terreno, con todos estos insumos, se generaron los valores máximos y mínimos de pendientes.

La variable de pendientes tiene una relación directamente proporcional pues a mayor grado de elevación, mayor es la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento.

Figura 10

Influencia de pendientes en el área de estudio.



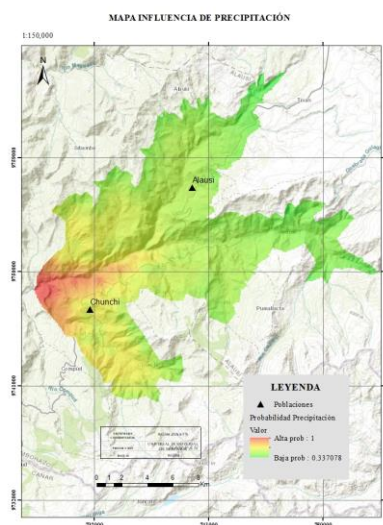
- *Precipitaciones*

Esta variable aporta a la inestabilidad del terreno, ya que ingresa cantidades significativas de agua al sistema, lo que conlleva a la saturación del material, ocasionando un incremento de las fuerzas haciendo que el suelo sea más inestable. Muestra la cantidad de precipitación máxima y mínima en la zona de estudio, se realizó una clasificación trimestral, para determinar la precipitación en cada uno de estos, además de la determinación de la precipitación anual, sin embargo para el estudio se dio énfasis en las precipitaciones del primer trimestre, teniendo en cuenta que ocurrió un gran deslizamiento en la zona de la Armenia, el segundo trimestre por ser los meses con más lluvia presenciada, y el anual por lograr un promedio general de todo el año.

La relación que tiene esta variable con deslizamientos es directamente proporcional pues a mayor rango de precipitación, mayor es la posibilidad de ocurrencia de un deslizamiento.

Figura 11

Influencia de precipitaciones en el área de estudio.

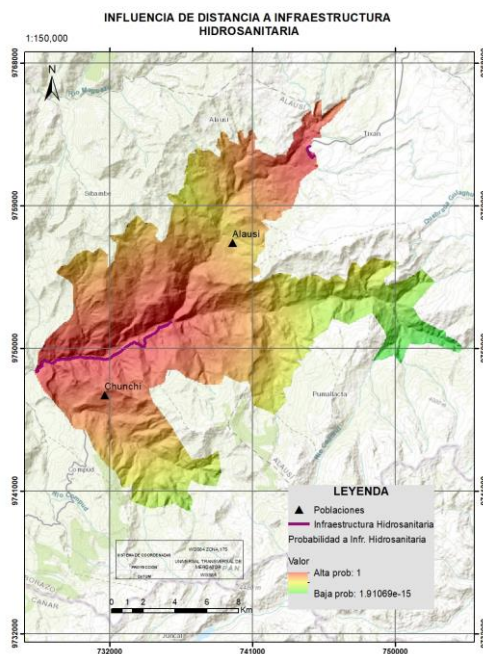


- *Infraestructura Hidrosanitaria*

La construcción y presencia de cualquier tipo de estructura antrópica, desestabiliza los taludes. Por lo cual mientras menos sea la distancia entre el terreno y cualquier tipo de estructura en este caso la hidrosanitaria, mayor será la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento.

Figura 12

Influencia de la distancia a infraestructura hidrosanitaria en el área de estudio.



- *Fallas geológicas*

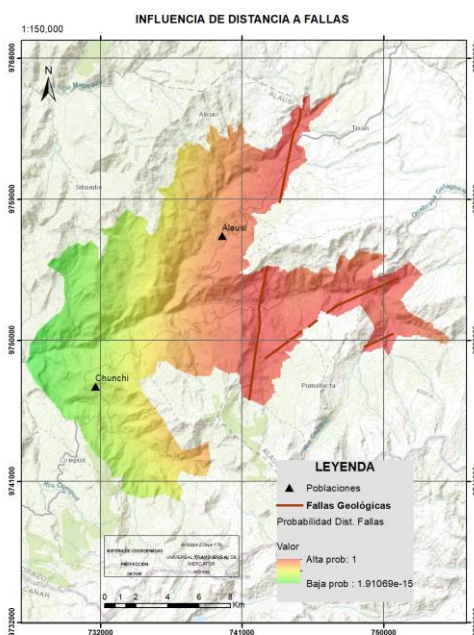
Una falla es una fractura a lo largo de la cual se produce el desplazamiento relativo de bloques paralelos a la falla, es una discontinuidad debida a la ruptura de un gran trozo de roca en la tierra, cuando las fuerzas tectónicas vencen la resistencia de la tierra.

Cuando la actividad en una falla es repentina y abrupta, puede ocurrir un gran terremoto o incluso provocar la ruptura de la superficie. Lo que se crea y se demuestra en la superficie es una forma topográfica llamada talud de falla. Estos rastros de fallas superficiales tienden a desaparecer debido a la erosión del viento y la lluvia, así como a la presencia de vegetación o actividad humana.(INPRES, 2004)

Son puntos de descarga de energía constante, por ende, la presencia de las mismas en nuestra área de estudio provoca movimiento en todas las direcciones lo que nos hace tener terrenos inestables. Mientras menor sea la distancia a una falla geológica, mayor es su probabilidad de ocurrencia deslizamientos. Al realizar el análisis de proximidad, se evidencia que las áreas más cercanas a las fallas se encontraran afectadas a deslizamientos, tomando en cuenta también la importancia de esta variable a la ocurrencia de los mismos, las fallas geológicas cruzan por las parroquias de Guasuntos, Pumallacta, Sevilla

Figura 13

Influencia de las fallas geológicas en el área de estudio.



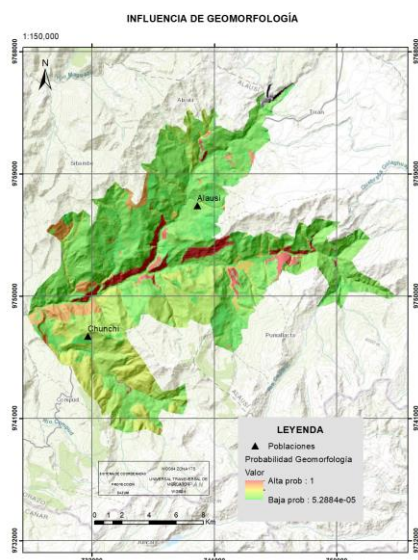
- *Geomorfología*

La ocurrencia a deslizamientos está relacionada con geomorfología ya que sus diversos componentes se consideran parámetros fundamentales de la dinámica de la superficie terrestre, la geomorfología se dedica a analizar, evaluar y predecir el comportamiento de la tierra, estado y forma futura fuente

En este caso esta variable fue analizada a partir de Saaty en donde se toma en cuenta la mayor cantidad de deslizamientos foto interpretados, la mayor ponderación con 21.591 fue dada a vertiente abrupta, misma que se trata de una pendiente con poca disección y con pendiente que normalmente supera al 70%, y la menor ponderación con 0.073 a coluvión reciente, misma que presenta un bajo grado de disección y el material depositado corresponde a la masa andesita. Tienen pendientes de moderadas a pronunciadas (25 a 40). Tipos de cobertura vegetal asociados a esta geomorfología son arbustos y hierbas, superficie inclinada, superficie volcánica, valle fluvial, llanura de inundación, también están dentro de la ponderación menor. Esta variable es directamente proporcional, ya que, a mayor ponderación, mayor probabilidad a deslizamientos.

Figura 14

Influencia de geomorfología en el área de estudio.



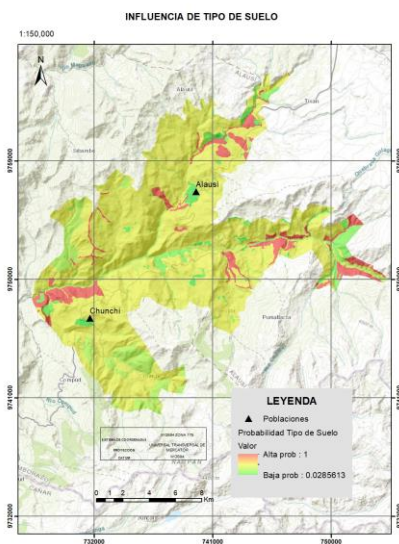
- *Tipo de suelo*

El tipo de suelo influye en los deslizamientos en combinación con las precipitaciones, debido a que el agua se infiltra en el suelo, causando inestabilidad en el terreno, como es el caso de un suelo arcilloso llega a saturarse por la gran cantidad de agua acogida, tiene una formación más densa y unido con grado de pendiente del lugar es posible la ocurrencia de deslizamientos. (Pérez & Rojas, 2005)

Esta variable fue analizada a partir de la metodología de Saaty en donde se toma en cuenta la mayor cantidad de deslizamientos foto interpretados, siendo la mayor ponderación de 37.4593 correspondiente a suelos molisoles, los cuales se caracterizan por formarse en zonas semiáridas a semihúmedas, rica en materia orgánica, que se presentan debido a la erosión muy intensa, clima árido, aluviones y coluviones resientes, y la menor ponderación con 5.9123 a suelos alfisoles. Esta variable es directamente proporcional, ya que, a mayor ponderación, mayor probabilidad a deslizamientos

Figura 15

Influencia del tipo de suelo en la zona de estudio.



- Erosión

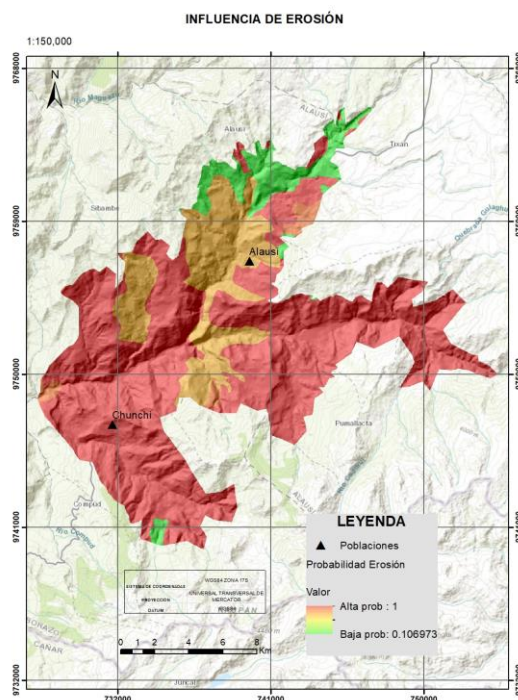
Durante la temporada de lluvias, la zona de estudio sufre una fuerte erosión, con cárcavas, deslizamientos y deslizamientos de tierra, entre otros fenómenos geodinámicos.

En este caso esta variable fue analizada a partir de Saaty en donde se toma en cuenta la mayor cantidad de deslizamientos foto interpretados, la mayor ponderación con 33.3039 fue dada a zonas con susceptibilidad alta a la erosión, y la menor ponderación con 7.15229 a zonas con susceptibilidad ligera a la erosión. Esta variable es directamente proporcional, ya que a mayor ponderación, mayor probabilidad a deslizamientos.

Esta presenta una relación directamente proporcional es decir mientras más erosión exista en la zona mayor será la ocurrencia a los deslizamientos.

Figura 16

Influencia de erosión en el área de estudio.



Análisis de proximidad

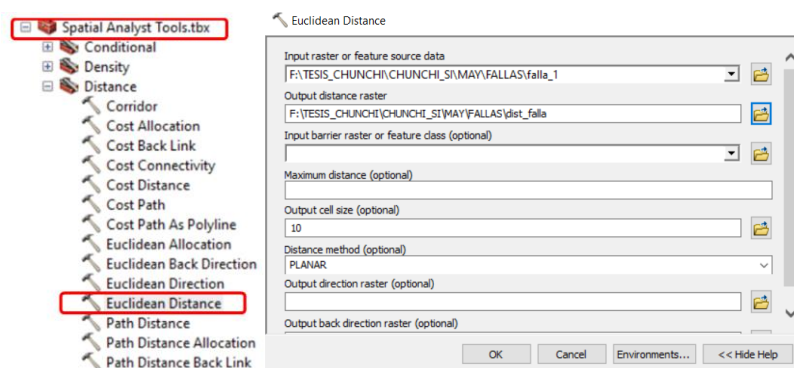
Se trata de un tipo de análisis que selecciona entidades geográficas en función de su distancia a otras entidades o celdas. Las variables que fueron sujetas a este análisis son distancias a fallas geológicas, distancias a la infraestructura hidrosanitaria, distancias a vías y distancias a ríos, a través de este análisis es posible determinar la cercanía que tiene un punto de deslizamiento a cada una de las variables estudiadas, mientras más cercano al punto su posibilidad de ocurrencia a deslizamientos es mayor que a un punto que se halle más lejano (Zafir, 2016).

Para el procesamiento de cada una de las variables se usó la herramienta “Euclidean distance” del software ArcGIS 10.8 que describe la relación de cada celda con un origen o conjunto de puntos de origen en términos de distancias lineales. Especifica la distancia desde

cada celda de la cuadrícula hasta el punto de inicio más cercano (Esri, 2020). La cual nos permitió obtener un producto de tipo raster, con la distancia de los puntos a cada una de la variable.

Figura 17

Interfaz ArcGis 10.8



Metodología de Satty

Este método es utilizado para resolver problemas en los que hay que priorizar diferentes opciones y luego decidir cuál es la opción más conveniente, en el caso de estudio se pretende obtener ponderaciones y determinar el orden de importancia de cada una de las subclases, generando escalas de prioridades a partir de juicios de expertos realizados mediante comparaciones (Nantes, 2019).

Las variables sujetas a este método son geomorfología, tipo de suelo, cobertura, litología, siendo variables cualitativas, que a través de este proceso toman valores cuantitativos, es decir pesos que nos permiten determinar la relación que tienen las variables con la susceptibilidad a deslizamientos.

Se determinó el número de deslizamientos, área del deslizamiento y el área en cada una de las clasificaciones de las variables, para establecer la densidad de estos, posteriormente obtener los pesos ponderados, a continuación, se presenta las siguientes tablas de las variables antes mencionadas.

Tabla 3

Ponderación de Saaty para cobertura vegetal

Cobertura Vegetal	N° de deslizamientos	Área del deslizamiento (km ²)	Área cobertura vegetal (km ²)	Densidad (%)	Ponderación Saaty (%)
Zona Urbana	4	0.428	0.695	61.612	41.817
Bosque Natural	1	0.155	0.567	27.333	18.399
Cultivos de Ciclo Corto	206	29.941	159.72	18.744	12.536
Pasto natural	21	2.155	12.151	17.747	11.850
Pasto cultivado	107	12.278	78.417	15.668	10.427
Cultivos de Maíz	3	0.472	7.319	6.460	4.140

Tabla 4

Ponderación de Saaty para tipos de suelo

Tipo de suelo	Numero de deslizamientos	Área del deslizamiento (km ²)	Área Tipo de suelo (km ²)	Densidad (%)	Ponderación Saaty
Anfisoles	2	0.138	2.645	5.242	5.912
Andisoles	18	1.454	14.799	9.830	11.904
Molisoles	36	5.936	20.194	29.395	37.459
Inceptisoles	9	0.631	7.283	8.668	10.386
Entisoles	191	26.445	195.227	13.545	16.757
Tierras Miscelaneas	30	1.739	15.183	11.456	14.028
No Aplicable	2	0.150	4.378	3.434	3.550

Tabla 5

Ponderación de Saaty para geomorfología.

Geomorfología	Numero de deslizamientos	Área del deslizamiento	Área Geomorfología	Densidad (%)	Ponderación Saaty (%)
---------------	--------------------------	------------------------	--------------------	--------------	-----------------------

		(km2)	(km2)		
Abrupto de superficie inclinada	9	0.759	8.076	9.409	2.965
Barranco	10	1.670	7.768	21.499	6.921
Coluvión aluvial antiguo	7	0.424	5.063	8.380	2.629
Coluvión aluvial reciente	7	0.176	5.424	3.262	0.954
Coluvión antiguo	23	3.841	39.191	9.801	3.094
Coluvión reciente	1	0.02	3.502	0.571	0.073
Depósitos de deslizamiento, masa deslizada	5	0.391	7.954	4.926	1.498
Escarpe de deslizamiento	4	0.426	1.096	38.921	12.622
Interfluvio de cimas redondeadas	2	0.203	4.063	5.013	1.527
No aplicable	1	0.02	1.066	1.874	0.500
Relieve colinado muy alto	16	3.153	9.015	34.975	11.331
Relieve volcánico colinado muy alto	36	4.736	19.929	23.768	7.664
Relieve volcánico montañoso	45	7.005	37.696	18.584	5.968
Superficie de cono de deyección	6	0.502	1.743	28.810	9.314
Superficie inclinada	1	0.04	10.624	0.376	0.010
Superficie volcánica ondulada	1	0.02	2.095	0.954	0.199
Valle en V	15	0.809	6.840	11.838	3.760
Valle fluvial, llanura de inundación	1	0.02	1.037	1.927	0.517
Vertiente abrupta	40	8.032	12.109	66.330	21.591
Vertiente heterogénea	37	4.681	47.642	9.826	3.102
Vertiente rectilínea	31	3.130	26.431	11.842	3.762

Tabla 6

Ponderación de Saaty para litología del are de estudio

Cobertura Vegetal	N°de deslizamientos	Área del deslizamiento (km²)	Área litológica (km²)	Densidad (%)	Ponderación Satty (%)
Andesitas a riolitas, piroclastos	158	18.0516	162.929	0.113	26.034
Pizarras, cuarcitas	52	5.693	27.553	0.206	23.333
Piroclastos, lahares, flujos de lavas	5	0.745	7.503	0.0993	26.450
Lavas andesíticas a riolíticas, piroclastos	72	14.052	61.726	0.177	24.181

Tabla 7

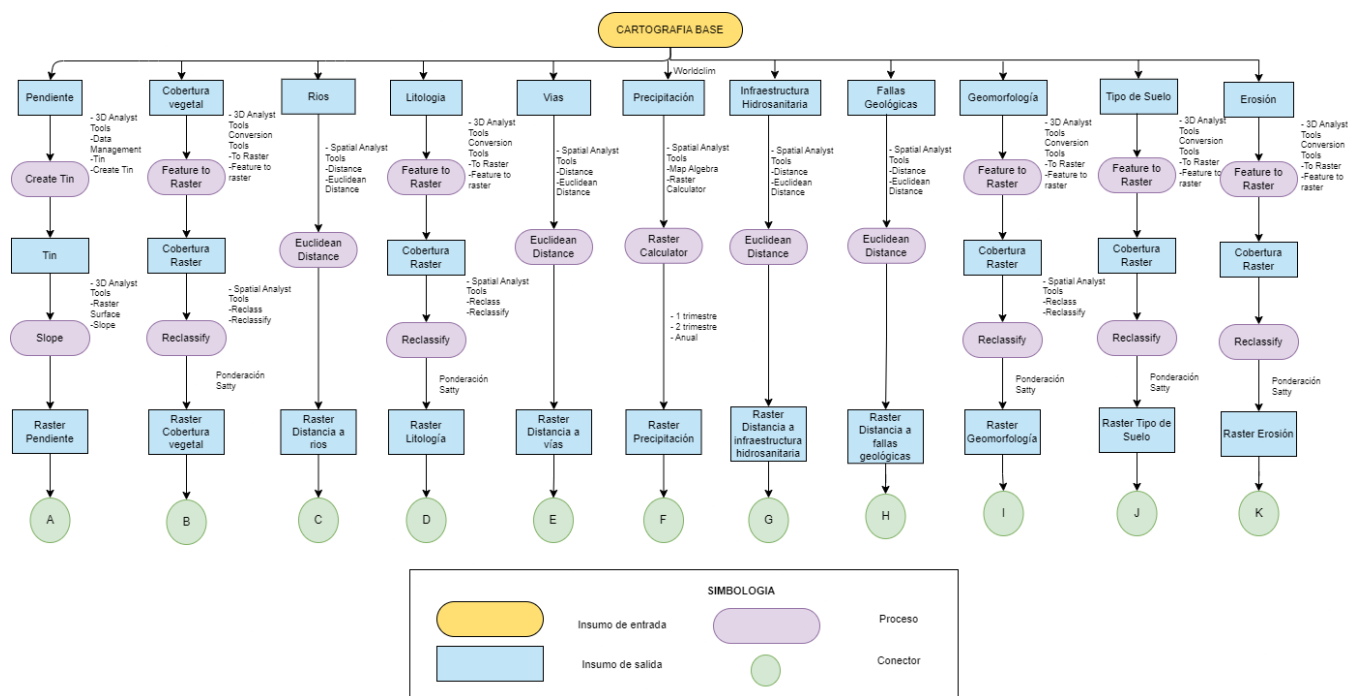
Ponderación de Saaty para la erosión.

Cobertura Vegetal	número de deslizamientos	Área del deslizamiento en (km²)	Área Tipo de suelo(km²)	Densidad (%)	Ponderación Satty (%)
Zonas sin susceptibilidad a la erosión	53	5.475	47.196	0.1160	23.239
Zonas con susceptibilidad moderada a la erosión	9	0.725	17.451	0.0415	7.152
Zonas con susceptibilidad ligera a la erosión	1	0.058	1.161	0.0505	9.086
Zonas con susceptibilidad baja a la erosión	216	30.804	189.462	0.1625	33.303
Zonas con susceptibilidad alta a la erosión	9	0.597	4.441	0.1344	27.218

Modelo cartográfico

Figura 18

Modelo cartográfico del manejo de variables



Normalización de datos

En el proceso de normalización se usa una fórmula para convertir variables medidas en distintas escalas a una escala común para lograr ser comparadas entre ellas o ser utilizado en los modelos estadísticos. Los valores utilizados para este proceso van de 0 a 1 y se utilizó la siguiente fórmula

$$N = \frac{V_o}{V_m} \quad \text{Ec. 6}$$

Siendo

N: Normalización

Vo: Variable original

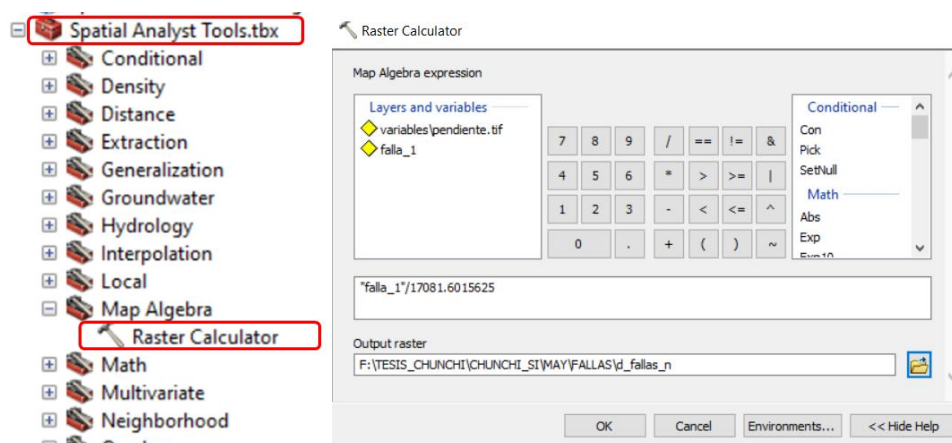
Vm: Valor máximo de la variable original

Para las variables cuantitativas se utilizó la capa raster original, y haciendo uso de algebra de mapas con la herramienta "Raster Calculator" se procedió a la normalización, mientras que para las variables cualitativas se partió de la metodología de Satty, la cual se

colocó en cada una de los raster utilizando la herramienta “Float” con la que fue posible convertir cada celda del raster en un valor flotante, de esta manera incluir las ponderaciones obtenidas.

Figura 19

Interfaz ArcGis 10.8



Metodología Fuzzy

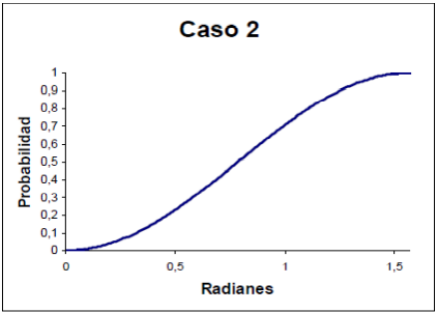
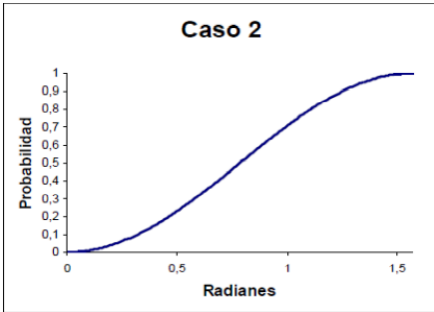
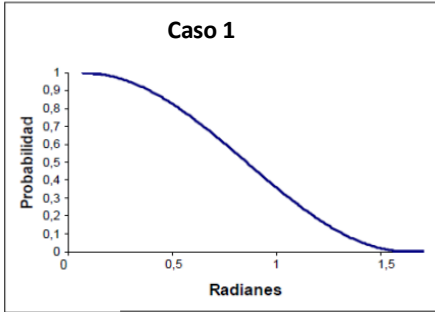
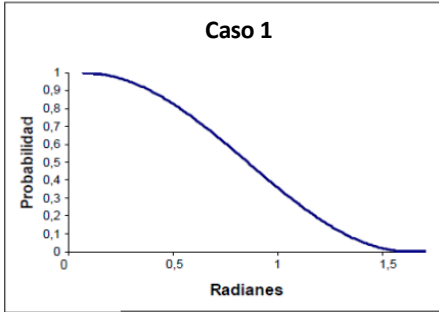
Esta metodología se define como un modelamiento matemático que toma en cuenta una función no lineal, que se obtiene como respuesta un valor numérico que va de 0 a 1, como un resultado cuantitativo, que en el caso de estudio da una posible solución entre ausencias y presencias de deslizamientos. Por tal motivo se emplean funciones trigonométricas como seno y coseno para determinar la relación de las variables independientes, en cuanto a la variable dependiente, es decir si son directa o inversamente proporcional.

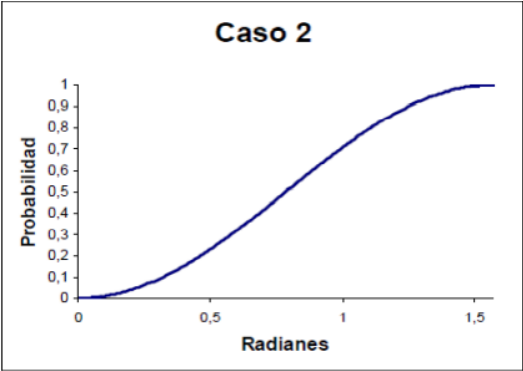
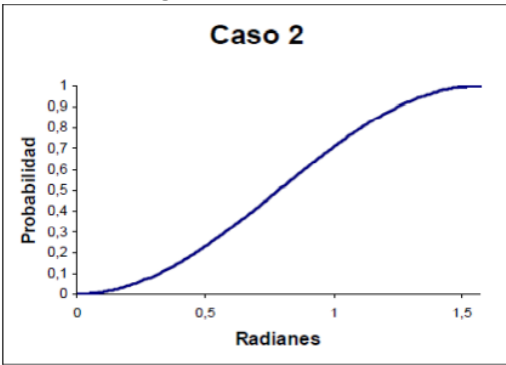
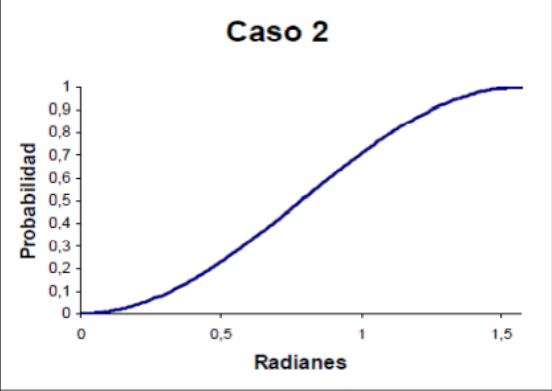
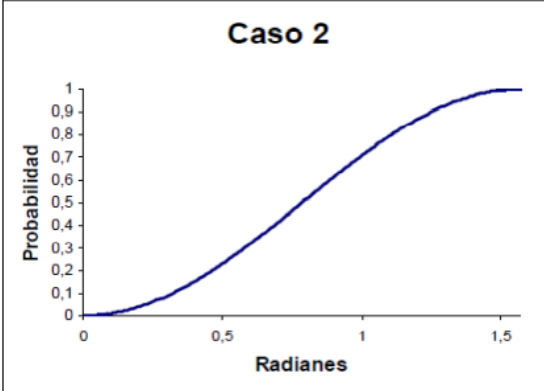
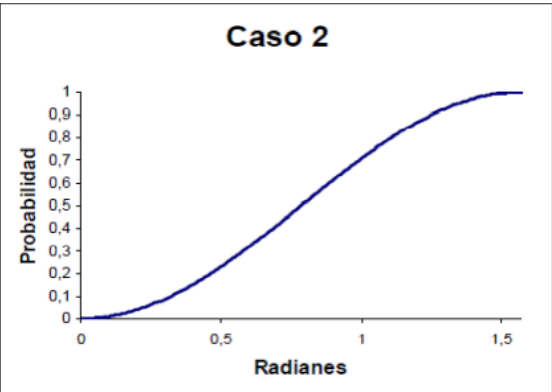
Comportamiento de las variables que intervienen

Es posible determinar la relación que tiene una variable con otra, tomando en cuenta criterios técnicos, así como también la información que se tiene disponible para el trabajo. A continuación, se detalla la relación inversa o directa de cada una de las variables es decir caso 1 o caso 2 respectivamente.

Tabla 8

Relación de variables para metodología Fuzzy

CASO FUZZY			
Pendiente (relación directa)		Precipitaciones (relación directa)	
Caso 2		Caso 2	
			
RANGO	FUNCIÓN	RANGO	FUNCIÓN
$0 \text{ a } \pi/2$	SENO	$0 \text{ a } \pi/2$	SENO
Distancia a vías (relación inversa)		Distancia a estructura hidrosanitaria (relación inversa)	
Caso 1		Caso 1	
			
RANGO	FUNCIÓN	RANGO	FUNCIÓN
$0 \text{ a } \pi/2$	COSENO	$0 \text{ a } \pi/2$	COSENO

<p>Cobertura vegetal (relación directa)</p>  <p>Caso 2</p> <p>Y-axis: Probabilidad (0 to 1) X-axis: Radianes (0 to 1,5)</p>		<p>Litología (relación directa)</p>  <p>Caso 2</p> <p>Y-axis: Probabilidad (0 to 1) X-axis: Radianes (0 to 1,5)</p>	
RANGO	FUNCIÓN	RANGO	FUNCIÓN
0 a $\pi/2$	SENO	0 a $\pi/2$	SENO
<p>Geomorfológico (relación directa)</p>  <p>Caso 2</p> <p>Y-axis: Probabilidad (0 to 1) X-axis: Radianes (0 to 1,5)</p>		<p>Tipos de suelo (relación directa)</p>  <p>Caso 2</p> <p>Y-axis: Probabilidad (0 to 1) X-axis: Radianes (0 to 1,5)</p>	
RANGO	FUNCIÓN	RANGO	FUNCIÓN
0 a $\pi/2$	SENO	0 a $\pi/2$	SENO
<p>Erosión (relación directa)</p>  <p>Caso 2</p> <p>Y-axis: Probabilidad (0 to 1) X-axis: Radianes (0 to 1,5)</p>			
RANGO	FUNCION		
0 a $\pi/2$	SENO		

Conversión a Radianes

La conversión a radianes de las variables se realiza para aplicar cada uno de los casos de la metodología Fuzzy, ya que en el caso 1 y 2 para relación inversa y directa respectivamente, se aplican funciones trigonométricas y el rango va de 0 a $\pi/2$.

Para este proceso se empleó la herramienta “Raster calculator” del software ArcGis 10.8, en donde se utilizó la siguiente ecuación tomada de (Zafirir, 2016), para la conversión.

$$R = N * 1.5707963268 \quad \text{Ec. 7}$$

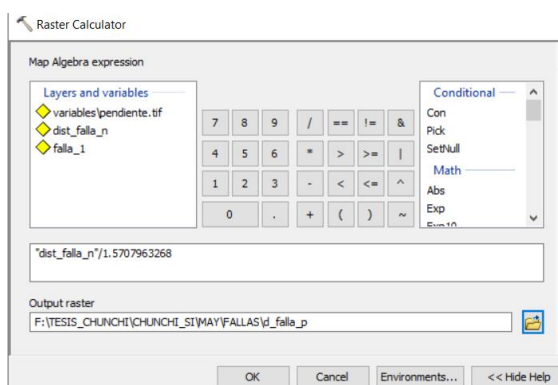
Siendo

R: Variable convertida a radianes 1.5707963268

N: Variable normalizada

Figura 20

Interfaz ArcGis 10.8



Probabilidad en variables

Una vez realizado el proceso antes mencionado, se procede a determinar la probabilidad de cada una de las variables, tomando en cuenta la función del caso 1 o 2. Así

mismo se empleó la herramienta “Raster calculator” del software ArcGis 10.8, en donde se utilizó la ecuación 4 para variables con relación inversa COS y la ecuación 5 para relación directa.

$$P = \text{Cos}^2(R) \quad \text{Ec. 8}$$

$$P = \text{Sen}^2(R) \quad \text{Ec. 9}$$

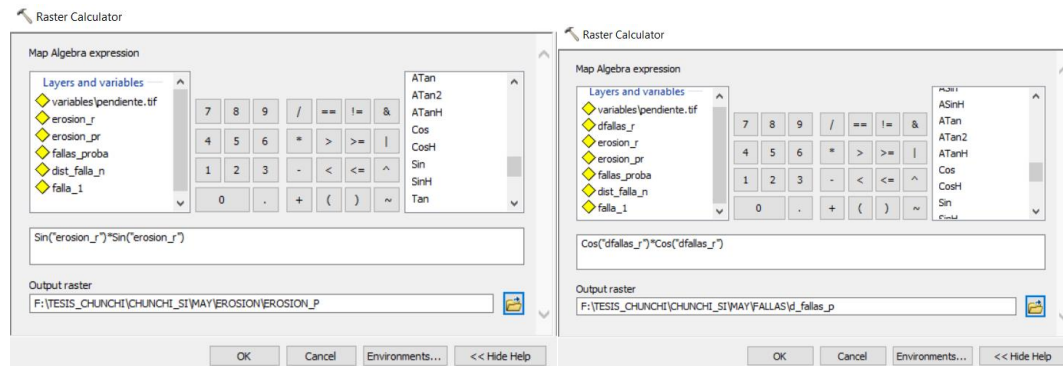
Siendo

P: Probabilidad de las variables

R: Variable convertida en radianes

Figura 21

Interfaz ArcGis 1.8



Obtención del modelo

Una característica esencial de los modelos basados en lógica difusa es que cada variable seleccionada representa un factor que afecta la estabilidad de taludes, reforzando la existencia de deslizamientos, calcula la probabilidad de cada variable, analizando a qué caso lógica difusa pertenece. Luego se usa un algoritmo para generar el modelo final. “La expresión

utilizada en estudios anteriores es la suma de las probabilidades de cada variable dividida por su total, dando como resultado la siguiente ecuación:”(Chamorro Moya, 2014)

$$Y = (\text{proba}_{\text{cobert}} + \text{"proba_rios"} + \text{"proba_lito"} + \text{"prob_pen"} + \text{"proba_vias"} + \text{"tsuelo_pr"} + \text{"hidrsan_proba"} + \text{"geomorf_pr"} + \text{"erosion_pr"} + \text{"dfallas_pr"} + \text{"2_trim_fuzzy"})/11$$

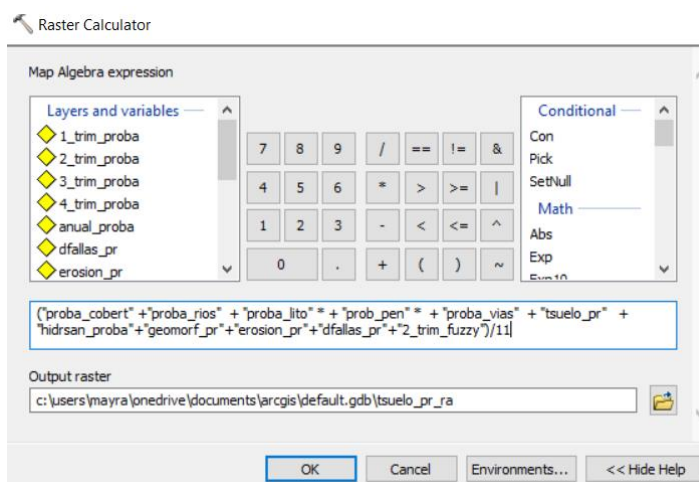
Ec. 10

Dado que este algoritmo fue establecido para representación de la posibilidad de deslizamientos en pendientes, es decir, en zonas montañosas, su desventaja es que su capacidad para representar la realidad en terreno normal es muy restringida, ya que ciertas variables no funcionan de la misma manera en laderas planas y en laderas pronunciadas.

Para la obtención del modelo final se procesó 3 modelos, tomando en cuenta la variable precipitación, el primer modelo con la precipitación del 1er trimestre, segundo modelo precipitación del 2do trimestre y por último el tercer modelo con precipitación promedio anual, de estos modelos de acuerdo con un análisis estadístico se determinó cual es el más acertado.

Figura 22

Interfaz ArcGis 10.8



Proceso estadístico

El modelo más adecuado se determinó en base al proceso estadístico de cada uno de ellos, tomando en cuenta estadística descriptiva y posteriormente realizar el ajuste adecuado.

Haciendo uso de la herramienta "Sample" se obtuvo una tabla de datos de los valores del modelo en cada uno de los puntos, siendo estos, presencias y ausencias de deslizamientos con un total de 527 puntos

Tomando como bases la tabla de datos antes mencionada, se realizó un análisis del porcentaje de aciertos en presencias y ausencias de deslizamientos para lo cual se determinó cuáles son los puntos que coinciden con los deslizamientos y no deslizamientos fotointerpretados

A continuación, se detalla el resultado de cada uno de los modelos de lógica difusa

Figura 23

Interfaz ArcGis 10.8

OBJECTID	UNIDOS	X	Y	1_trim_fuzzy
150	149	750008.298179	9750661.18561	0.586964
151	150	748991.75273	9749500.44641	0.520997
152	151	750186.512997	9749502.91734	0.549039
153	152	750461.291499	9749629.43892	0.521954
154	153	749705.53217	9749965.43305	0.567474
155	154	750078.728706	9751134.87457	0.603087
156	155	748454.439089	9751261.48568	0.566029
157	156	751751.958798	9750716.96973	0.592219
158	157	750874.695709	9750745.85411	0.638147
159	158	750839.514478	9752108.62786	0.527278
160	159	751701.674192	9753798.57111	0.555122
161	160	751163.330881	9754235.32388	0.529012
162	161	748282.046981	9752525.929	0.600478
163	162	734681.545358	9749945.36027	0.629049
164	163	734291.076219	9750082.99943	0.671513
165	164	738319.112209	9751555.30209	0.672078
166	165	738303.489735	9751095.68776	0.720962
167	166	741702.166995	9751775.36282	0.6651

Tabla: Porcentaje aciertos del primer modelo Fuzzy

Tabla 9

Porcentaje aciertos del primer modelo Fuzzy

	N°	%ACIERTOS
Presencias	279	79.5698925
Ausencias	248	21.3709677

Tabla 10

Porcentaje aciertos del segundo modelo Fuzzy

	N°	%ACIERTOS
Presencias	279	99.6415771
Ausencias	248	1.20967742

Tabla 11

Porcentaje aciertos del tercer modelo Fuzzy

	N°	%ACIERTOS
Presencias	279	99.6415771
Ausencias	248	1.20967742

Análisis fuzzy ponderada

Se estableció distintas ponderaciones a cada una de las variables en base a una encuesta realizada a los expertos en el tema, donde se solicitó ordenar a las variables desde la que más influye en la ocurrencia de deslizamientos, tomando un valor máximo de 11, a la que menos influencia tiene con un valor mínimo de 1, y posteriormente a través de la metodología de Satty se obtuvo la ponderación para estas.

En la siguiente tabla se detalla el valor que se asignó a las variables estudiadas, conjuntamente con el promedio y su respectiva ponderación.

Tabla 12

Ponderación Metodología Fuzzy

VARIABLE	EXPERTO 1	EXPERTO 2	EXPERTO 3	EXPERTO 4	EXPERTO 5	EXPERTO 6	EXPERTO 7	PROMEDIO	PONDERACIÓN
Cercanía a vías de comunicación	1	2	4	7	8	10	7	5.571	7.539
Cercanía a red hidrosanitaria	2	2	7	9	9	5	7	5.857	8.000
Cercanía a fallas geológicas	3	5	6	8	10	7	5	6.285	8.692
Cercanía a red hidrográfica	2	4	5	6	7	8	6	5.428	7.309
Índice de resistencia a la roca (litología)	5	6	7	8	9	8	7	7.142	10.076
Cobertura vegetal	7	8	9	10	7	8	9	8.285	11.920
Pendiente	11	11	11	11	11	11	11	11	16.301
Precipitaciones	1	2	3	4	6	4	3	3.285	3.850
Tipo de suelo	5	7	8	9	10	8	9	8	11.459
Geomorfología	1	3	4	8	9	4	8	5.285	7.078
Erosión	5	4	5	6	7	9	4	5.714	7.770

Obtención del modelo

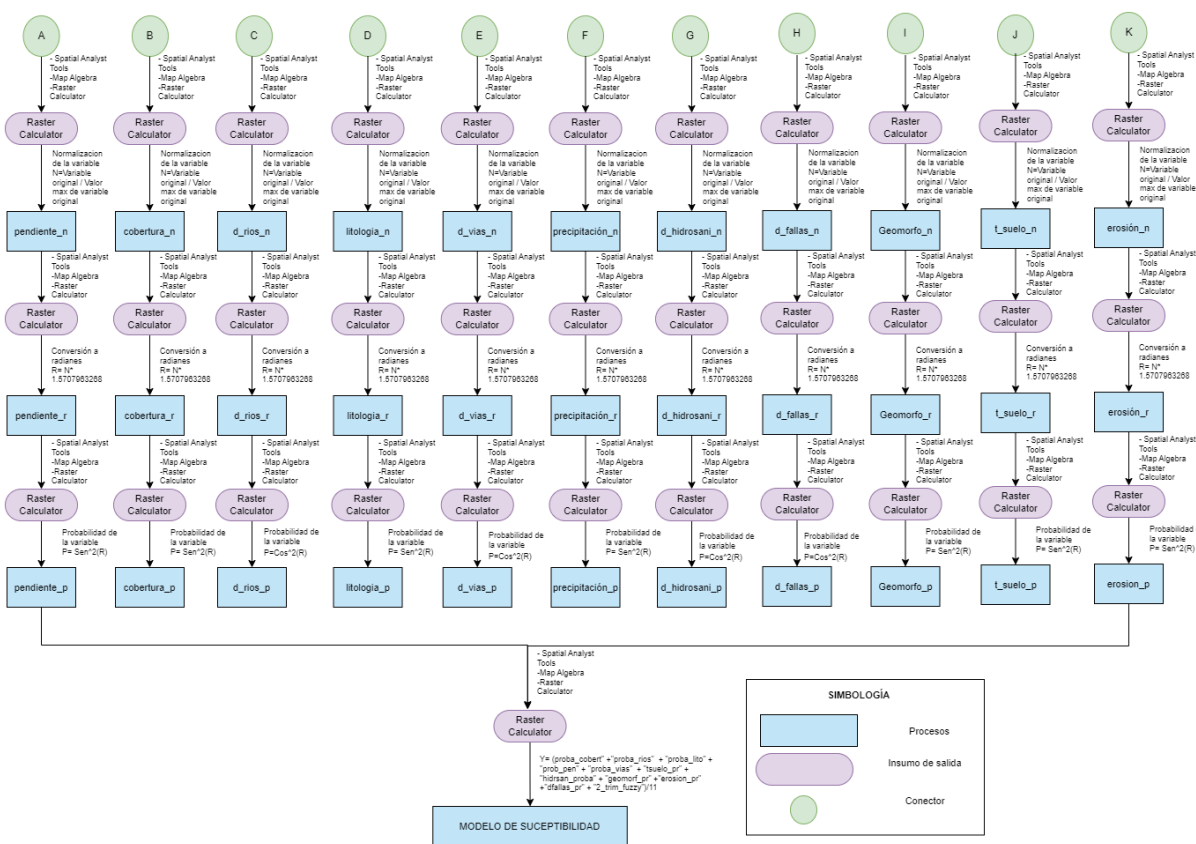
El modelo resultante se obtuvo mediante una suma ponderada, la cual se basa en asignar a cada una de las variables estudiadas un peso según el grado de importancia en relación a la ocurrencia de deslizamientos, es decir que mientras mayor sea la ponderación del elemento, se le considerará que tiene más influencia; esta suma ponderada nos permite hacer una combinación de varias variables incorporando la importancia relativa, tomando distintos rasters de la probabilidad de las variables y se procede a una multiplicación por el peso, y finalmente una sumatoria de los mismos, este proceso se ejecuta mediante la herramienta “Raster calculator” del software Arcgis 10.8, introduciendo la siguiente ecuación.

$$Y = (\text{proba}_{\text{cobert}} + \text{"proba_rios"} + \text{"proba_lito"} + \text{"prob_pen"} + \text{"proba_vias"} + \text{"tsuelo_pr"} + \text{"hidrsan_proba"} + \text{"geomorf_pr"} + \text{"erosion_pr"} + \text{"dfallas_pr"} + \text{"2_trim_fuzzy"})/11 \quad \text{Ec. 11}$$

Modelo Cartográfico

Figura 24

Modelo cartográfico del modelo Fuzzy



Regresión lineal

Para comenzar con el trabajo se inició con los puntos fotointerpretados de presencia de deslizamientos en el área de estudio, de la mano de esto se obtuvo otro shape que contiene los puntos de no deslizamientos, también fotointerpretados dentro de la misma área y se unieron ambas capas para tener una sola. Como resultado se obtuvo un total de 529 puntos, de los cuales 280 son puntos señalan la presencia de deslizamientos y 248 la ausencia de estos.

Partiendo de esta premisa se procedió a utilizar las 11 variables del estudio, previamente rasterizadas, como se sabe cada uno de los píxeles de estos rasters tienen un valor. Con la herramienta *sample* de ArcGIS 10.8 se colocó cada valor de estos píxeles en los puntos de deslizamiento y no deslizamientos. El interfaz de ArcGIS sobre el lugar del *input* se colocó cada raster, y en el segundo espacio del *Input location raster or point feature* el shape que tiene los puntos de deslizamientos y no deslizamientos, obteniendo con esto una base de datos, la que consta de los valores de 1, 0 de presencia y ausencia y los valores del proceso de *sample* de cada variable.

Con esta base de datos totalmente configurada se procedió a ingresarla al software SPSS 27.0 en donde en el apartado de regresión lineal se fueron colocando las variables de nuestra base de datos de Excel, es importante señalar que en la variable de precipitaciones se tenía 3 tipos (anual, 1er trimestre y 2do trimestre) por lo cual fue de suma importancia tenerlos diferenciados, también se tomó en cuenta la variable dependiente (deslizamientos) y las independientes.

En el caso de esta regresión se realizaron los siguientes procedimientos:

La selección del método permite detallar cómo serán introducidas las variables independientes en el análisis estadístico. Utilizando estos distintos métodos se pueden formar o construir diversos modelos de regresión a partir del mismo conjunto de variables.

Intro: Este método forma la ecuación de regresión utilizando todas las variables seleccionadas en la lista, en un solo paso (IBM, 2017).

Por pasos: Este proceso consiste que en cada paso se introduce la variable independiente que no está en la ecuación y que tenga la probabilidad para F más pequeña.

El método termina cuando ya no hay más variables candidatas a ser incluidas o eliminadas (IBM, 2017).

Eliminar: En este procedimiento en donde para la selección de variables estas se eliminan en bloque y en un solo paso (IBM, 2017).

Hacia atrás: En este modelo se va introduciendo las variables de forma en que aquella que tenga la menor correlación con la variable dependiente será la primera en ser eliminada. Después de haber excluido la primera variable, se pondrá a prueba a la variable que quede en la ecuación y que presente una correlación más pequeña. El procedimiento finaliza cuando ya no existen en la ecuación variables que satisfagan el criterio de eliminación (IBM, 2017).

Hacia adelante: Este procedimiento de selección de variables se da por pasos en el que cada una de las variables son introducidas secuencialmente en el modelo. La primera variable introducida en la ecuación será la que tenga mayor correlación, positiva o negativa, con la variable dependiente (IBM, 2017).

Después de realizar todos estos modelos se pudo comparar los resultados de estos, en donde el R^2 es el principal indicador de eficacia del modelo, siendo los más cercanos a 1 el que nos dé el mejor resultado

El mejor modelo obtenido proporciono una serie de coeficientes los cuales son los que serán reemplazados en la ecuación de la regresión lineal. Este procedimiento se lo realiza en el apartado de *Raster Calculator* de ArcGIS 10.8 en el cual estarán cargados los rasters de las variables inicialmente mencionadas.

Después del análisis de los R^2 se considero al modelo que tiene la precipitación del primer trimestre como el que mejor se ajustó, y al ingresar la ecuación el programa nos arroja un raster que tiene ya la tonalidad para determinar las áreas susceptibles a deslizamientos.

Obtención del modelo

Al ser ingresada la base de datos de los valores de los puntos de deslizamientos y no deslizamientos en el programa SPSS, se construyeron 5 modelos, cada uno de ellos con una configuración diferente en cuanto a las variables y con un resultado de R^2 con variaciones.

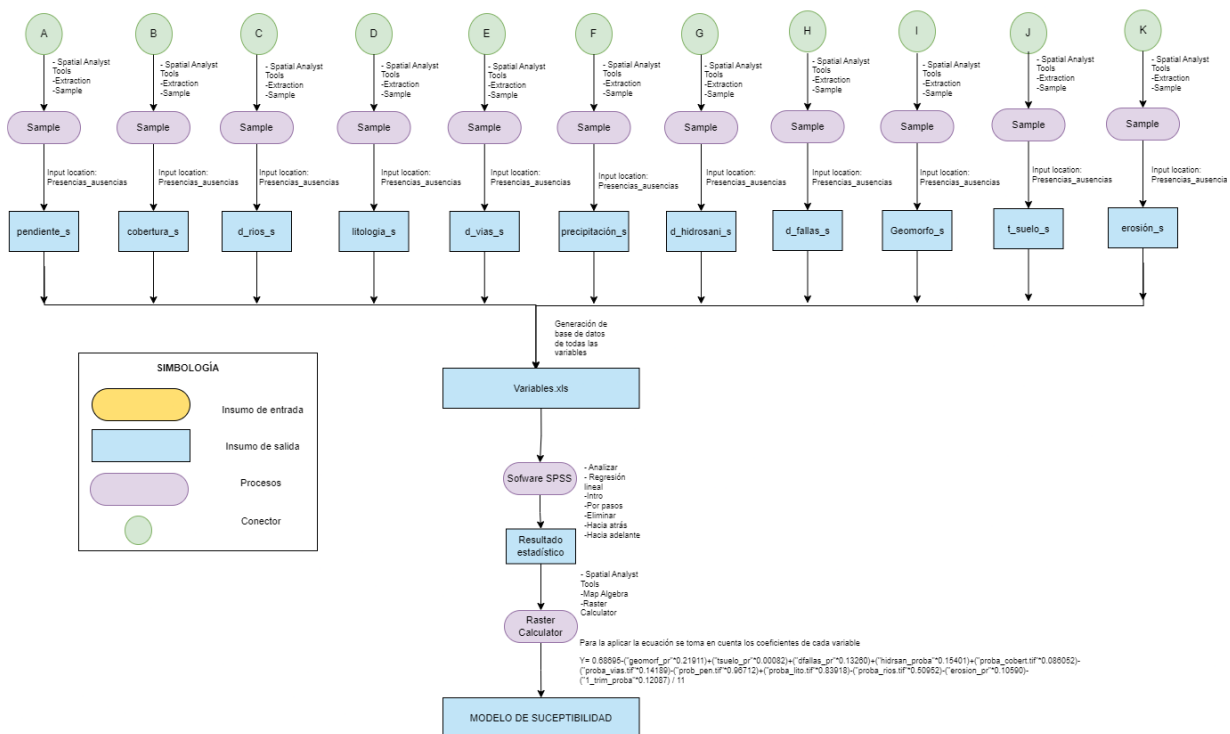
Se pone a consideración que con la variable de precipitaciones se trabajó con 3 tipos de grupos, el primero de ellos agrupa las lluvias del primer trimestre del año (diciembre, enero y febrero) el segundo grupo, las lluvias del segundo trimestre del año (marzo, abril y mayo) y el tercer grupo está formado por todos los meses del año. Al procesar todos los resultados se obtuvieron valores diferentes.

La ecuación que se utilizó en el álgebra de mapas para lograr el modelo de precisión es la siguiente.

$$Y = 0,68695 - "geomorf_pr" * 0,21911 + "tsuelo_pr" * 0,000829 + "dfalls_pr" * 0,132651 + "hidrosan_pr" * 0,154015 + "cobert_pr" * 0,086052 - "vias_pr" * 0,1418920 - "pen_pr" * 0,96712 + "lito_pr" * 0,83918 - "rios_pr" * 0,509521 - "ero_pr" * 0,105908 - "prec_1t" * 0,120873$$

Modelo Cartográfico
Figura 25

Modelo cartográfico de la regresión lineal.



Regresión Logística

“La regresión logística es un método estadístico, adecuado para el análisis de presencia-ausencia de la variable dependiente (en este caso probabilidad de deslizamiento), así como para la evaluación del nivel de significación de los factores que intervienen en el modelo” (Ayalew & Yamagishi, 2005).

Es preciso usar este método cuando la variable a predecir es dicotómica o binomial o que solo puede tomar dos valores posibles de presencia o ausencia, también porque esta

variable no es continua y no se distribuye normalmente y la relación de las variables es intrínseca y no lineal.

Este método no utiliza mínimos cuadrados para estimar los parámetros, sino Máxima Verosimilitud, se eligen los coeficientes que hacen los resultados más probables, haciendo que el método sea mucho más confiable, pues proporciona resultados eficaces y potentes.

La ecuación que rige este proceso es la siguiente.

$$P = \frac{1}{1+e^y} \quad \text{Ec. 13}$$

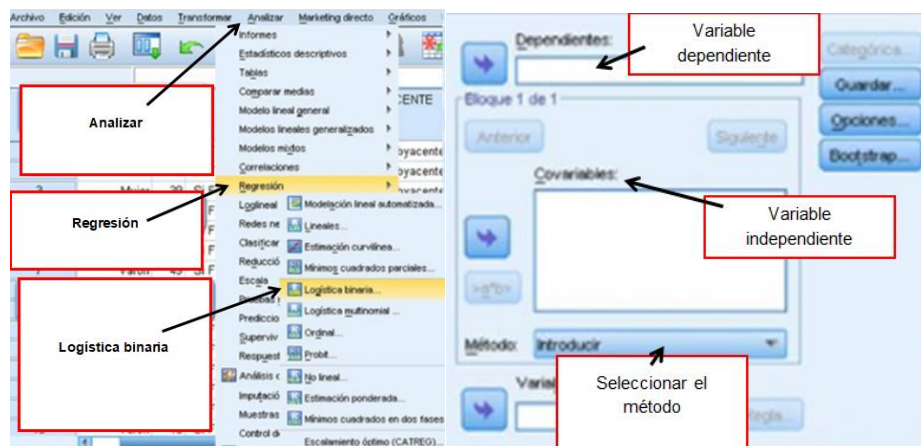
Donde P es la probabilidad a presencia a deslizamientos. Este proceso al igual que la regresión logística parte de los puntos de deslizamientos y no deslizamientos, en donde con los rasters de las 11 variables que intervienen se realiza el procedimiento de sample, previamente explicado en el apartado anterior, por lo cual los puntos de deslizamientos y no deslizamientos ya cuentan con un valor específico en cada raster.

Se elabora una base de datos en Excel donde constaran los valores previamente obtenidos del proceso de sample de cada variable y los valores de 1 y 0 de presencia y ausencia de deslizamientos.

Se ingresó la base de datos al software SPSS 27.0 en donde en el apartado de regresión logística se fueron colocando las variables, es importante señalar que en la variable de precipitaciones se tenía 3 tipos (anual, 1er trimestre y 2do trimestre) por lo cual fue de suma importancia tenerlos diferenciados, también se tomó en cuenta la variable dependiente (deslizamientos) y las demás independientes.

Figura 26

Interfaz Software SPSS



La forma en la que se introducen las variables dentro de los modelos nos asegura resultados variables y hace que cada uno de ellos tenga una estructura diferente.

En este caso se realizaron los 7 siguientes modelos:

Intro. Todas las variables se introducen en un solo paso.

Selección hacia delante (condicional). Es un método que difiere la entrada basándose en la importancia del estadístico de puntuación y elimina las variables enfocándose en la probabilidad de un estadístico de la razón de verosimilitud (IBM, 2017).

Hacia delante (razón de verosimilitud). Método de selección por pasos hacia delante que contrasta la entrada basándose en la significación del estadístico de puntuación y contrasta la eliminación basándose en la probabilidad del estadístico de la razón de verosimilitud, que se basa en estimaciones de la máxima verosimilitud parcial (IBM, 2017).

Hacia delante (Wald). Es un método de selección que va pasos hacia delante que difiere la entrada basándose en la importancia del estadístico de puntuación y contrasta la eliminación de variables basándose en la probabilidad del estadístico de Wald (IBM, 2017).

Hacia atrás (condicional). Este método funciona por pasos sucesivos hacia atrás, la eliminación de variables se basa en la probabilidad del estadístico de verosimilitud, el cual se basa en las estimaciones condicionales de los parámetros (IBM, 2017).

Hacia atrás (razón de verosimilitud). Funciona por pasos sucesivos hacia atrás la eliminación se fundamenta en la probabilidad del estadístico según la verosimilitud, el cual se fundamenta en estimaciones de máxima verosimilitud parcial (IBM, 2017).

Hacia atrás (Wald). Se basa en la selección por pasos sucesivos hacia atrás El criterio para la eliminación se basa en la probabilidad del estadístico de Wald (IBM, 2017).

Obtención del modelo

Al colocar todas las variables en el software se construyeron 5 modelos, con diferentes características, esto se debe a la estructuración que dan todas las opciones anteriormente mencionadas en el apartado de regresión logística.

La ecuación que se utilizó en el álgebra de mapas para lograr el modelo INTRO DEL PIMER TRIMESTE es la ecuación 13.

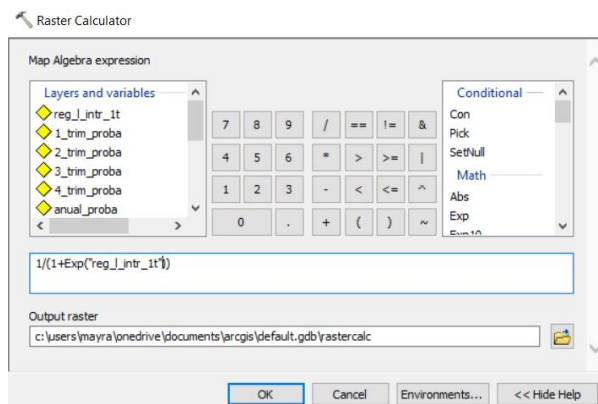
Donde para la obtención de “y” se utilizó la siguiente ecuación

$$Y = 27,807 - \text{geomorf_pr} * -1,388 + \text{tsuelo_pr} * 0,246 + \text{dfalls_pr} * 0,940 + \text{hidrosan_pr} * 0,284 + \text{cobert_pr} * -0,277 - \text{vias_pr} * 0,540 - \text{pen_pr} * -5,176 + \text{lito_pr} * 32,287 - \text{rios_pr} * -1,955 - \text{ero_pr} * -1,224 - \text{"prec_1t"} * 0,120873$$

Ec. 14

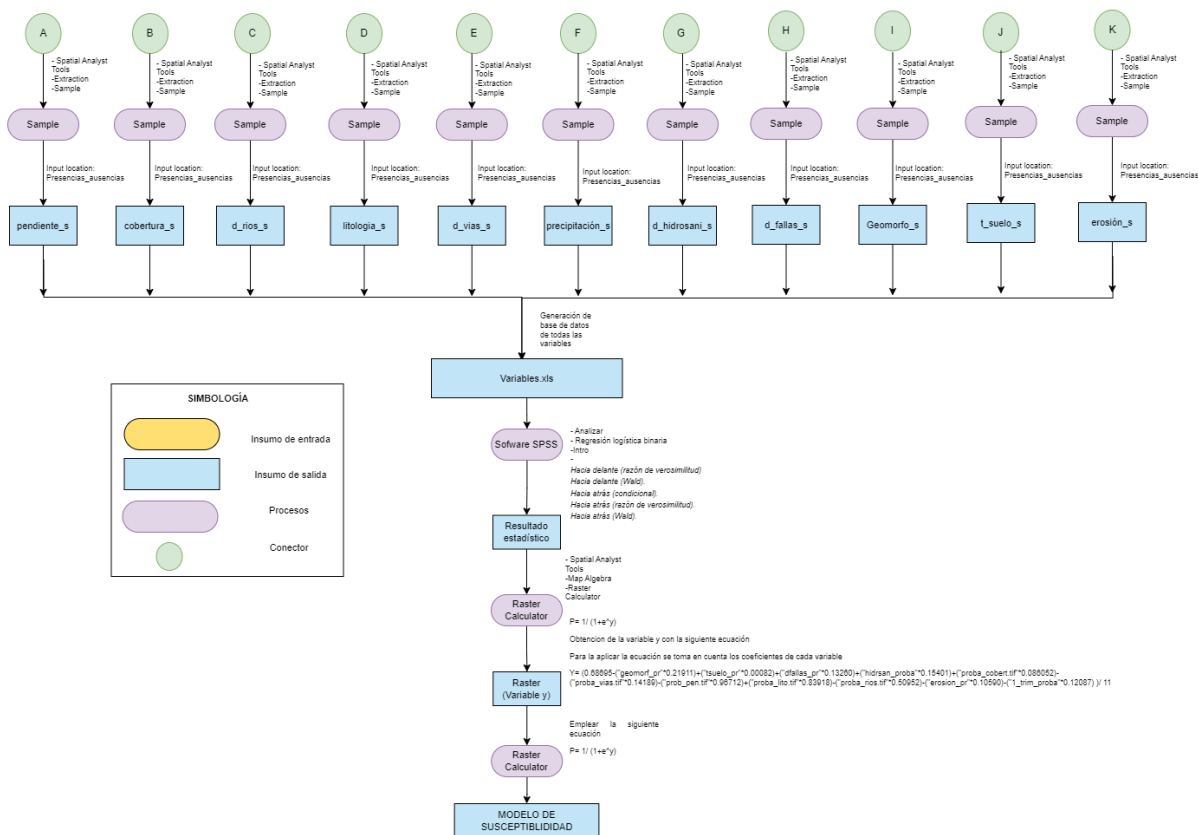
Una vez obtenido la variable “y” se procede hacer uso de la ecuación 13

Figura 27
Interfaz ArcGis 10.8



Modelo Cartográfico
Figura 28

Modelo cartográfico de Regresión Logística



Análisis de Redes Neuronales

Esta metodología de redes neuronales se basa en el entrenamiento de la información previa, las 11 variables antes mencionadas, se entrena en base a datos reales, que vendrían a ser los criterios referenciales del sistema neuronal, para la predicción del comportamiento del terreno.

El entrenamiento de la red se partió de las variables normalizadas, generando una base de datos con el uso de la herramienta "Sample" de ArcGis 10.8, y con el uso del software SPSS generar la red neuronal, el cual a través de sus distintas herramientas como perceptrón multicapa, se construyó con 3 conjuntos de datos, el 70 % de entrenamiento, 20% de prueba y 10% de reserva, con un total de 527 puntos fotointerpretados de deslizamientos y no deslizamientos. Este porcentaje fue escogido de manera arbitraria, pues en la revisión de bibliografía no se encontró un consenso concreto al respecto.

Se probaron algunas arquitecturas con diferente número de capas ocultas y distinto número de neuronas hasta llegar a la arquitectura que dio los mejores resultados tanto para el entrenamiento como para el conjunto de pruebas, además la función de activación sigmoideal que es utilizada para categorías cualitativas, el motivo primordial para usar esta función es que se toma en cuenta valores entre 0 y 1, por lo que es útil para modelos en lo que necesitamos la predicción de probabilidades como producto final, pues la probabilidad es algo que se evidencia entre 0 y 1.

Se tomó una estructura con una capa oculta, y cantidad de neuronas en esta capa de 7, con corrección del error de 0.2, esta arquitectura de la capa de realizo en las tres distintas base de datos, la primera haciendo uso de las precipitaciones en el primer trimestre correspondientes a diciembre, enero y febrero, la segunda siendo segundo trimestre

dfallas_n	-0.179
geomorf_n	-0.103
norma_vias	-0.385
normal_lito	0.483
distrios_n	-0.289
norma_covertu	0.129
normali_pen	-0.410
1_trim_pr_n	0.199

Nota: Coeficientes obtenidos en el Software SPSS usado en la ecuación de redes neuronales.

Este proceso se lo realizó reiteradas veces con una pequeña variación en su arquitectura, de igual manera con una capa oculta, pero con diferente número de unidades en esta capa oculta, siendo de 8,10 y 12

Con los coeficientes obtenidos se procede a utilizar la herramienta "raster calculator" del software ArcGis 10.8, para emplear la siguiente ecuación y lograr el modelo de precisión

$$\begin{aligned}
 Y = & -("d_hidrosa_n.tif" * 0.504438335905352) - ("EROSION_NOR.tif" \\
 & * 0.0897982761175854) - ("dfallas_n" * 0.178898148503349) \\
 & - ("geomorf_n" * 0.102693146125096) - ("norma_vias.tif" \\
 & * 0.384577943992885) + ("normal_litol.tif" * 0.483063420050826) \\
 & - ("d_rios_n.tif" * 0.288960823112964) + ("norma_cobert.tif" \\
 & * 0.128974541468235) - ("norma_pend.tif" * 0.410351707451822) \\
 & - ("Tsuelo_N.tif" * 0.550927876230733) + ("1_trim_pr_n" \\
 & * 0.199117932756939)
 \end{aligned}$$

a

Donde

- N= ajuste
- Valor medido= 1 o valor de los puntos de muestreo
- Valor calculado= cálculo de la desviación estándar de los promedios de probabilidades (Y) de los distintos modelos

Con este ajuste se determina la veracidad de cada modelo, en la tabla N se muestra cada uno de los ajustes de los modelos.

Tabla 14

Ajuste estadístico de los modelos resultantes

	FUZZY 1T	Redes	Logística	Lineal intro 1T
Error estándar	0,123652247	0,197734095	0,04368747	0,263015762
Ajuste	0,876347753	0,802265905	0,95631253	0,736984238

Con lo antes mencionado, se observa que el modelo con mejor ajuste es el de Regresión logística, el cual con un valor de 0,95631253 muestra que es el que más se adapta a la realidad.

También se realizó un ajuste en cuanto a la validación de campo en donde cada punto de muestreo tomo un valor en cada de los rasters de los modelos obtenidos y se procedió a realizar el análisis estadístico para determinar cuál de los resultados se adapta mejor a la realidad del terreno.

Tabla 15

Ajuste estadístico de los modelos resultantes en el campo.

CAMPO				
	FUZZY 1T	Redes	Logística	Lineal intro 1T

Error estándar	0,040661964	0,166609406	0,04806263	0,216505299
Ajuste	0,950338036	0,833390594	0,95193737	0,783494701

La tabla anterior muestra el ajuste de cada modelo, dejando nuevamente claro que el mejor resultado es el de regresión logística con un ajuste de 0,9551193737.

Diseño muestral de campo

La verificación de campo es realmente importante en la ejecución del proyecto, esta se realizó posterior a obtener los resultados de los modelos matemáticos, pues de esta forma fue posible verificar puntos dentro del área de estudio y como estos están representados en cada modelo obtenido, de esta manera se tiene una idea clara de los aciertos o fallas de la estructura de los modelos y así se puede concluir por qué funciona o no la estructuración de estos.

Se realizó un muestreo no probabilístico espacial y aleatorio simple, el enfoque de este es la caracterización de varios puntos en este caso de deslizamientos, poniendo atención a las características que forman parte de estos lugares ya sea su tipo de suelo, cobertura vegetal, vías cercanas, entre otros. La ubicación de las muestras tiene similitud en cada rango de distancias.

Es un muestreo aleatorio simple pues se seleccionaron n sitios, en este caso 15 de manera que cada miembro de la población tiene la misma posibilidad de ser elegido.

Los puntos de muestreo fueron escogidos en gabinete se trató de ubicarlos cerca de vías de acceso, para que el recorrido sea directo y sin complicaciones, por lo que con la ayuda de las aplicaciones de GOOGLE MAPS, GOOGLE EARTH se ubicó los puntos de manera estratégica y tratando de cubrir la mayor parte del área.

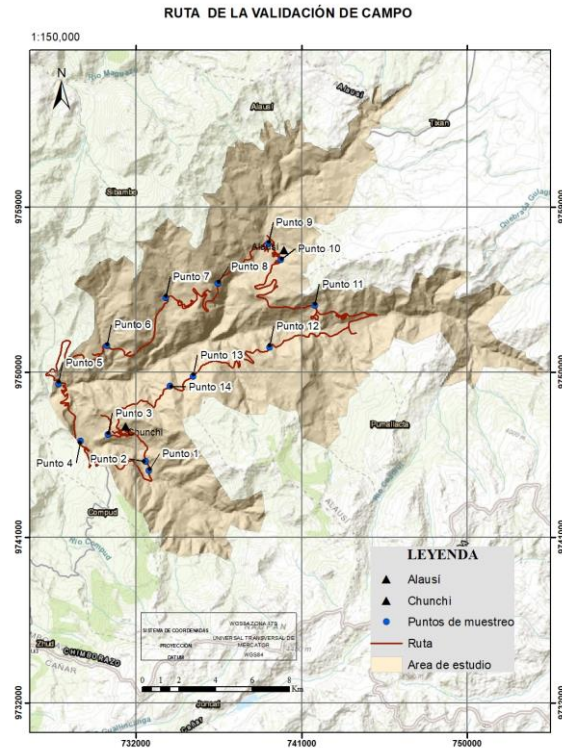
Además para la ubicación de cada uno de los puntos en campo se utilizó un GPS Garmin 60 CSX el cual es un receptor con un gran nivel de sensibilidad el cual brinda una buena recepción satelital incluso en áreas con bosques densos con una precisión de velocidad de 0.05 m/s, en donde se cargó las coordenadas obtenidas en gabinete con el sistema de referencia UTM WGS84 17S, y con las distintas funciones precisas que posee fue posible determinar la altitud de manera más exacta, igual manera éste incluye un mapa base ampliable el mismo que fue de gran utilidad para llegar de un punto a otro.

Puntos de muestreo, coordenadas y el kilometraje de estos.

Tabla 16

Ajuste estadístico de los modelos resultantes

Punto	Este	Norte	Kilometraje
Punto 1	731452	9744574	0
Punto 2	732518	9745133	3,1
Punto 3	730450	9746593	5,7
Punto 4	728955	9746261	2,6
Punto 5	728216	9751181	15,7
Punto 6	727757	9749365	10,8
Punto 7	733605	9754053	6,4
Punto 8	736425	9754826	9,6
Punto 9	739202,0001	9756999	6,4
Punto 10	739512	9757664	16,7
Punto 11	739850,0001	9756134	8,7
Punto 12	741712	9753628	8,7
Punto 13	739237	9751352	10,9
Punto 14	735082	9749771	9,6
Punto 15	733815,0001	9749228	2,2
		SUMA	117,1

Figura 31*Puntos de muestreo en campo.*

Capítulo IV

En el presente capítulo se habla sobre los resultados obtenidos de cada uno de los modelos matemáticos y el análisis estadístico de los mismos, posterior a ello se señala la importancia de la validación de campo y se describe los puntos de muestreo con fotografías que evidencian el estado de la zona.

Resultados

En el siguiente capítulo se recogen los resultados de los diferentes modelos predictivos realizados en este proyecto, en donde se explica cuál de todos ha sido el más eficiente y que características posee.

Análisis y descripción de los modelos obtenidos

Modelo Fuzzy

Se determinó que el mejor modelo es el primero donde se empleó la variable precipitación del primer trimestre, época del año donde existe mayores niveles de precipitación, a pesar de tener aproximadamente 79% de aciertos en presencias de deslizamientos y 21% de ausencias, es el modelo que más se ajusta, mientras que en los otros modelos se tiene un bajo porcentaje de aciertos en no deslizamientos, probablemente por la variable utilizada ya que en el segundo trimestre de precipitación no existe gran cantidad de lluvia, por otro lado en el modelo que tomó a consideración el promedio anual de precipitación, el bajo porcentaje de aciertos en ausencias de deslizamientos probablemente se dé por el gran sesgo de datos ya que abarca 12 meses es decir épocas de lluvia y épocas secas.

Además, teniendo en cuenta este resultado se detalla a continuación la tabla de estadísticos descriptivos, mismo que a través de la desviación estándar se determinó el ajuste.

Tabla 17

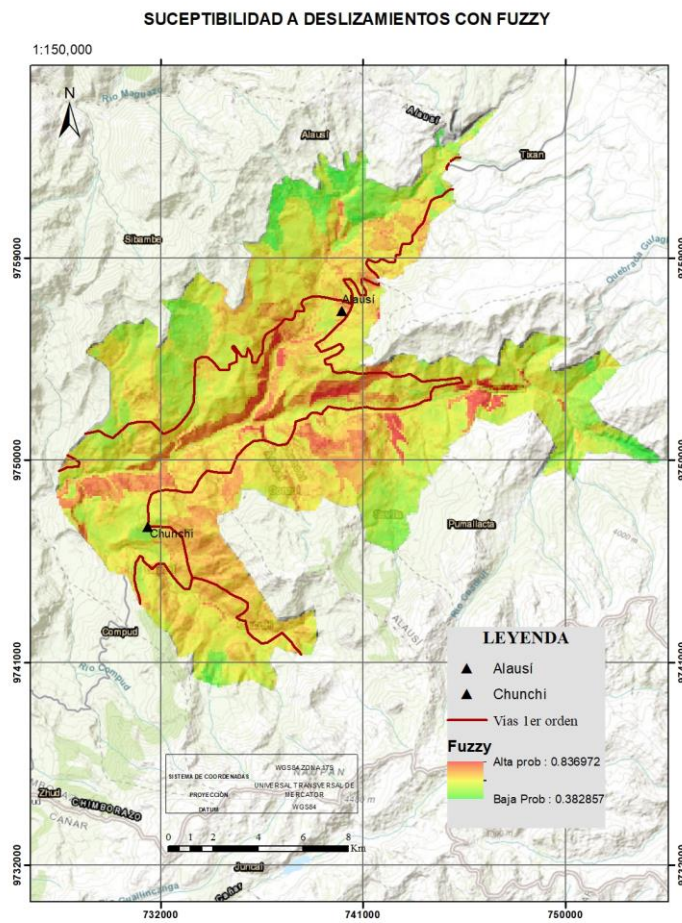
Datos estadísticos Fuzzy 1er trimestre

<i>Fuzzy 1er Trimestre</i>	
Media	0.593
Error típico	0.005
Mediana	0.560
Moda	0.583
Desviación estándar	0.123
Varianza de la muestra	0.015
Curtosis	1.215
Coefficiente de asimetría	1.147
Rango	0.602
Mínimo	0.396
Máximo	0.999
Suma	312.556
Cuenta	527

Mayor (1)	0.999
Menor (1)	0.396
Nivel de confianza (95.0%)	0.010

Figura 32

Mapa de susceptibilidad a deslizamientos con la metodología Fuzzy



Geomorf_pr	0,200	0,267
Tsuelo_pr	0,447	0,199
Dfallas_pr	0,614	0,332
Dist_hidrosa_pr	0,702	0,261
proba_cobert	0,361	0,276
proba_vias	0,919	0,142
prob_pen	0,373	0,233
proba_lito	0,978	0,056
proba_rios	0,969	0,072
erosion_pr	0,935	0,168
1_trim_prob	0,595	0,122

Nota: Estadísticos descriptivos de las variables ingresadas en todos los métodos del primer y segundo trimestre, incluyendo el anual.

Primer trimestre

Modelo intro Tabla 18

Resumen del modelo intro del primer trimestre

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,556	0,309	0,295	0,420

Tabla 19

Coefficientes del modelo intro del primer trimestre

Modelo	Coefficientes no estandarizados		95.0% intervalo de confianza para B	
	B	Desv. Error	Límite inferior	Límite superior
(Constante)	0,686	0,495	-0,285	1,659
Geomor_pr	-0,219	0,077	-0,371	-0,067

Tsuelo_pr	0,0008	0,099	-0,194	0,196
Dfallas_pr	0,132	0,106	-0,075	0,340
Dist_hidrosa_pr	0,154	0,098	-0,038	0,346
proba_cobert	0,086	0,073	-0,058	0,230
proba_vias	-0,141	0,140	-0,417	0,133
prob_pen	-0,967	0,089	-1,142	-0,792
proba_lito	0,839	0,535	-0,212	1,890
proba_rios	-0,509	0,385	-1,266	0,247
erosion_pr	-0,105	0,117	-0,335	0,123
1_trim_prob	-0,120	0,312	-0,734	0,492

Con los coeficientes de la tabla anterior se realizó el procedimiento del algebra de mapas y se obtuvo el modelo final de predicción de regresión lineal.

Modelo eliminar

Tabla 20

Resumen del modelo eliminar del primer trimestre

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,556	0,309	0,295	0,420
2	0,000	0,000	0,000	0,500

Modelo por pasos

Tabla 21

Resumen del modelo por pasos del primer trimestre

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,522	0,273	0,271	0,426

2	0,535	0,286	0,283	0,423
3	0,541	0,293	0,289	0,421
4	0,547	0,300	0,294	0,420

Modelo hacia atrás

Tabla 22

Resumen del modelo hacia atrás del primer trimestre

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,556	0,309	0,295	0,420
2	0,556	0,309	0,296	0,419
3	0,556	0,309	0,297	0,419
4	0,555	0,308	0,297	0,419
5	0,553	0,306	0,297	0,419
6	0,551	0,304	0,296	0,419
7	0,548	0,301	0,294	0,420

Segundo trimestre del año

Modelo intro.

Tabla 23

Resumen del modelo intro del segundo trimestre

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,556	0,309	0,296	0,419

Modelo hacia adelante**Tabla 24***Resumen del modelo hacia adelante del primer trimestre*

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,522	0,273	0,271	0,426
2	0,535	0,286	0,283	0,423
3	0,541	0,293	0,289	0,421
4	0,547	0,300	0,294	0,420

Modelo eliminar**Tabla 25***Resumen del modelo eliminar del segundo trimestre*

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,556	0,309	0,296	0,419
2	0,000	0,000	0,000	0,500

Modelo por pasos**Tabla 26***Resumen del modelo por pasos del segundo trimestre*

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,523	0,274	0,273	0,426
2	0,538	0,289	0,287	0,422
3	0,547	0,299	0,295	0,420

Modelo hacia atrás

Tabla 27

Resumen del modelo hacia atrás del segundo trimestre

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,556	0,309	0,296	0,419
2	0,556	0,309	0,297	0,419
3	0,556	0,309	0,299	0,418
4	0,556	0,309	0,300	0,418
5	0,555	0,308	0,300	0,418
6	0,553	0,306	0,299	0,418
7	0,550	0,303	0,297	0,419

Modelo hacia adelante

Tabla 28

Resumen del modelo hacia adelante del segundo trimestre

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,523	0,274	0,273	0,426
2	0,538	0,289	0,287	0,422
3	0,547	0,299	0,295	0,420

Anual**Modelo intro****Tabla 29***Resumen del modelo intro anual*

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,563	0,317	0,302	0,417

Modelo eliminar**Tabla 30***Resumen del modelo eliminar anual*

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,468	0,219	0,205	136,641
2	0,000	0,000	0,000	153,294

Modelo por pasos**Tabla 31***Resumen del modelo por pasos anual*

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,523	0,274	0,273	0,426
2	0,536	0,287	0,284	0,423
3	0,541	0,292	0,288	0,421

Modelo hacia atrás**Tabla 32***Resumen del modelo hacia atrás anual*

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,550	0,302	0,290	0,421
2	0,550	0,302	0,292	0,420
3	0,550	0,302	0,293	0,420
4	0,549	0,302	0,294	0,420
5	0,547	0,299	0,293	0,420

Modelo hacia adelante**Tabla 33***Resumen del modelo hacia adelante anual*

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,523	0,274	0,273	0,426
2	0,536	0,287	0,284	0,423
3	0,541	0,292	0,288	0,421

Tabla 34*Resumen de los modelos por trimestres.*

REGRESION LINEAL						
	Primer trimestre		Segundo trimestre		Anual	
	Modelos	R cuadrado	Modelos	R cuadrado	Modelos	R cuadrado
Intro	1	0,309	1	0,205	1	0,309
Por pasos	4	0,288	3	0,287	3	0,284
Eliminar	2	0,155	2	0,155	2	0,219

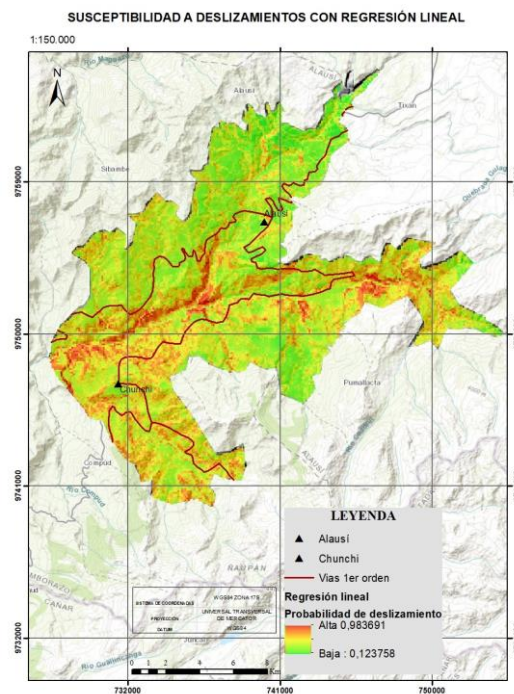
Hacia atrás	7	0,307	7	0,308	4	0,302
Hacia adelante	1	0,288	3	0,287	3	0,284

La tabla muestra los promedios de los valores de R^2 obtenidos en cada modelo realizado, y con todas las opciones de regresión lineal que el programa SPSS propone. Analizando estos resultados se evidencia que el primer trimestre de la regresión lineal tiene valores altos en sus promedios en comparación con los otros grupos, como es el caso del modelo intro con 0,309 y el modelo hacia atrás con 0,307.

Con lo antes mencionado se tomó el modelo de intro del primer trimestre como el que más se adaptó al terreno en este caso.

Figura 34

Susceptibilidad a deslizamientos con la metodología de regresión lineal



Modelo Regresión Logística

Se evaluó los resultados de cada uno de ellos, en base a el valor de R^2 que arrojen. Como en el anterior proceso la precipitación fue trabajada en los mismos 3 grupos las lluvias del primer trimestre del año (diciembre, enero y febrero) el segundo grupo, las lluvias del segundo trimestre del año (marzo, abril y mayo) y el tercer grupo está formado por todos los meses del año.

El programa SPSS utiliza el R^2 de Cox y Snell y el de Nagelkerke para brindar un indicador de eficiencia de los modelos, por lo que estos nos darán la pauta para elegir el mejor de estos.

A continuación, se presentan los resultados de cada construcción de los modelos.

Primer trimestre del año

Modelo Intro

Tabla 35

Coefficientes del modelo intro del primer trimestre

Variables	B (Coeficientes)	Desv. estándar
Geomorf_pr	-1,388	0,512
Tsuelo_pr	0,246	0,613
Dfallas_pr	0,940	0,302
Dist_hidrosa_pr	0,284	0,520
proba_cobert	-0,277	0,479
proba_vias	0,540	0,946
prob_pen	-5,176	0,580
proba_lito	32,287	8,424
proba_rios	-1,955	2,250
erosion_pr	-0,192	0,766
Anual_prec_pr	-1,224	0,631
Constante	-27,807	8,653

La tabla anterior muestra los coeficientes que se usaron en el modelo Intro del primer trimestre, el cual se consideró el que más se adaptó al terreno.

Tabla 36

Resumen del modelo intro del primer trimestre

Paso	Logaritmo de la verosimilitud -2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	524,760	0,321	0,428

Tabla 37

Datos de clasificación y pronóstico del modelo intro del primer trimestre

Observado		Pronosticado			Porcentaje correcto
		presen/ausencia			
		0	1		
Paso 1	Presen/Ausenc	0	186	62	75,0
		1	62	217	77,8
	Porcentaje global				76,5

Modelo Hacia adelante condicional

Tabla 38

Resumen del modelo Hacia adelante condicional primer trimestre

Paso	Logaritmo de la verosimilitud -2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	568,801	0,262	0,349
2	546,375	0,293	0,390
3	534,321	0,309	0,412
4	527,221	0,318	0,424

Tabla 39

Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia adelante condicional del primer trimestre.

Observado		Pronosticado		Porcentaje correcto
		presen/ausencia		
		0	1	
Paso 0	Presen/Ausenc	0	248	0,0
		1	279	100,0
	Porcentaje global			52,9

Modelo Hacia adelante verosimilitud

Tabla 40

Resumen del modelo Hacia adelante verosimilitud primer trimestre

Paso	Logaritmo de la verosimilitud - 2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	568,801	0,262	0,349
2	546,375	0,293	0,390
3	534,321	0,309	0,412
4	527,221	0,318	0,424

Tabla 41

Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia adelante verosimilitud del primer trimestre.

Observado	Pronosticado		Porcentaje correcto	
	Presen/Ausenc			
	0	1		
Paso 0	Presen/Ausenc	0	248	0,0
		1	279	100,0
	Porcentaje global			52,9

Modelo Hacia adelante Wald

Tabla 42

Resumen del modelo Hacia adelante Wald primer trimestre

Paso	Logaritmo de la verosimilitud -2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
------	----------------------------------	---------------------------	--------------------------

1	568,801	0,262	0,349
2	546,375	0,293	0,390
3	534,321	0,309	0,412
4	527,221	0,318	0,424

Tabla 43

Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia adelante Wald del primer trimestre.

	Observado	Pronosticado			
		Presen/Ausenc		Porcentaje correcto	
		0	1		
Paso 1	Presen/Ausenc	0	180	68	72,6
		1	63	216	77,4
	Porcentaje global				75,1
Paso 2	Presen/Ausenc	0	183	65	73,8
		1	69	210	75,3
	Porcentaje global				74,6
Paso 3	Presen/Ausenc	0	185	63	74,6
		1	66	213	76,3
	Porcentaje global				75,5
Paso 4	Presen/Ausenc	0	183	65	73,8
		1	60	219	78,5
	Porcentaje global				76,3

Modelo Hacia atrás condicional

Tabla 44

Resumen del modelo Hacia atrás condicional primer trimestre

Paso	Logaritmo de la verosimilitud -2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	524,760	0,321	0,428
2	524,767	0,321	0,428
3	524,886	0,321	0,428
4	525,093	0,321	0,428
5	525,319	0,320	0,427
6	525,969	0,319	0,426
7	526,461	0,319	0,426
8	527,221	0,318	0,424

Tabla 45

Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia atrás condicional del primer trimestre.

Observado	Pronosticado	Porcentaje correcto			
		Presen/Ausenc		Porcentaje correcto	
		0	1		
Paso 1	Presen/Ausenc	0	186	62	75,0
		1	62	217	77,8
	Porcentaje global				76,5
Paso 2	Presen/Ausenc	0	185	63	74,6
		1	62	217	77,8
	Porcentaje global				76,3
Paso 3	Presen/Ausenc	0	186	62	75,0
		1	62	217	77,8
	Porcentaje global				76,5
Paso 4	Presen/Ausenc	0	186	62	75,0
		1	63	216	77,4
	Porcentaje global				76,3
Paso 5	Presen/Ausenc	0	185	63	74,6
		1	63	216	77,4
	Porcentaje global				76,1
Paso 6	Presen/Ausenc	0	185	63	74,6
		1	62	217	77,8
	Porcentaje global				76,3
Paso 7	Presen/Ausenc	0	185	63	74,6
		1	61	218	78,1
	Porcentaje global				76,5
Paso 8	Presen/Ausenc	0	183	65	73,8
		1	60	219	78,5
	Porcentaje global				76,3

Modelo Hacia atrás verosimilitud**Tabla 46***Resumen del modelo Hacia atrás verosimilitud primer trimestre*

Paso	Logaritmo de la verosimilitud -2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	524,760	0,321	0,428
2	524,767	0,321	0,428
3	524,886	0,321	0,428
4	525,093	0,321	0,428
5	525,319	0,320	0,427
6	525,969	0,319	0,426
7	526,461	0,319	0,426
8	527,221	0,318	0,424

Tabla 47*Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia atrás verosimilitud condicional del primer trimestre.*

Observado		Pronosticado			Porcentaje correcto
		Presen/Ausenc			
		0	1		
Paso 1	Presen/Ausenc	0	186	62	75,0
		1	62	217	77,8
	Porcentaje global				76,5
Paso 2	Presen/Ausenc	0	185	63	74,6
		1	62	217	77,8
	Porcentaje global				76,3
Paso 3	Presen/Ausenc	0	186	62	75,0
		1	62	217	77,8
	Porcentaje global				76,5
Paso 4	Presen/Ausenc	0	186	62	75,0
		1	63	216	77,4
	Porcentaje global				76,3
Paso 5	Presen/Ausenc	0	185	63	74,6
		1	63	216	77,4

	Porcentaje global				76,1
Paso 6	Presen/Ausenc	0	185	63	74,6
		1	62	217	77,8
	Porcentaje global				76,3
Paso 7	Presen/Ausenc	0	185	63	74,6
		1	61	218	78,1
	Porcentaje global				76,5
Paso 8	Presen/Ausenc	0	183	65	73,8
		1	60	219	78,5
	Porcentaje global				76,3

Modelo Hacia atrás Wald

Tabla 48

Resumen del modelo Hacia atrás Wald primer trimestre

Paso	Logaritmo de la verosimilitud - 2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	524,760	0,321	0,428
2	524,767	0,321	0,428
3	524,886	0,321	0,428
4	525,093	0,321	0,428
5	525,319	0,320	0,427
6	525,969	0,319	0,426
7	526,461	0,319	0,426
8	527,221	0,318	0,424

Tabla 49

Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia atrás Wald condicional del primer trimestre.

Observado		Pronosticado		Porcentaje correcto	
		Presen/Ausenc	Presen/Ausenc		
		0	1		
Paso 1	Presen/Ausenc	0	186	62	75,0
		1	62	217	77,8
	Porcentaje global				76,5
Paso 2	Presen/Ausenc	0	185	63	74,6
		1	62	217	77,8

		Porcentaje global			76,3
Paso 3	Presen/Ausenc	0	186	62	75,0
		1	62	217	77,8
		Porcentaje global			76,5
Paso 4	Presen/Ausenc	0	186	62	75,0
		1	63	216	77,4
		Porcentaje global			76,3
Paso 5	Presen/Ausenc	0	185	63	74,6
		1	63	216	77,4
		Porcentaje global			76,1
Paso 6	Presen/Ausenc	0	185	63	74,6
		1	62	217	77,8
		Porcentaje global			76,3
Paso 7	Presen/Ausenc	0	185	63	74,6
		1	61	218	78,1
		Porcentaje global			76,5
Paso 8	Presen/Ausenc	0	183	65	73,8
		1	60	219	78,5
		Porcentaje global			76,3

Segundo trimestre

Modelo Intro

Tabla 50

Resumen del modelo intro del segundo trimestre

Paso	Logaritmo de la verosimilitud -2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	526,417	0,320	0,427

Tabla 51

Datos de clasificación y pronostico del modelo intro del segundo trimestre

Observado	Pronosticado			Porcentaje correcto	
		Presen/Ausenc			
		0	1		
Paso 0	Presen/Ausenc	0	0	248	0,0
		1	0	280	100,0
		Porcentaje global		53,0	

Modelo Hacia adelante condicional**Tabla 52***Resumen del modelo Hacia adelante condicional segundo trimestre*

Paso	Logaritmo de la verosimilitud - 2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	569,020	0,263	0,351
2	558,248	0,278	0,371
3	536,869	0,306	0,409
4	530,017	0,315	0,421

Tabla 53*Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia adelante condicional del segundo trimestre.*

Observado		Pronosticado			
		Presen/Ausenc		Porcentaje correcto	
		0	1		
		0	180	68	72,6
Paso 1	Presen/Ausenc	1	63	217	77,5
	Porcentaje global				75,2
		0	178	70	71,8
Paso 2	Presen/Ausenc	1	68	212	75,7
	Porcentaje global				73,9
		0	182	66	73,4
Paso 3	Presen/Ausenc	1	65	215	76,8
	Porcentaje global				75,2
		0	182	66	73,4
Paso 4	Presen/Ausenc	1	62	218	77,9
	Porcentaje global				75,8

Modelo Hacia adelante verosimilitud**Tabla 54***Resumen del modelo Hacia adelante verosimilitud segundo trimestre*

Paso	Logaritmo de la verosimilitud - 2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	569,020	0,263	0,351
2	558,248	0,278	0,371
3	536,869	0,306	0,409
4	530,017	0,315	0,421

Tabla 55

Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia adelante verosimilitud del segundo trimestre.

Observado		Pronosticado			Porcentaje correcto
		Presen/Ausenc			
		0	1		
Paso 1	Presen/Ausenc	0	180	68	72,6
		1	63	217	77,5
	Porcentaje global				75,2
Paso 2	Presen/Ausenc	0	178	70	71,8
		1	68	212	75,7
	Porcentaje global				73,9
Paso 3	Presen/Ausenc	0	182	66	73,4
		1	65	215	76,8
	Porcentaje global				75,2
Paso 4	Presen/Ausenc	0	182	66	73,4
		1	62	218	77,9
	Porcentaje global				75,8

Modelo Hacia adelante Wald

Tabla 56

Resumen del modelo Hacia adelante Wald segundo trimestre

Paso	Logaritmo de la verosimilitud - 2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	569,020	0,263	0,351
2	558,248	0,278	0,371
3	536,869	0,306	0,409
4	530,017	0,315	0,421

Tabla 57

Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia adelante Wald del segundo trimestre.

Observado		Pronosticado			
		Presen/Ausenc	0	1	Porcentaje correcto
Paso 1	Presen/Ausenc	0	180	68	72,6
		1	63	217	77,5
	Porcentaje global				75,2
Paso 2	Presen/Ausenc	0	178	70	71,8
		1	68	212	75,7
	Porcentaje global				73,9
Paso 3	Presen/Ausenc	0	182	66	73,4
		1	65	215	76,8
	Porcentaje global				75,2
Paso 4	Presen/Ausenc	0	182	66	73,4
		1	62	218	77,9
	Porcentaje global				75,8

Modelo Hacia atrás condicional

Tabla 58

Resumen del modelo Hacia atrás condicional segundo trimestre

Paso	Logaritmo de la verosimilitud -2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	526,417	0,320	0,427
2	526,671	0,320	0,427
3	527,042	0,319	0,426
4	527,594	0,318	0,425
5	527,948	0,318	0,425
6	528,037	0,318	0,424
7	528,951	0,317	0,423
8	530,017	0,315	0,421

Tabla 59

Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia atrás condicional del segundo trimestre.

Observado		Pronosticado			Porcentaje correcto
		Presen/Ausenc			
		0	1		
Paso 1	Presen/Ausenc	0	184	64	74,2
		1	62	218	77,9
	Porcentaje global				76,1
Paso 2	Presen/Ausenc	0	184	64	74,2
		1	61	219	78,2
	Porcentaje global				76,3
Paso 3	Presen/Ausenc	0	183	65	73,8
		1	62	218	77,9
	Porcentaje global				75,9
Paso 4	Presen/Ausenc	0	185	63	74,6
		1	61	219	78,2
	Porcentaje global				76,5
Paso 5	Presen/Ausenc	0	183	65	73,8
		1	62	218	77,9
	Porcentaje global				75,9
Paso 6	Presen/Ausenc	0	183	65	73,8
		1	62	218	77,9
	Porcentaje global				75,9
Paso 7	Presen/Ausenc	0	182	66	73,4
		1	62	218	77,9
	Porcentaje global				75,8
Paso 8	Presen/Ausenc	0	182	66	73,4
		1	62	218	77,9
	Porcentaje global				75,8

Modelo Hacia atrás verosimilitud

Tabla 60

Resumen del modelo Hacia atrás verosimilitud segundo trimestre

Paso	Logaritmo de la verosimilitud - 2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	526,417	0,320	0,427
2	526,671	0,320	0,427
3	527,042	0,319	0,426
4	527,594	0,318	0,425
5	527,948	0,318	0,425
6	528,037	0,318	0,424
7	528,951	0,317	0,423
8	530,017	0,315	0,421

Tabla 61

Datos de clasificación y pronostico del modelo Hacia atrás verosimilitud del segundo trimestre.

Observado		Pronosticado			
		Presen/Ausenc		Porcentaje correcto	
		0	1		
Paso 1	Presen/Ausenc	0	184	64	74,2
		1	62	218	77,9
	Porcentaje global				76,1
Paso 2	Presen/Ausenc	0	184	64	74,2
		1	61	219	78,2
	Porcentaje global				76,3
Paso 3	Presen/Ausenc	0	183	65	73,8
		1	62	218	77,9
	Porcentaje global				75,9
Paso 4	Presen/Ausenc	0	185	63	74,6
		1	61	219	78,2
	Porcentaje global				76,5
Paso 5	Presen/Ausenc	0	183	65	73,8
		1	62	218	77,9
	Porcentaje global				75,9
Paso 6	Presen/Ausenc	0	183	65	73,8
		1	62	218	77,9
	Porcentaje global				75,9
Paso 7	Presen/Ausenc	0	182	66	73,4
		1	62	218	77,9
	Porcentaje global				75,8
Paso 8	Presen/Ausenc	0	182	66	73,4
		1	62	218	77,9
	Porcentaje global				75,8

Porcentaje global	75,8
-------------------	------

Modelo Hacia atrás Wald

Tabla 62

Resumen del modelo Hacia atrás Wald segundo trimestre

Paso	Logaritmo de la verosimilitud - 2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	526,417	0,320	0,427
2	526,671	0,320	0,427
3	527,042	0,319	0,426
4	527,594	0,318	0,425
5	527,948	0,318	0,425
6	528,037	0,318	0,424
7	528,951	0,317	0,423
8	530,017	0,315	0,421

Tabla 63

Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia atrás Wald condicional del segundo trimestre.

Observado	Pronosticado				
		Presen/Ausenc		Porcentaje correcto	
		0	1		
Paso 1	Presen/Ausenc	0	184	64	74,2
		1	62	218	77,9
	Porcentaje global				76,1
Paso 2	Presen/Ausenc	0	184	64	74,2
		1	61	219	78,2
	Porcentaje global				76,3
Paso 3	Presen/Ausenc	0	183	65	73,8
		1	62	218	77,9
	Porcentaje global				75,9
Paso 4	Presen/Ausenc	0	185	63	74,6
		1	61	219	78,2
	Porcentaje global				76,5
Paso 5	Presen/Ausenc	0	183	65	73,8

		1	62	218	77,9
	Porcentaje global				75,9
Paso 6	Presen/Ausenc	0	183	65	73,8
		1	62	218	77,9
	Porcentaje global				75,9
Paso 7	Presen/Ausenc	0	182	66	73,4
		1	62	218	77,9
	Porcentaje global				75,8
Paso 8	Presen/Ausenc	0	182	66	73,4
		1	62	218	77,9
	Porcentaje global				75,8

Anual

Modelo Intro Tabla 64

Resumen del modelo intro anual

Paso	Logaritmo de la verosimilitud -2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	523,650	0,324	0,432

Tabla 65

Datos de clasificación y pronóstico del modelo intro anual

Observado	Presen/Ausenc	Pronosticado		Porcentaje correcto	
		Presen/Ausenc			
		0	1		
Paso 0	Presen/Ausenc	0	0	248	0,0
		1	0	280	100,0
Porcentaje global				53,0	

Modelo Hacia adelante condicional

Tabla 66

Resumen del modelo Hacia adelante condicional anual

Paso	Logaritmo de la verosimilitud -2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	569,020	0,263	0,351
2	546,532	0,294	0,392
3	537,668	0,305	0,408

Tabla 67

Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia adelante anual

Observado	Pronosticado				
		Presen/Ausenc		Porcentaje correcto	
		0	1		
Paso 1	Presen/Ausenc	0	180	68	72,6
		1	63	217	77,5
	Porcentaje global				75,2
Paso 2	Presen/Ausenc	0	183	65	73,8
		1	69	211	75,4
	Porcentaje global				74,6
Paso 3	Presen/Ausenc	0	180	68	72,6
		1	64	216	77,1
	Porcentaje global				75,0

Modelo Hacia adelante verosimilitud

Tabla 68

Resumen del modelo Hacia adelante verosimilitud anual

Paso	Logaritmo de la verosimilitud -2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	569,020	0,263	0,351
2	546,532	0,294	0,392
3	537,668	0,305	0,408

Tabla 69*Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia adelante verosimilitud anual*

Observado		Pronosticado			
		Presen/Ausenc		Porcentaje correcto	
		0	1		
Paso 1	Presen/Ausenc	0	180	68	72,6
		1	63	217	77,5
	Porcentaje global				75,2
Paso 2	Presen/Ausenc	0	183	65	73,8
		1	69	211	75,4
	Porcentaje global				74,6
Paso 3	Presen/Ausenc	0	180	68	72,6
		1	64	216	77,1
	Porcentaje global				75,0

Modelo Hacia adelante Wald**Tabla 70***Resumen del modelo Hacia adelante Wald anual*

Paso	Logaritmo de la verosimilitud - 2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	569,020	0,263	0,351
2	546,532	0,294	0,392
3	537,668	0,305	0,408

Tabla 71*Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia adelante Wald anual*

Observado		Pronosticado			
		Presen/Ausenc		Porcentaje correcto	
		0	1		
Paso 1	Presen/Ausenc	0	180	68	72,6
		1	63	217	77,5

	Porcentaje global				75,2
Paso 2	Presen/Ausenc	0	183	65	73,8
		1	69	211	75,4
	Porcentaje global				74,6
Paso 3	Presen/Ausenc	0	180	68	72,6
		1	64	216	77,1
	Porcentaje global				75,0

Modelo Hacia atrás condicional

Tabla 72

Resumen del modelo Hacia atrás condicional anual

Paso	Logaritmo de la verosimilitud - 2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	526,417	0,320	0,427
2	526,671	0,320	0,427
3	527,042	0,319	0,426
4	527,594	0,318	0,425
5	527,948	0,318	0,425
6	528,037	0,318	0,424
7	528,951	0,317	0,423
8	530,017	0,315	0,421

Tabla 73

Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia atrás condicional anual

Observado	Pronosticado	Presen/Ausenc		Porcentaje correcto	
		0	1		
		Paso 0	Presen/Ausenc	0	0
		1	0	280	100,0
	Porcentaje global				53,0

Modelo Hacia atrás verosimilitud

Tabla 74

Resumen del modelo Hacia atrás verosimilitud anual

Paso	Logaritmo de la verosimilitud - 2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	523,650	0,324	0,432
2	523,713	0,323	0,432
3	523,863	0,323	0,432
4	524,159	0,323	0,431
5	524,423	0,323	0,431
6	525,146	0,322	0,429
7	526,026	0,320	0,428

Tabla 75

Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia atrás verosimilitud condicional anual

Observado		Pronosticado			
		Presen/Ausenc		Porcentaje correcto	
		0	1		
Paso 1	Presen/Ausenc	0	184	64	74,2
		1	60	220	78,6
	Porcentaje global				76,5
Paso 2	Presen/Ausenc	0	183	65	73,8
		1	60	220	78,6
	Porcentaje global				76,3
Paso 3	Presen/Ausenc	0	182	66	73,4
		1	60	220	78,6
	Porcentaje global				76,1
Paso 4	Presen/Ausenc	0	185	63	74,6
		1	60	220	78,6
	Porcentaje global				76,7

Paso 5	Presen/Ausenc	0	184	64	74,2
		1	59	221	78,9
	Porcentaje global				76,7
Paso 6	Presen/Ausenc	0	184	64	74,2
		1	58	222	79,3
	Porcentaje global				76,9
Paso 7	Presen/Ausenc	0	183	65	73,8
		1	61	219	78,2
	Porcentaje global				76,1

Modelo Hacia atrás Wald

Tabla 76

Resumen del modelo Hacia atrás Wald anual

Paso	Logaritmo de la verosimilitud -2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	523,650	0,324	0,432
2	523,713	0,323	0,432
3	523,863	0,323	0,432
4	524,159	0,323	0,431
5	524,423	0,323	0,431
6	525,146	0,322	0,429
7	526,026	0,320	0,428

Tabla 77

Datos de clasificación y pronóstico del modelo Hacia atrás Wald anual

Observado	Presen/Ausenc	Pronosticado		Porcentaje correcto	
		Presen/Ausenc			
		0	1		
Paso 1	Presen/Ausenc	0	184	64	74,2
		1	60	220	78,6
Porcentaje global				76,5	

Paso 2	Presen/Ausenc	0	183	65	73,8
		1	60	220	78,6
	Porcentaje global				76,3
Paso 3	Presen/Ausenc	0	182	66	73,4
		1	60	220	78,6
	Porcentaje global				76,1
Paso 4	Presen/Ausenc	0	185	63	74,6
		1	60	220	78,6
	Porcentaje global				76,7
Paso 5	Presen/Ausenc	0	184	64	74,2
		1	59	221	78,9
	Porcentaje global				76,7
Paso 6	Presen/Ausenc	0	184	64	74,2
		1	58	222	79,3
	Porcentaje global				76,9
Paso 7	Presen/Ausenc	0	183	65	73,8
		1	61	219	78,2
	Porcentaje global				76,1

Tabla 78

Tabla de resumen de los modelos construidos.

REGRESION LOGISTICA															
	Primer trimestre				Segundo trimestre				Anual						
	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke	% de aciertos		R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke	% de aciertos		R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke	% de aciertos				
			Pasos				Pasos				Pasos				
Intro	0,321	0,428	1	Ause	75,00	0,32	0,427	1	Ause	74,20	0,32	0,432	1	Ause	74,2
				Pres	77,80				Pres	77,90				Pres	78,6
				Global	76,50				Global	76,10				Global	76,5
Hacia adelante Condicional	0,295	0,394	4	Ause	73,70	0,291	0,388	4	Ause	72,80	0,287	0,383	3	Ause	73
				Pres	76,90				Pres	77,00				Pres	76,7
				Global	76,30				Global	75,00				Global	74,9
Hacia adelante: LR	0,295	0,394	4	Ause	73,70	0,291	0,388	4	Ause	72,80	0,287	0,383	3	Ause	73
				Pres	76,90				Pres	77,00				Pres	76,7
				Global	75,40				Global	75,00				Global	74,9
Hacia adelante: Wald	0,295	0,394	4	Ause	78,70	0,291	0,388	4	Ause	72,80	0,287	0,383	3	Ause	73
				Pres	76,90				Pres	77,00				Pres	76,7
				Global	75,40				Global	75,00				Global	74,9
Hacia atrás: Condicional	0,320	0,427	8	Ause	74,60	0,318	0,425	8	Ause	73,90	0,323	0,431	7	Ause	74
				Pres	77,80				Pres	77,90				Pres	78,7
				Global	76,30				Global	76,00				Global	76,4
Hacia atrás: LR	0,320	0,427	8	Ause	74,60	0,318	0,425	8	Ause	73,90	0,323	0,431	7	Ause	74
				Pres	77,80				Pres	77,90				Pres	78,7
				Global	76,30				Global	76,00				Global	76,5
Hacia atrás: Wald	0,320	0,427	8	Ause	79,60	0,318	0,425	8	Ause	73,90	0,323	0,431	7	Ause	74
				Pres	77,80				Pres	77,90				Pres	78,6
				Global	76,30				Global	76,00				Global	76,5

La tabla muestra los promedios de los valores de R^2 de Cox y Snell y de Nagelkerke que se obtuvieron de la construcción de cada modelo con todas las opciones que el programa

SPSS propone en cuanto a la regresión logística. Según el análisis el modelo que mejores resultados arroja es el de INTRO DEL PRIMER TRIMESTRE, con un R^2 de Cox y Snell de 0,321 y de Nagelkerke 0,428 y un porcentaje de aciertos de 78,50% en cuanto a presencias y ausencias.

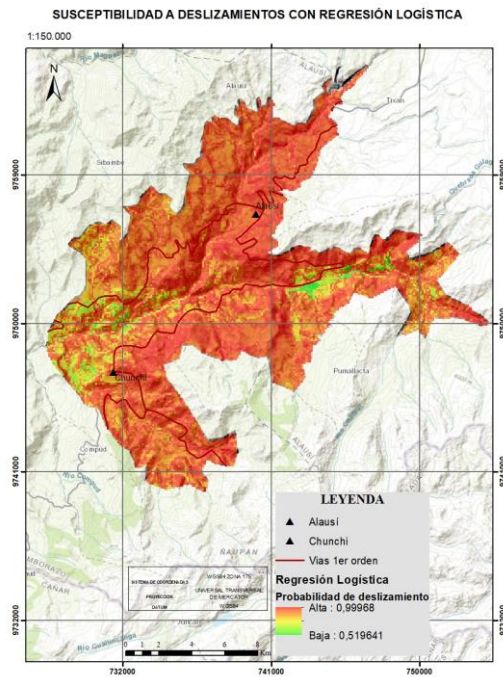
Este modelo es el que más se adaptó al terreno de forma estadística y se complementó dicha afirmación al realizar la visita de campo.

Este modelo al poseer una variable dicotómica permite solo dos posibilidades de respuesta como en el caso de este proyecto de ausencia o presencia de deslizamiento, haciendo que el modelo gráficamente muestre las áreas susceptibles a deslizamientos de manera más precisa.

Al visitar el área de estudio se comprobó que este es el modelo más preciso y el que más se adaptó a la realidad del terreno y al hacer la validación en gabinete con los 15 puntos de muestreo se comprobó que en los 15 sitios acertó en su pronóstico.

Figura 35

Susceptibilidad a deslizamientos con la metodología de regresión logística



Modelo Redes Neuronales

Realizando una comparación de los distintos resultados obtenidos a partir de los cálculos internos de cada red neuronal, se tomó como más acertado al modelo cuyo error relativo se acercaba más a la unidad. A continuación, se presenta de todos los parámetros establecidos en la arquitectura de la red, de igual manera la tabla resumen del modelo, en cual el error relativo es de 0.548.

Tabla 79

Parámetros establecidos en la arquitectura de la red

Parámetro	Descripción
Partición % de entrenamiento	70
Partición % de prueba	20
Partición % de reserva	10

Capas ocultas	1
Número de unidades de capa oculta	7
Función de activación	Sigmoidal
Función de activación de salida	Sigmoidal
Corrección	0.02

Tabla 80*Resumen del modelo*

Entrenamiento	Error de suma de cuadrados	23.932
	R cuadrado	0.548
	Regla de parada utilizada	1 paso(s) consecutivo(s) sin disminución del error
	Tiempo de entrenamiento	0:00:00.04
Pruebas	Error de suma de cuadrados	7.921
	R cuadrado	0.725
Reserva	R cuadrado	0.874

La arquitectura del modelo seleccionado se presenta en la figura N° 23 en la cual se observa las 11 covariables introducidas para el procesamiento, las mismas que corresponden al tipo de suelo, distancia a infraestructura hidrosanitaria, erosión, distancia a fallas, geomorfología, distancia a vías, litología, cobertura vegetal, pendientes, y precipitación del primer trimestre. La red consta de una capa de entrada que consta de 7 nodos correspondientes a las 11 variables explicativas seleccionadas, mismo que son factores que condicionan el modelo, una capa oculta con 7 nodos y una capa de salida correspondiente a una neurona, que representa una variable binaria evaluada utilizando la referencia de

entrenamiento. “Los pesos sinápticos entre diferentes capas se representan cualitativamente como líneas celestes con peso positivo y líneas grises con peso negativo, y el grosor de estas líneas es proporcional a sus tamaños absolutos.” (Chaitén et al., 2021)

Figura 36

Esquema de red neuronal

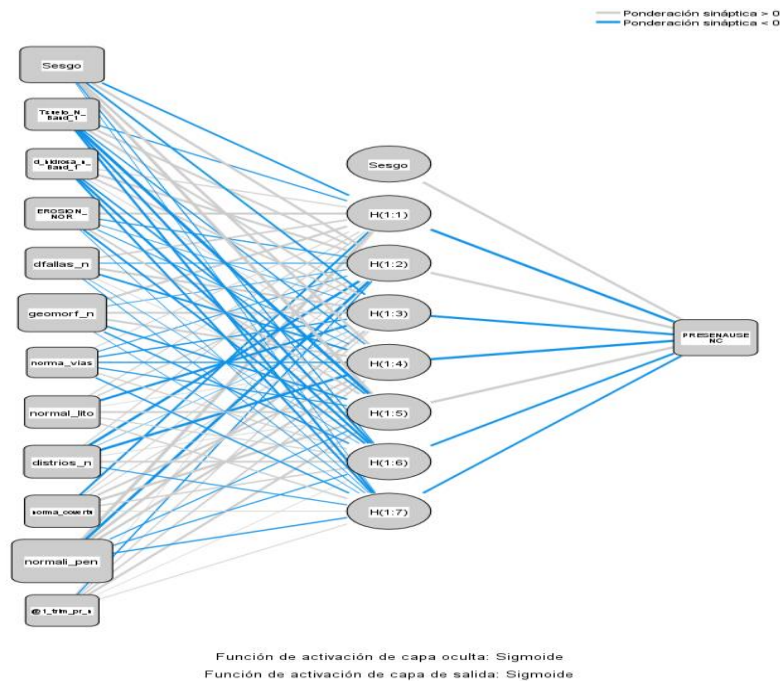
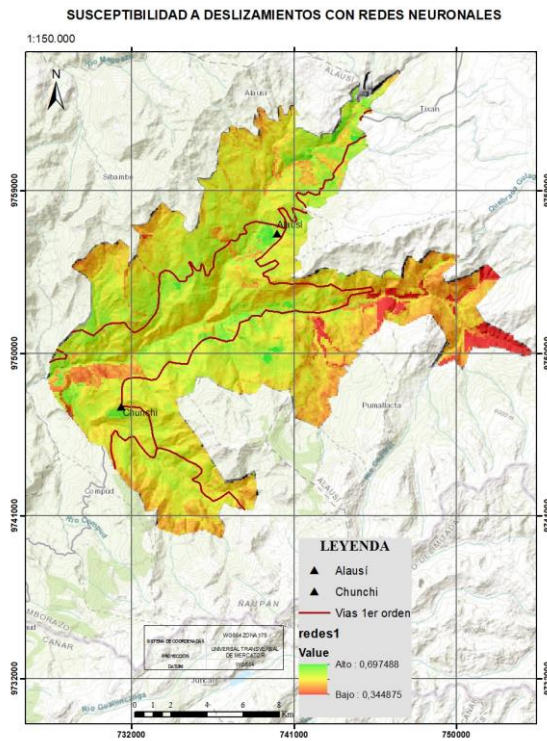


Figura 37

Susceptibilidad a deslizamientos con la metodología de redes neuronales



Verificación de campo

En el siguiente apartado se analizará cada uno de los puntos del muestreo en campo y como estos están representados en los diferentes modelos obtenidos en cuanto a la tonalidad, realizando una validación y observando que modelo estadístico es el que más se ajustó a la realidad del terreno, conjuntamente con el valor obtenido del ajuste estadístico de los mismos.

Punto 1

Figura 38

Deslizamiento en la vía E-35



El punto 1 está en la vía E-35 en la salida de la ciudad del Chunchi, en la figura 38 se observa un gran deslizamiento en estado activo y dentro del mismo otro más pequeño, ambos son rotacionales, se ha construido un muro de contención para evitar que la masa deslizada afecte el tránsito de la zona. El área está compuesta litológicamente por andesitas, riolitas y piroclastos, cerca del lugar existen cultivos de ciclo corto como cobertura vegetal, presenta una pendiente de menor al 30%. La zona tiene influencia del río Picay.

La zona que abarca este punto dentro de los modelos presenta las siguientes tonalidades.

Tabla 81

Tonalidad del punto en cada modelo

Modelo	Tonalidad
Fuzzy	Naranja
Reg. Lineal	Naranja
Reg. Logística	Roja
Redes neuronales	Naranja

El modelo que más se ajusta a la zona analizada es el de Regresión Logística, con un ajuste estadístico de 0,9563125.

Los otros modelos presentan una tonalidad naranja, la cual nos muestra que alrededor de este punto hay zonas medianamente susceptibles a deslizamientos, esto se debe a que la pendiente en este lugar es menos pronunciada que en el resto. En cuanto a la regresión logística muestra un tono rojo pues este modelo considera más estrictamente la susceptibilidad a un deslizamiento, o es poco susceptible o susceptible, y como en la zona si se tiene indicios claros de deslizamientos lo toma como un nivel alto de susceptibilidad.

Punto 2

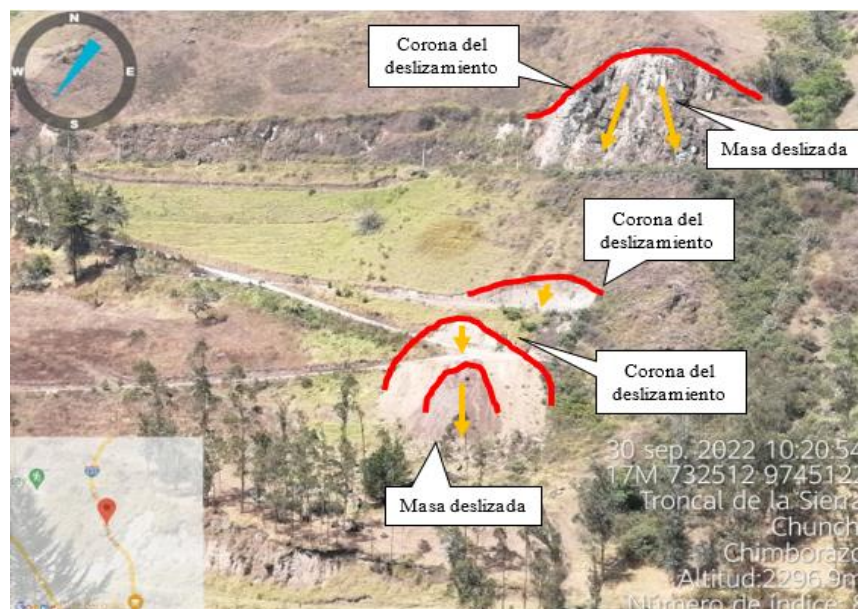
Figura 39

Deslizamientos observados en el punto 2



Figura 40

Deslizamientos observados en el punto 2



El punto 2 está en la vía E-35 en la salida de la ciudad del Chunchi en este sitio se tiene la visibilidad a algunos cortes viales, la zona presenta cultivos de ciclo corto con una litología compuesta de andesitas, riolitas y piroclastos, presenta una pendiente de 40%. La zona tiene la influencia del río Picay. En la figura 39 se observa la presencia de 6 deslizamientos, de los cuales 2 son activos, uno presenta características de ser un paleodeslizamiento, pues está cubierto de vegetación, los 3 restantes son deslizamientos potenciales, cualquier variable que intervenga puede hacer que se active y haya algún tipo de movimiento. Todos los deslizamientos de la figura son de tipo rotacional.

La figura 40 es un acercamiento en donde se puede observar mejor, un deslizamiento en estado activo y rotacional es atravesado por una vía, se distingue gran cantidad de masa deslizada lo que se convierte en un problema para la gestión del tránsito de la zona y un peligro inminente para los pobladores.

La zona que abarca este punto dentro de los modelos presenta las siguientes tonalidades.

Tabla 82

Tonalidad del punto en cada modelo

Modelo	Tonalidad
Fuzzy	Naranja
Reg. Lineal	Rojo
Reg. Logística	Roja
Redes neuronales	Naranja

Los modelos que más se ajustan a la zona analizada son los de Regresión Logística, y Regresión lineal con un ajuste estadístico de 0,9563125 y 0,736984238 respectivamente.

Ambas regresiones se apegan a la realidad del terreno en este punto, pues son mucho más estrictas en cuanto a la forma de considerar el fenómeno, no existen puntos medios. Los modelos de fuzzy y redes neuronales muestran mediana susceptibilidad a deslizamientos pues la pendiente del sitio se mantiene menos pronunciada que de los otros lugares e incluso la cobertura vegetal de la zona influye en este resultado.

Punto 3

Figura 41

Deslizamientos observados en el punto 3

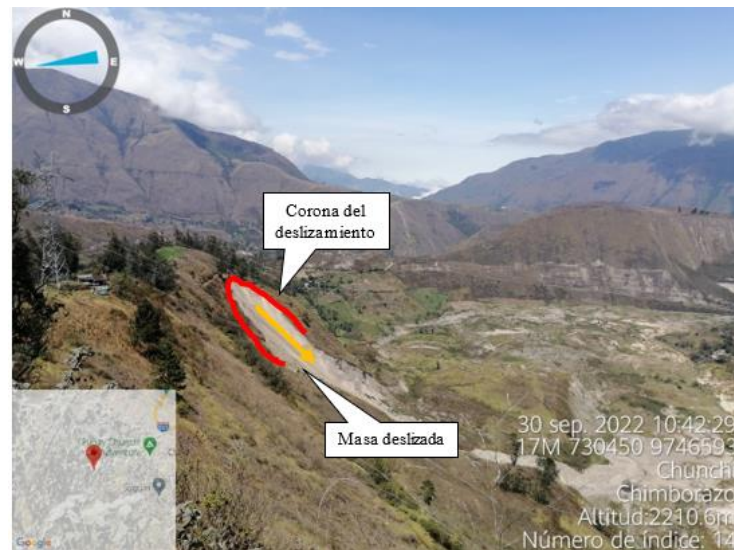


Figura 42

Deslizamientos observados en el punto 3

**Figura 43**

Deslizamientos observados en el punto 3

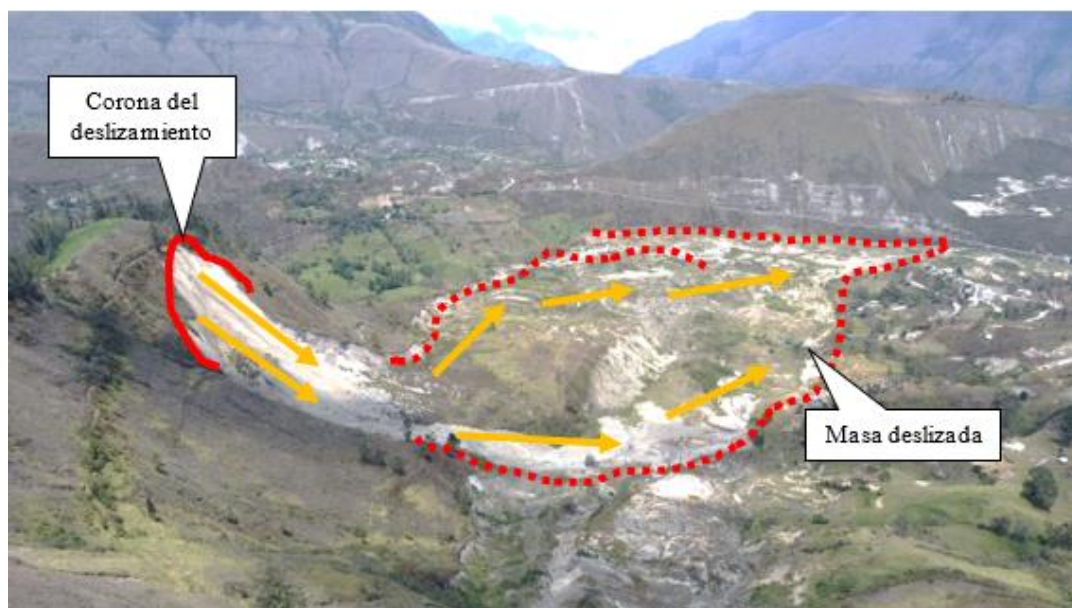
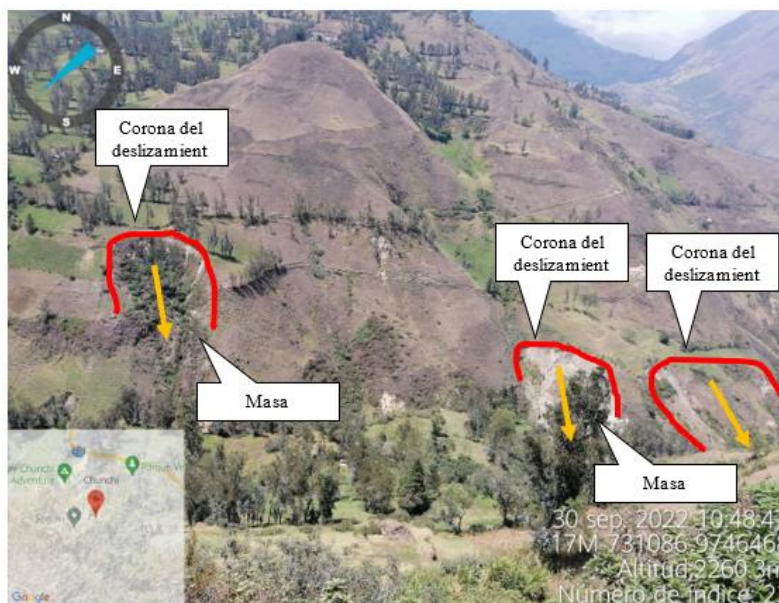


Figura 44

Deslizamientos observados en el punto 3



El punto 3 está ubicado al sur oeste de la ciudad del Chunchi, este es un punto crucial en el muestreo pues es el área en donde se dio el gran deslizamiento de febrero del 2021, sector “La Armenia” está en la vía principal que va de Chunchi en subida a la ciudad de Sibambe. Esta zona tiene una cobertura vegetal que consta de cultivos de ciclo corto, posee una pendiente del 50%. Se distingue un suelo franco-arcilloso con gravas medianas y tiene una litología de lavas andesíticas, riolitas y piroclastos.

En este punto se tiene una visual de los estragos del último deslizamiento y la magnitud de este. En la figura 41 se aprecia un deslizamiento amplio, con abundante masa deslizada compuesto por material arenoso y con grava, es un deslizamiento activo, rotacional.

En la figura 42 dentro de este sitio esta una vía completamente destruida y varias viviendas en las mismas malas condiciones, se observa 5 eventos los que son el resultado del gran deslizamiento que se dio en esta localidad. Estos son rotacionales y forman un gran socavón en el área, están compuestos por tierra franco-arenosa, con gravas de gran tamaño,

uno de los mismos presenta una ligera capa de vegetación, todos son rotacionales y en estado activo, se puede mencionar que dos de ellos siguen siendo potenciales, con cualquier tipo de estímulo puede llegar a deslizarse.

En la figura 43 se distingue otro deslizamiento de grandes dimensiones, está en estado activo, rotacional y presenta gran cantidad de masa deslizada, también se observa claramente la masa deslizada del evento de febrero 2021, se puede notar que este movimiento altero la estructura y la morfología de la zona, dejando un nuevo paisaje.

En la figura 44 se observan 3 deslizamientos, el primero de la izquierda muestra una cárcava como consecuencia de escorrentía superficial concentrada, generada por la infiltración de aguas de riego de los cultivos vecinos. Los dos deslizamientos de la derecha son rotacionales y están activos.

La zona que abarca este punto dentro de los modelos presenta las siguientes tonalidades.

TABLA 83

Tonalidad del punto en cada modelo

Modelo	Tonalidad
Fuzzy	Amarillo
Reg. Lineal	Naranja
Reg. Logística	Amarillo
Redes neuronales	Naranja

Los modelos que más se ajustan a la zona analizada son los de Regresión Lineal y de Redes neuronales, con un ajuste de 0,736984238 y 0,8022659 respectivamente

Es importante señalar que para poner en funcionamiento los modelos del proyecto se debió realizar un proceso de fotointerpretación de la zona de estudio, para ello se utilizó un

ortomosaico del año 2020, en donde esta área no presenta casi ningún indicio de deslizamientos potenciales, o no se tomó en cuenta la reptación por falta de visibilidad, por lo que es de suma importancia considerar este paso como esencial para la aplicación de estas técnicas de modelamiento, teniendo como consecuencia las tonalidades tan tenues presentes en todos los resultados.

La regresión logística que es el modelo que más se ha adaptado al terreno presenta tonos amarillos en el área, pues como se mencionó con anterioridad no considera términos medios en los resultados.

Punto 4

Figura 45

Deslizamientos observados en el punto 4

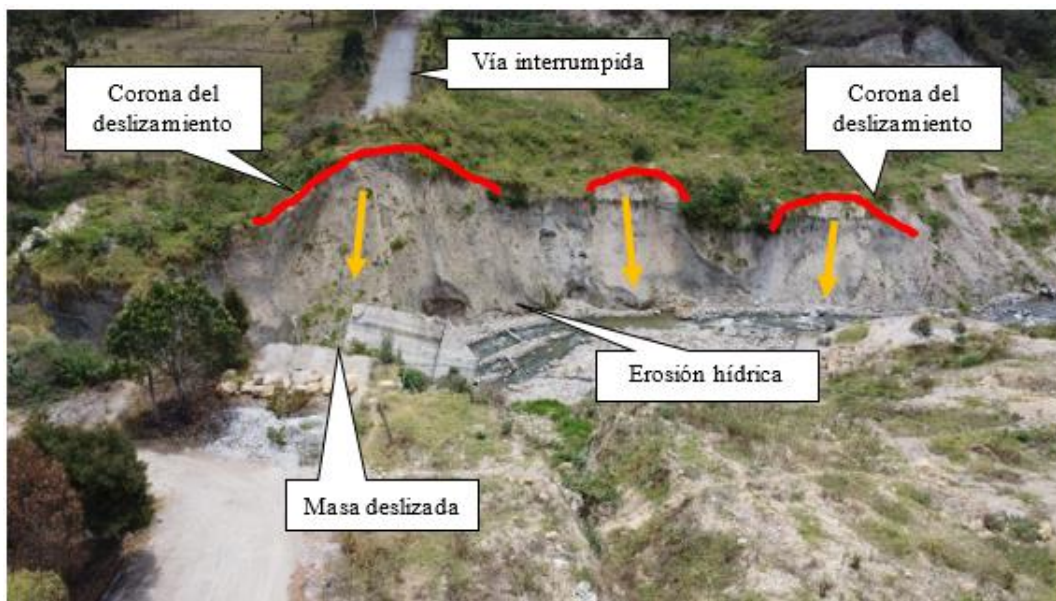


Figura 46

Deslizamientos observados en el punto 4

**Figura 47**

Deslizamientos observados en el punto 4



El punto 4 está ubicado al sur oeste de la ciudad del Chunchi, a 3 km de la comunidad de Piñancay, la zona está influenciada por el río Picay este es un punto se encuentra paralelo al sitio anteriormente muestreado separado por el río en mención. Esta zona está cubierta por vegetación arbustiva y posee una pendiente del 40%. Se distingue un suelo franco-arcilloso con gravas medianas y tiene una litología de lavas andesíticas, riolitas y piroclastos.

En la figura 45 se puede observar 3 deslizamientos activos y rotacionales, están compuestos por tierra franco-arenosa y con grava, al menos uno de ellos presenta tierra suelta mostrando que ha sido un deslizamiento reciente. Se observa otra vía totalmente destruida por el deslizamiento claramente afectado por la erosión hídrica del lugar.

La figura 46 muestra 3 deslizamientos que claramente están en estado activo, presentan un caso grave de erosión hídrica retrocederte, el agua meteoriza el talud, haciendo que pierda equilibrio. En el invierno del 2021 aumento en gran cantidad el caudal del río, por lo que esto activo los deslizamientos potenciales de la zona.

En la figura 47 se distinguen 4 deslizamientos en estado activo y rotacionales, en la parte baja de los mismos existe masa deslizada acumulada acompañada de grandes rocas.

La zona que abarca este punto dentro de los modelos presenta las siguientes tonalidades.

Tabla 84

Tonalidad del punto en cada modelo

Modelo	Tonalidad
Fuzzy	Amarillo
Reg. Lineal	Naranja
Reg. Logística	Amarillo
Redes neuronales	Naranja

Los modelos que más se ajustan a la zona analizada son los de Regresión Lineal y de Redes neuronales, con un ajuste de 0,736984238 y 0,8022659 respectivamente

Las tonalidades tenues de los resultados muestran que en la zona los deslizamientos fueron recientes, pues no se tomaron en cuenta en la fotointerpretación del área por falta de visibilidad de los indicios de movimiento o reptación del suelo.

Punto 5
Figura 48

Deslizamientos observados en el punto 5

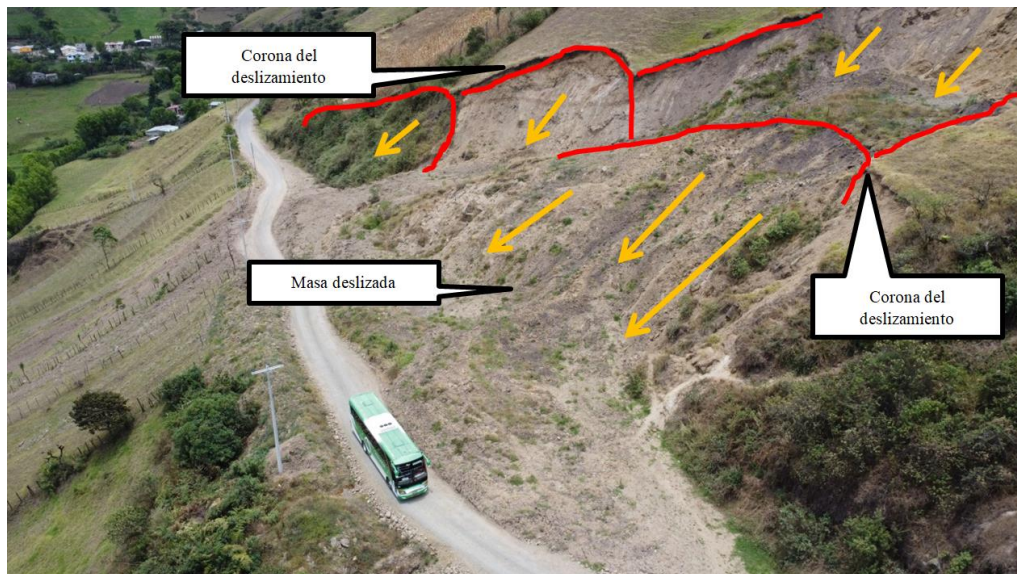


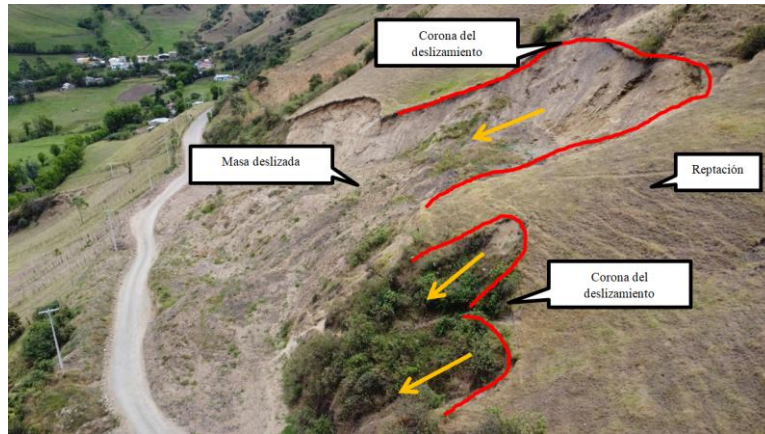
Figura 49*Deslizamientos observados en el punto 5***Figura 50***Deslizamientos observados en el punto 5*

Figura 51

Deslizamientos observados en el punto 5



El punto 5 se encuentra ubicado en el poblado de Pagma, se observaron varios deslizamientos a lo largo de la vía, siendo uno de ellos de gran magnitud, la zona, posee una cobertura vegetal de cultivos de ciclo corto, además de una pendiente que va 50% con un suelo de tipo molisol, franco arenosos y franco arcillosos por ende los deslizamientos son frecuentes, la litología del sitio representa lavas andesíticas a riolíticas y piroclastos, se encuentra cerca de los ríos Chanchan y Picay

En la figura 48 y 49 se observa un gran deslizamiento con abundante tierra suelta de tipo rotacional, en donde esta ha sido removida para el paso de la vía, cables eléctricos han sido afectados, cercano a este existen paleodeslizamientos ya que la cobertura herbácea es evidente, de igual manera reptación del suelo, un movimiento de pequeña magnitud, que al interactuar con otros factores en conjunto puede llegar a producir grandes movimientos.

El deslizamiento en la vía (ver figura 50), a un kilómetro del poblado de Pagma es un deslizamiento activo de tipo rotacional, donde se observa tierra que ha sido removida para tener una vía de acceso (ver figura 51), el tipo de suelo es molisol, franco arcilloso.

La zona que abarca este punto dentro de los modelos presenta las siguientes tonalidades.

Tabla 85

Tonalidad del punto en cada modelo

<i>Modelo</i>	<i>Tonalidad</i>
Fuzzy	Rojo/Naranja
Reg. Lineal	Rojo/Naranja
Reg. Logística	Rojo/Naranja
Redes neuronales	Rojo/Naranja

Todos los modelos se ajustaron a la zona analizada, a pesar de que la regresión lineal posee el menor ajuste con un valor de 0.736984238 y regresión logística el mayor, con un valor de ajuste de 0.9563125, esto debido a que en el área analizada se observó varios deslizamientos, activos, paleos y potenciales, donde hay reptación un proceso lento que afecta a la parte superior del suelo, y con el tiempo ocasionar un desprendimiento de tierra, por lo tanto es considerado como una zona potencial de deslizamientos, lo cual coincide con las tonalidades presentadas en cada uno de los modelos.

Punto 6
Figura 52

Deslizamientos observados en el punto 6



Figura 53

Deslizamientos observados en el punto 6



Figura 54

Deslizamientos observados en el punto 6



El punto 6 está ubicado al norte de la ciudad del Chunchi, a 4 km de la comunidad de Pepinales en la vía que se dirige a la parroquia de Sibambe, la zona esta influenciada por el rio Chanchán y la quebrada de Los huecos. Esta zona está cubierta por cultivos de ciclo corto y pastos cultivados, posee una pendiente del 50%. Se distingue un suelo franco-arcilloso con gravas medianas y tiene una litología de lavas andesíticas, riolitas y piroclastos

En la figura 52 Se observa 4 deslizamientos todos rotacionales de los cuales 3 son paleodeslizamientos, por estar cubiertos por una densa capa de vegetación el ultimo se encuentra en estado activo, con gran cantidad de masa deslizada en su parte baja.

La figura 53 muestra un deslizamiento activo recientemente y de tipo rotacional, donde es evidente la cantidad de masa deslizada y el riesgo que produce este tipo de fenómenos para el tránsito de la zona y los pobladores.

La figura 54 es un deslizamiento activo, ocasionado el quiebre brusco de la vía, y dos deslizamientos de menor tamaño, pero en el mismo estado, se distingue claramente la erosión lateral del río.

La zona que abarca este punto dentro de los modelos presenta las siguientes tonalidades.

Tabla 86

Tonalidad del punto en cada modelo

<i>Modelo</i>	<i>Tonalidad</i>
Fuzzy	Naranja
Reg. Lineal	Rojo
Reg. Logística	Rojo
Redes neuronales	Rojo

Los modelos que más se adaptan a este punto son Regresión Logística, Regresión Lineal y Redes neuronales con un ajuste estadístico de 0,736984238, 0,9563125 y 0,8022659 respectivamente.

La regresión logística en definitiva se adapta al terreno, pues hay deslizamientos evidentes en la fotointerpretación y en el trabajo de campo se observó que esta zona es altamente susceptible a deslizarse, por las características de pendiente, el tipo y grado de erosión hídrica que presenta.

Punto 7
Figura 55

Deslizamientos observados en el punto 7



El punto 16 se encuentra a un kilómetro de distancia del poblado de Sibambe, la zona tiene una cobertura vegetal de pasto cultivado, además de poseer una pendiente media a fuerte que oscila entre 25% y 40%, con suelos molisoles, francos arcillosos limoso, se encuentra cercano a la quebrada Machángara y al río Mallaguán y una litología de andesitas a riolitas y piroclastos.

En la figura 55 se observan deslizamientos activos de tipo rotacional, al igual que un paleodeslizamiento con su cobertura vegetal herbácea, la reptación de suelo es evidente por lo que esta área se considera potencial para deslizamientos, además de presentarse deslizamientos activos lo cual nos da una pauta de próximos potenciales deslizamientos.

La zona que abarca este punto dentro de los modelos presenta las siguientes tonalidades.

Tabla 87

Tonalidad del punto en cada modelo

Modelo	Tonalidad
Fuzzy	Naranja
Reg. Lineal	Naranja
Reg. Logística	Rojo
Redes neuronales	Amarillo

Según las tonalidades presentadas en cada uno de los modelos, el que más se ajusta la realidad del terreno es regresión logística con un valor de ajuste de 0.9563125, presentando una zona altamente susceptible a deslizamientos, debido a que al presentarse deslizamientos activos, da inestabilidad al terreno, ya que los bloques deslizados secundarios forman unos graderíos, propio del material removido, ocasionando reptación del suelo y a su vez una zona con potenciales deslizamientos, por tal motivo la tonalidad de color rojo.

Punto 8
Figura 56

Deslizamientos observados en el punto 8



Figura 57*Deslizamientos observados en el punto 8***Figura 58***Deslizamientos observados en el punto 8*

El punto se encuentra ubicado en la carretera Panamericana Troncal de la Sierra, cercano al poblado Lluquillay, el tramo de la vía Guasuntos – Chunchi, presenta una pendiente fuerte que oscila entre 50% y 60%, con un relieve volcánico montañoso y suelos molisoles, franco arcillosos, cercano a la quebrada Lluquillay, el río Chanchan

En las figuras 56,57 y 58 se observan deslizamientos en la vía, ocasionado por el corte de terreno para dar acceso en la carretera principal, son deslizamientos activos en la vía, de tipo traslación, y rotacional donde se observa cuerpo evidente de masa deslizada en el caso de la figura 55 y 56 se puede evidenciar que este fenómeno es producto de la acción antrópica, que sin estudios previos realizan cortes de terreno lo que desencadena a estos deslizamientos.

La zona que abarca este punto dentro de los modelos presenta las siguientes tonalidades.

Tabla 88

Tonalidad del punto en cada modelo

Modelo	Tonalidad
Fuzzy	Amarillo
Reg. Lineal	Amarillo/ Naranja
Reg. Logística	Rojo
Redes neuronales	Naranja

Al igual que en el punto anterior es otro tramo de la vía en donde se encuentran varios deslizamientos, y el modelo que más se ajusta a esta realidad es regresión logística con un ajuste de 0.9563125 con tonalidades de color rojo, con lo que se evidencia que efectivamente es una zona con alta susceptibilidad a deslizarse, uno de los factores que interviene directamente son los factores externos, la actividad del hombre, además del mal uso del suelo, por este motivo el modelo de fuzzy es el menor acercado está a la realidad ya que analiza

únicamente las variables que se le ha proporcionado, a diferencia de regresión logística que se realizó una fotointerpretación de los deslizamientos y no deslizamientos

Punto 9
Figura 59

Deslizamientos observados en el punto 9

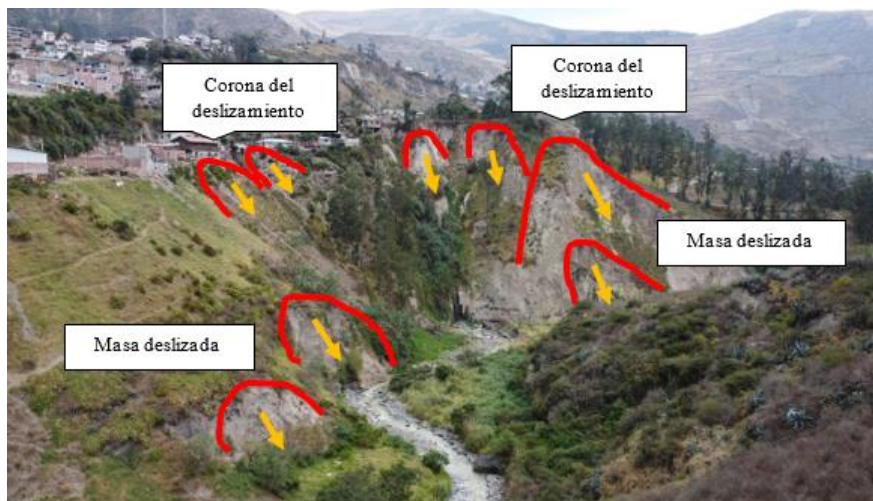


Figura 60

Deslizamientos observados en el punto 9



Figura 61

Deslizamientos observados en el punto 9



Figura 62

Deslizamientos observados en el punto 9



Figura 63*Deslizamientos observados en el punto 9***Figura 64***Deslizamientos observados en el punto 9*

El punto 9 está ubicado en la entrada de la ciudad de Alausí, en la vía principal que viene de Sibambe, se tiene una visual de gran parte de la ciudad y las vías aledañas. En este sitio se observa varios deslizamientos en estado activo y algunos potenciales. La litología del sitio describe zonas compuestas por andesitas, riolitas y piroclastos, con una cobertura vegetal de pastos cultivados, presenta una pendiente de un 30%. La zona tiene influencia del río Chanchán pues está cerca del mismo, y también de la quebrada Ayapán.

En la figura 59 se observan 8 deslizamientos de los cuales 2 de ellos son activos uno dentro del otro, estos son de tipo rotacional, compuestos de suelo franco-arcilloso con gravas medianas, 6 de ellos son deslizamientos potenciales, se puede identificar fácilmente su corona y tiene indicios de reptación en el suelo, la interacción con cualquier variable como: la precipitación o erosión puede activarlos. La zona presenta un alto grado de erosión hídrica pues el río Chanchán está a pocos metros. En la figura 60 se observa un deslizamiento activo y rotacional con presencia de masa deslizada, otro deslizamiento potencial y muy cerca de estos indicios de reptación y movimiento del suelo. En la figura 61 se distinguen 3 deslizamientos, 2 de ellos en estado activo y rotacional y 1 en estado potencial, se puede observar que está en una zona habitacional, hay aproximadamente 10 viviendas asentadas en las coronas de los deslizamientos convirtiéndose en un peligro potencial para la población de Alausí, no solo por las pérdidas materiales que esto puede producir, sino también por las vidas de los pobladores. La figura 61 muestra 11 deslizamientos dentro de un corte vial, de los cuales 6 son activos y rotacionales y 6 están en estado potencial. En la figura 63 se ve un deslizamiento reciente en estado activo y planar con un gran bloque de masa deslizada, incluso un árbol desprendido. En la figura 64 se tiene una vista lejana en donde se distingue un corte vial con 3 deslizamientos activos y rotacionales.

La zona que abarca este punto dentro de los modelos presenta las siguientes tonalidades.

Tabla 89

Tonalidad del punto en cada modelo

Modelo	Tonalidad
Fuzzy	Rojo
Reg. Lineal	Naranja
Reg. Logística	Roja
Redes neuronales	Naranja

Los modelos que más se ajustaron a la zona analizada son el de Fuzzy y de Regresión Logística, con un ajuste estadístico de 0,876347753 y 0,9563125 respectivamente

La zona de estudio como se mencionó con anterioridad presenta un alto número de deslizamientos activos, y varios potenciales, por lo que se considera un lugar con alta susceptibilidad a deslizamiento, mostrando que el modelo de regresión logística es el que más se adaptó al terreno

Punto 10
Figura 65

Deslizamientos observados en el punto 10



El punto 10 ubicado en el poblado de Alausí, a lo largo de la vía principal, donde se evidencian varios deslizamientos, posee una pendiente fuerte que oscila entre 40% y 70%, considerada como una zona con susceptibilidad baja a la erosión, presentando suelos molisoles, franco arenoso.

En la figura 65 se observa deslizamientos en la vía, activos de tipo rotacional, una de las variables que más influye en la ocurrencia de deslizamientos es la pendiente, por lo que al tener una pendiente entre 40 y 70% tiende a ser más susceptible el terreno, siendo así un peligro para la comunidad ya que se encuentra muy cerca del poblado, además puede ocasionar el cierre de vías en caso de suceder dicho evento.

La zona que abarca este punto dentro de los modelos presenta las siguientes tonalidades.

Tabla 90

Tonalidad del punto en cada modelo

Modelo	Tonalidad
Fuzzy	Verde/amarillo
Reg. Lineal	Verde

Reg. Logística	Naranja/ Rojo
Redes neuronales	Verde

Según las tonalidades presentadas en cada uno de los modelos, el que más se ajusta a la realidad del terreno es regresión logística con un valor de ajuste de 0.9563125, con tonalidades naranjas y rojas, presentando una zona altamente susceptible a deslizamientos, además que al presentarse deslizamientos activos, la tierra a su alrededor queda inestable, presentando así potenciales deslizamientos, por otro lado la regresión lineal y redes neuronales, fueron los modelos que menos se ajustaron.

Punto 11
Figura 66

Deslizamientos observados en el punto 11



Figura 67

Deslizamientos observados en el punto 11



En punto 12 se evidencia deslizamientos activos de tipo rotacional, donde la masa deslizada se sigue desprendiendo poco a poco, estos deslizamientos son por el corte de tierra realizado para construcción de la vía, causando inestabilidad en el terreno, en este tramo se observó un talud ya estabilizado, lo que da a entender que las autoridades tienen conocimiento de este riesgo sin embargo no se toma medidas de precaución en toda la zona.

La zona que abarca este punto dentro de los modelos presenta las siguientes tonalidades.

Tabla 91

Tonalidad del punto en cada modelo

Modelo	Tonalidad
Fuzzy	Rojo
Reg. Lineal	Naranja/ Rojo
Reg. Logística	Rojo
Redes neuronales	Amarillo

Según las tonalidades presentadas en cada uno de los modelos, el que más se ajusta a la realidad del terreno es regresión logística con un valor de ajuste de 0.9563125, presentando una zona altamente susceptible a deslizamientos con tonalidades rojas,

Además, que al presentarse deslizamientos activos, la tierra a su alrededor queda inestable, presentando así potenciales deslizamientos, por otro lado la regresión lineal y redes neuronales, fueron los modelos que menos se ajustaron.

Punto 12
Figura 68

Deslizamientos observados en el punto 12



Figura 69

Deslizamientos observados en el punto 12



Se encuentra a la salida del poblado de Zunag, en la vía guasuntos a chunchi, esta zona presenta pendientes fuertes que oscilan entre 70 y 100% con un relieve volcánico colinado muy alto y suelos molisoles, francos arenosos que contiene abundante arena así como también limo y arcilla, además se encuentra cercano al río Guasuntos.

En este tramo de la vía de aproximadamente 7 kilómetros, se evidenció varios deslizamientos (ver figura 67,68) de todo tipo, en su mayoría activos de tipo rotacional, además se encontró paleodeslizamientos y deslizamientos potenciales, esto debido al corte de terreno para habilitación de la vía, dejando así la tierra inestable, ocasionando dicho fenómeno.

La zona que abarca este punto dentro de los modelos presenta las siguientes tonalidades.

Tabla 92

Tonalidad del punto en cada modelo

Modelo	Tonalidad
Fuzzy	Amarillo/ Naranja
Reg. Lineal	Amarillo/ Naranja
Reg. Logística	Rojo
Redes neuronales	Amarillo

El modelo que nos representa una alta susceptibilidad a deslizamiento y va de acuerdo a lo observado en campo es regresión logística con una tonalidad de color rojo, y un ajuste de 0.9563125, este modelo es el que más se apega a la realidad ya que nos muestra que toda esta área tiene potenciales deslizamientos, lo cual es lógico ya que en la visita de campo se observó deslizamientos activos mismos que ayudan al progreso del fenómeno de desintegración, por lo que al tener una pendiente fuerte puede ocasionar deslizamientos.

Punto 13
Figura 70

Deslizamientos observados en el punto 13



Figura 71

Deslizamientos observados en el punto 13



Este punto se encuentra localizado en la carretera Panamericana, cercano a la entrada de Nariz del Diablo, el cual se caracteriza por tener pendientes fuertes entre 70% y 100%, además de suelos molisoles, francos arenoso arcillosos, con una litología de andesíticas a riolíticas, piroclastos, aledaño a la quebrada Potrero Huaycu y el río Chanchan, la cobertura presente en esta zona son pastos cultivados y cultivos de ciclo corto.

En la figura 69 se observó deslizamientos activos de tipo rotacional, de igual manera un paleodeslizamiento que se encuentra con cobertura vegetal herbácea, uno de los factores para la ocurrencia de este fenómeno es la erosión hídrica del río Chanchan, por otro lado en la figura 70 se tiene un deslizamiento en la vía, activo de tipo rotacional, muy reciente donde existe desprendimiento de rocas de gran tamaño aproximadamente 1.40 m y tierra suelta, a los alrededores de este se observa reptación del suelo, lo cual ha sido un factor importante para la ocurrencia de este deslizamiento.

La zona que abarca este punto dentro de los modelos presenta las siguientes tonalidades.

Tabla 93

Tonalidad del punto en cada modelo

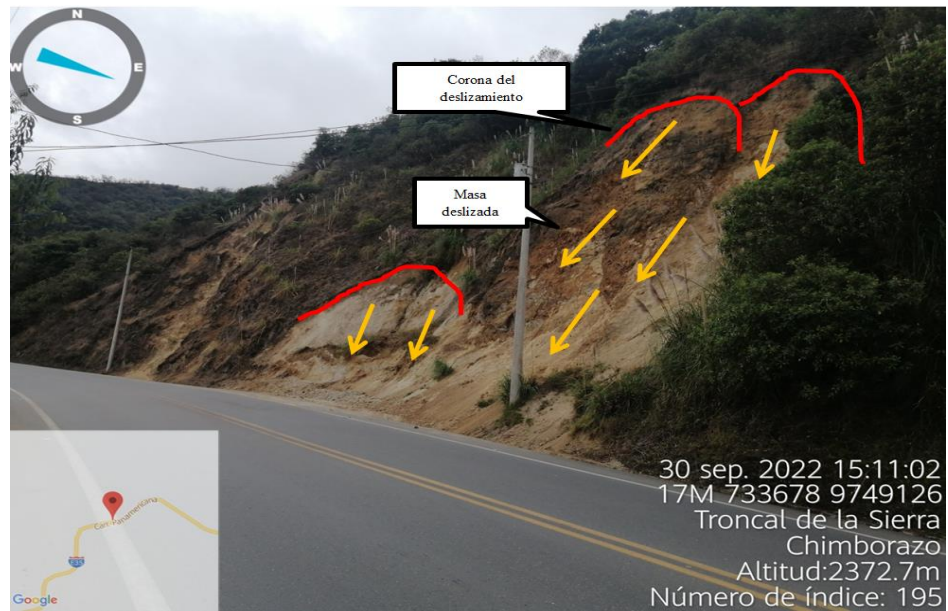
Modelo	Tonalidad
Fuzzy	Naranja
Reg. Lineal	Naranja
Reg. Logística	Rojo
Redes neuronales	Naranja

Este tramo de la vía, se encuentra con abundantes deslizamientos, por lo que según lo analizado en campo es una zona muy susceptible a deslizamientos, y el modelo que más se ajusta a esta realidad es regresión logística con un ajuste máximo de 0.9563125, presentando tonalidades de color rojo en la zona, esto debido a que existen cortes de terreno, haciendo que sea uno de los factores para la inestabilidad del suelo, en conjunto con otras variables estudiadas como el tipo de suelo, la cobertura vegetal, distancia a ríos, entre otras.

Punto 14
Figura 72

Deslizamientos observados en el punto 14



Figura 73*Deslizamientos observados en el punto 14***Figura 74***Deslizamientos observados en el punto 14*

El punto se encuentra ubicado en la carretera Panamericana Troncal de la Sierra, cercano al poblado Lluquillay, el tramo de la vía Guasuntos – Chunchi, presenta una pendiente

fuerte que oscila entre 40% y 70%, con un relieve volcánico montañoso y suelos molisoles, franco arcillosos, cercano a la quebrada Lluquillay, el río Chanchan

En las figuras 71, 72 y 73 se observan deslizamientos en la vía, ocasionado por el corte de terreno para dar acceso a la vía principal, son deslizamientos activos en la vía, de tipo traslación, y rotacional donde se observa cuerpo evidente del deslizamiento.

La zona que abarca este punto dentro de los modelos presenta las siguientes

Tabla 94

Tonalidad del punto en cada modelo

Modelo	Tonalidad
Fuzzy	Amarillo
Reg. Lineal	Amarillo/ Naranja
Reg. Logística	Rojo
Redes neuronales	Naranja

Al igual que en el punto anterior es otro tramo de la vía en donde se encuentran varios deslizamientos, y el modelo que más se ajusta a esta realidad es regresión logística con un ajuste de 0.9563125 con tonalidades de color rojo, con lo que se evidencia que efectivamente es una zona con alta susceptibilidad a deslizarse, uno de los factores que interviene son factores externos, la actividad del hombre, además del mal uso del suelo, por este motivo el modelo de fuzzy es el menor acercado está a la realidad ya que analiza únicamente las variables que se le ha proporcionado, a diferencia de regresión logística que se realizó una fotointerpretación de los deslizamientos y no deslizamientos

Como conclusión de este capítulo, cabe mencionar que el área de estudio es una zona con un problema grave en cuanto a la presencia de deslizamientos potenciales y activos, lo cual representa una amenaza constante para todos los pobladores y bienes materiales de

estos cantones. La validación de campo arrojó resultados favorables en cuanto a los obtenidos de los modelos, convirtiendo estas metodologías en un medio, económico y eficiente que puede ser usado para detectar zonas susceptibles a deslizamientos en diferentes áreas del Ecuador, y con esto potenciar el trabajo de la gestión de riesgos en el país.

Propuesta de plan de Gestión de Riesgo

En base a las características de la zona de estudio mencionadas al inicio del capítulo III, siendo estas fisiográficas climáticas, geomorfológicas e hidrogeológicas, las amenazas identificadas son fenómenos de remoción en masa e hidrometeorológicas.

La identificación de las amenazas y la determinación de las zonas más susceptibles a ocurrencia de deslizamientos es un insumo importante y necesario para las políticas de planificación territorial, en donde se integra el uso de las tecnologías para generar comunidades resilientes ante los efectos de un desastre por deslizamientos a través de una correcta gestión territorial y de riesgos.

“Las zonas urbanas son motores del desarrollo y del progreso humano, pero a la par ejercen una presión negativa sobre el planeta y sus habitantes. Uno de los grandes retos que tiene la humanidad es convertir a las ciudades en actores sostenibles de la sociedad y a la vez ser protagonistas del desarrollo sostenible, en lo referente a la educación, seguridad alimentaria, gestión del agua, desarrollo de sociedades inclusivas e instituciones eficaces” (Odsterritorioecuador, 2020). Es por ello que el proyecto de modelar la susceptibilidad y probabilidad de ocurrencia a deslizamientos, mediante el uso de herramientas geo informáticas, se alinea al ODS11 que pretende “lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles” (Odsterritorioecuador, 2020).

Según el modelamiento realizado en este proyecto se ha determinado las zonas con más susceptibilidad a deslizamientos, siendo mucho más vulnerables las áreas que integran una población en su estructura, las cuales son los poblados de Chunchi, Alausí y Pagma, y que conjuntamente con el trabajo de campo, en el que se realizó una verificación in situ en lugares donde los modelos generados señalaron alta susceptibilidad a deslizamientos, se logró conciliar la situación de peligro que los modelos matemáticos y la realidad de la zona evidencian.

Propuesta

El plan de contingencia tiene como función principal hacer que través de los gobiernos seccionales, se logre que la sociedad adquiera una adecuada capacidad de respuesta en caso de una emergencia o desastre. Ofrece además la posibilidad de proponer acciones que permitan minimizar de manera eficiente los riesgos ante un evento adverso, tomando como primicia la facultad que tienen los Gobiernos Autónomos Descentralizados de asistencia para establecer espacios seguros ante cualquier tipo de amenazas, acorde al ODS 11.

El rol de los gobiernos locales va más allá de las competencias que han sido asignadas y no solamente son implementadores de la agenda, sino que son responsables políticos, agentes de cambio y es el mejor nivel del gobierno para vincular a las comunidades con los objetivos que parten de una agenda global pero que necesitan de un proceso de implementación desde lo local para poder cumplirse a cabalidad (SNGRE, 2018).

Los Gobiernos Locales, cuando tienen una buena planificación son referentes de desarrollo y progreso, sin embargo, tienen que enfrentar varios desafíos, entre ellos la desigualdad social, falta de recursos, deterioro de su infraestructura y a esto se suma una falta de una planificación articulada y sostenible.

La Agenda 2030 presenta un escenario en el que los gobiernos locales juegan un papel relevante en su implementación, siendo un vínculo a nivel vertical y horizontal con todos los actores por su relación directa con el gobierno central y la inclusión de la participación de la sociedad civil y el sector privado en el diálogo y la planificación territorial, social y económica.

Estos poblados al no tener una planificación territorial sustancial realizan las construcciones de sus viviendas en zonas altas y con indicios de movimiento de tierra como reptación, coronas de deslizamientos, y grietas de tracción, evidencia que se observa en las figuras 46,47 y 48. Así también al no tener una zonificación adecuada de los usos de suelo, se vuelve una problemática constante, de desconocimientos por parte de los pobladores y la gobernación pública generando un conflicto de asentamientos, agroecológicas, haciendo que la sociedad no pueda desarrollarse en plenitud en ningún ámbito ya sea este social, económico, cultural, truncando las principales metas del ODS 11.

Cobertura

Esta propuesta está enfocada en los cantones de Chunchi, Alausí, con los poblados de Gonzol, Sibambe y Pagma

Amplitud

Se tomará en cuenta a todos los establecimientos que forman parte del SNGRE (Servicio Nacional de Gestión de Riesgo y Emergencias) como: el sector público, sector privado, organizaciones de la sociedad civil, que tengan capacidad técnica, humana, material y financiera, conjuntamente con la experiencia y competencia que caracteriza a estos profesionales.

Alcance

Tomando en cuenta el enfoque del proyecto se contempla a los deslizamientos de tierra de mediana y alta complejidad, que pudieran ocurrir y causar daños en territorio de los cantones y poblados antes mencionados. Se pretende hacer que la gestión de la respuesta

ante este tipo de desastre esté basada en un marco legal y bajo una metodología que esté estructurada por áreas, componentes y acciones que garanticen un buen manejo del plan de gestión de riesgos.

Antes

En el siguiente apartado se mencionan las estrategias que se deben implementar antes de que ocurra el deslizamiento de tierra, en donde se pretende llevar un monitoreo continuo de antecedentes sobre estos sucesos y de esta forma aportar a la gestión de riesgos preventiva de la zona.

- Realizar un análisis de las zonas más susceptibles a deslizamientos en las áreas de interés, como es el caso de este proyecto, validar la delimitación de estas áreas y su impacto.
- Levantar información que sea útil para la toma de decisiones, como es el caso de los deslizamientos, se ha comprobado que existen variables que intervienen directamente y detonan la ocurrencia de estos, por lo que es de suma importancia el monitoreo e información de las mismas, siendo el caso de las precipitaciones, las cuales pueden ser medidas de una manera más precisa, generando datos óptimos para la realización de modelos matemáticos que permitan tener una noción clara de la situación de peligro.
- Se debe considerar las dinámicas de los eventos, monitorear los deslizamientos que vayan ocurriendo, para así conocer, el cómo suceden estos fenómenos y poder tomar medidas preventivas y correctivas.
- Realizar una zonificación agrícola, en donde se defina el uso suelo, el tipo y que actividad productiva que se puede realizar en cada categoría establecida. Existe un conflicto en la parte agrícola, sobre todo enfocada en el sistema de riego de los cultivos, se determinó en la visita de campo que el agua de riego es una amenaza a la estabilidad del

suelo, ya que al estar en constante contacto con el sustrato forma cárcavas por escorrentía superficial generando deslizamientos potenciales, ver figura 31.

- Actualizar mapas de uso actual y potencial del suelo. Los PDOT de los cantones poseen información necesaria sobre este contexto, pero se ha determinado en muchos casos que los mapas de estas temáticas simplemente son copiados de otros documentos, o no son actualizados. La información que consta debe ser tomada con mucha responsabilidad, pues a partir de esta se consolida las metodologías para las tomas de decisiones que se pueden presentar en diversas situaciones en los GAD.

- El municipio al ser el ente regulador debe limitar o restringir de uso y ocupación del suelo en las zonas específicas en donde los modelos del proyecto marquen como alta susceptibilidad de deslizamiento.

- Monitoreo constante del estado de las zonas susceptibles a deslizamientos, es importante tener claro que características son las que determinan estructuralmente como es un deslizamiento, que variables detonan a los mismos, que indicios se puede identificar en estas zonas como: reptación, cárcavas, grietas de tracción, entre otros. Por ello para que funcione esta respuesta integrada, es preciso tener a disposición planes, valorar los avances, desarrollar y evaluar los mismos. “Es importante promover la recopilación de las lecciones aprendidas para mejorar una posible nueva respuesta” (Bermúdez et al., 2018).

- Definir las zonas seguras en donde se pueda instalar un albergue o lugares de refugio

- A partir de los tipos de vulnerabilidad mencionados, se identificó que en la zona de estudio presenta vulnerabilidad física y social.

- Hacer un censo a los habitantes previamente identificando los tipos de vulnerabilidad a los que están expuestos, conjuntamente con la alta susceptibilidad a deslizamientos, evaluar las condiciones en donde desarrollan sus actividades, como las

construcciones de sus viviendas, negocios y como estas están deterioradas por las condiciones del área

- Capacitación a las autoridades y organismos técnicos sobre la situación actual de las zonas y con el monitoreo, representarían una forma de mantener al tanto a dichas autoridades del estado de los sitios y así se puede garantizar una pronta acción preventiva.
- Capacitaciones a la población que en base a instrumentos de tecnologías geoespaciales permitan la identificación de las características de un deslizamiento, ¿qué hacer cuando encuentro estas señales?, a ¿quién debo notificar en caso de encontrarlas?, ¿qué debo hacer si estoy presenciando un deslizamiento?, entre otros.

Para que la respuesta ante un desastre, se realice de una forma eficaz, se demanda de capacidades consolidadas y la intervención de todos, comenzando por el nivel familiar, comunitario e individual hasta llegar al nivel nacional; esta participación debe integrar a los diferentes sectores ya sean estos: públicos, privados y a los colectivos sociales, culturales, étnicos, fundaciones y ONG; todos ellos encaminados a una respuesta coherente en función de las necesidades de estos cantones y comunidades.

- Hacer simulaciones y simulacros de los eventos

Durante

En la siguiente sección se mencionan las principales estrategias que se deben poner en marcha durante la ocurrencia de un deslizamiento.

Se debe implementar acciones de primera respuesta, las cuales son las principales actividades del proceso de gestión de emergencias y desastres. En este punto se pone como prioridad las labores de búsqueda, rescate y salvamento de la población afectada de la zona, también la ayuda humanitaria y la atención integral.

Después

Posterior a la ocurrencia de un deslizamiento se propone realizar las medidas de rehabilitación descritas a continuación, las cuales se basan en garantizar los servicios básicos y salvaguardar la vida de los habitantes de la zona, también se menciona los principales actores del proceso y sus funciones.

Como se conoce la cobertura vegetal cumple un rol importante en la estabilidad del sustrato por lo que es prioridad realizar una campaña de reforestación con especies endémicas de la zona que permita mejorar las condiciones del suelo y por ende disminuir la susceptibilidad a deslizamientos.

Medidas de rehabilitación

Son las de decisiones o conjunto de estas que están orientadas directamente a la recuperación y restitución progresiva de las condiciones de vida, infraestructura esencial como: alcantarillado, vías de acceso y seguridad de las zonas afectadas.

Como parte del proceso anterior se debe tener un monitoreo, supervisión o auditoría de los procesos de implementación de las medidas de rehabilitación.

Se debe asegurar la continuidad de servicios básicos y funciones elementales como: Luz eléctrica, agua y alcantarillado de la zona considerando una recuperación total, en el plazo más corto que se pueda.

Responsables del proceso

Para la fase inicial del proceso se debe realizar la declaración de estados de alerta para lo cual el SNGRE (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias) posee soporte técnico, científico a nivel de todo el Ecuador.

Para el caso de este proyecto, deslizamientos, fenómenos de remoción en masa, hundimientos, derrumbes, aluviones, entre otros. La entidad reguladora responsable es El Instituto Nacional de Investigaciones Geológico, Minero, Metalúrgico – INIGEMM (Dirección de Planificación y gestión estratégica, 2021).

En cuanto al restablecimiento de infraestructura esencial, está a cargo de los responsables de la administración del sistema afectado sean estas: salud, educación, energía, transporte, vial, entre otros. De la mano del Gobierno Autónomo Descentralizado de la zona.

Con la seguridad en zonas afectadas, se cuenta con el grupo de trabajo operativo a cargo de la Policía Nacional en coordinación con las Fuerzas Armadas del Ecuador y las entidades adicionales de seguridad ciudadana.

Los profesionales que se deben considerar para poner en marcha esta propuesta consisten en un grupo multidisciplinario de Geógrafos, Geólogos, Ingenieros Civiles, entre otros profesionales, los cuales deben estar alineados para fortalecer los sistemas que ya existen dentro de las organizaciones de los GAD.

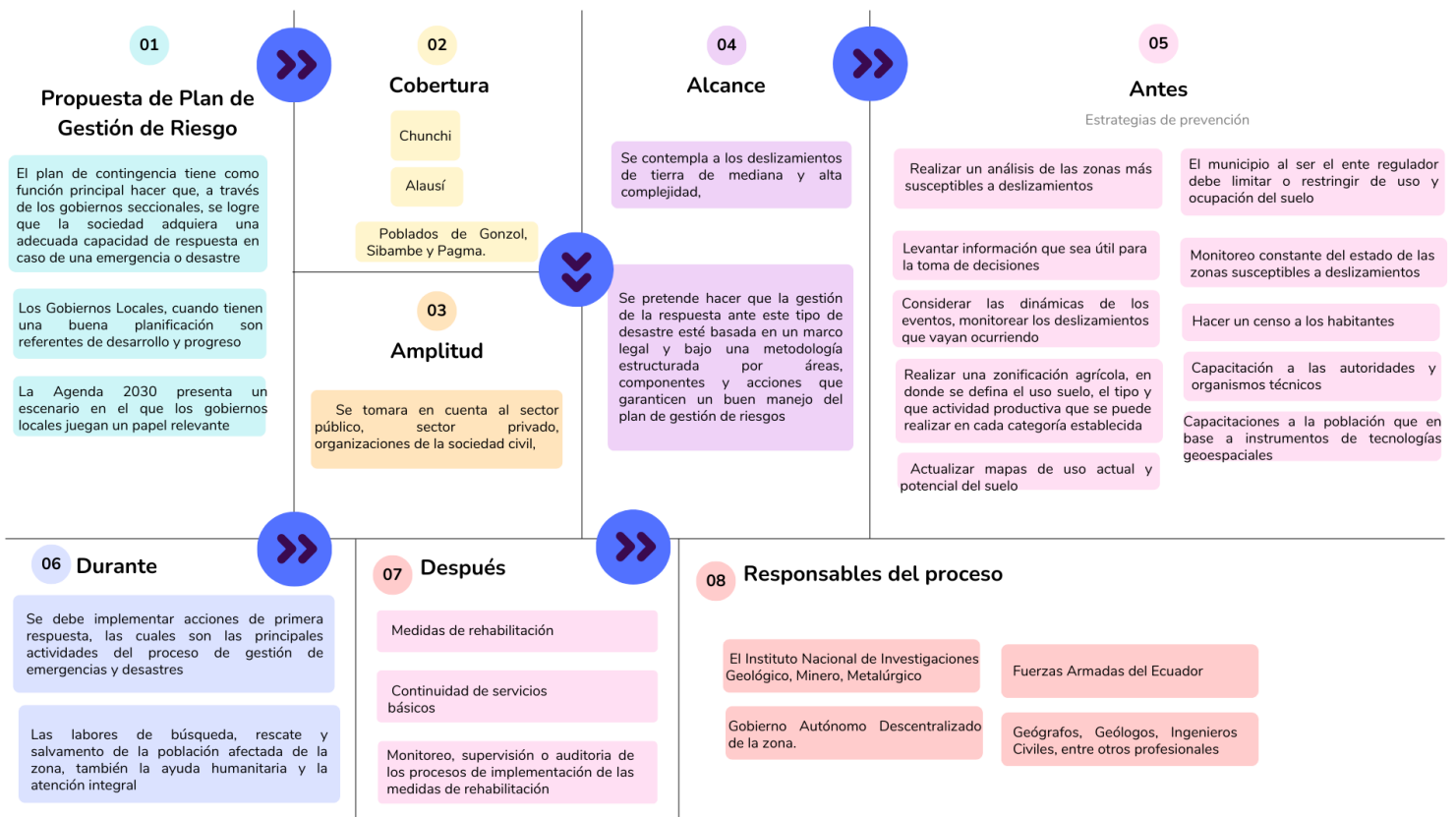
Los GAD municipales y cantonales deben poseer una unidad técnica de gestión del territorio el que debe tener en cuenta las recomendaciones de los profesionales y estudios que se realizan en la zona, como el proyecto presentado y así poder tomar decisiones en cuanto a las autorizaciones de construcción y de implantación de infraestructura.

La metodología usada en este proyecto resulta ser de mucha utilidad en cuanto a la predicción de variables dicotómicas, como es el caso de los deslizamientos, siendo una alternativa para mejorar las estrategias de gestión de riesgo en Ecuador.

La validación de campo en el proceso de este proyecto ha sido una parte fundamental, pues a partir de esta se puede determinar qué tan bueno son los modelos obtenidos, por lo que el diseño muestral de campo es una actividad que no puede omitirse.

Esquema de resumen de la propuesta de gestión de riesgo
Figura 1

Esquema de aplicación del plan de contingencia para la zona de estudio.



Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Los cuatro modelos obtenidos en el proyecto coinciden en señalar que, las zonas más afectadas por susceptibilidad a deslizamientos de tierra están cerca de cuerpos de agua y las vías principales las que van de sur a norte desde Chunchi a Sibambe, y de norte a sur desde Alausí hasta Chunchi, lo que muestra que la acción hídrica y antrópica son de los principales factores que intervienen en la susceptibilidad del terreno a deslizarse, en especial las zonas con conflicto de uso de suelo. También cabe mencionar que en la zona de estudio existen varios cortes viales que atraviesan los deslizamientos, siendo un riesgo potencial para la ocurrencia de este fenómeno.

El cálculo de la probabilidad de ocurrencia a deslizamientos en este proyecto comprende cuatro métodos, las cuales son: Lógica difusa, redes neuronales, regresión lineal y regresión logística, siendo este último el que presento resultados más favorables en cuanto a la susceptibilidad, adaptándose más al terreno de la zona, incluso en el ajuste estadístico ver en la tabla 15, muestra que al manejar variables dicotómicas es un modelo más estricto y fiable que no presenta ambigüedades en los resultados.

La validación de campo permitió conocer la realidad del terreno de una manera precisa, mediante lo cual se logró consolidar los resultados de los modelos con cada uno de los puntos, dando una idea clara de la veracidad de los resultados y pudiendo examinar cuales fueron las variables que más influyeron en los modelos.

En la validación de campo, se evidencio una relación directa entre la metodología de regresión logística y la realidad pues en todos los puntos visitados existían deslizamientos, los que en este modelo presentaban una tonalidad roja (alta susceptibilidad de ocurrencia). Por lo que la validación de campo ayudo a determinar el éxito de esta predicción.

El agua meteórica, de los ríos y agrícola es son las variables disparadoras de los deslizamientos, sin embargo, de estas la que mayor incidencia y correlación tiene es el agua meteórica o de precipitaciones por lo que se analizó de la siguiente manera realizando grupos en trimestres y anual. Teniendo los mejores resultados en todos los métodos aplicados en el primer trimestre que comprende los meses de (dic-enr-feb) coincidiendo con el gran deslizamiento de febrero del 2021, dando una gran validez e importancia a esta variable.

La pendiente es la variable que más correlación presento en la ocurrencia de deslizamientos, incluso en la metodología de fuzzy ponderada los expertos consideraron lo mismo. En el estudio se determinó que en la zona existen pendientes abruptas que van desde el 30% al 70% siendo uno de los detonantes para los deslizamientos potenciales.

La metodología de redes neuronales muestra un ajuste relativamente correcto, se puede observar en la tabla 15, pero en bibliografía analizada esta metodología mostraba los mejores resultados, sin embargo, se considera que las 7 neuronas que se utilizaron al estructurar el modelo dentro de la capa oculta son el numero correcto para tener una predicción adecuada.

Los métodos aplicados en el proyecto son muy útiles para determinar zonas susceptibles a deslizamientos pues implica una menor inversión en recursos económicos y tiempo; debido a que las variables que se utilizaron son fáciles de conseguir y de procesar.

Obtener los valores de probabilidad de deslizamientos permite la identificación de áreas vulnerables a esta amenaza, de esta manera ayuda a elaborar planes de prevención y mitigación. Convirtiéndose en una herramienta que aporta al desarrollo de una mejor planificación territorial.

Todos los modelos del proyecto muestran como áreas vulnerables a los poblados de Alausí y Chunchi, haciendo que sea de vital importancia intervenir dichos sitios para prevenir la ocurrencia de deslizamientos y así evitar pérdidas en cuanto a la población y bienes materiales.

Recomendaciones

La actividad antrópica en la zona es notoria en cuanto a la construcción de vías, viviendas y trabajo agrícola, estas aceleran el proceso de un deslizamiento. Por lo que se recomienda a los GAD cantonales y provinciales actualizar los estudios de uso de suelo considerando la susceptibilidad a deslizamientos, para fines de ordenamiento urbano y territorial.

En cuanto a la Gestión de Riesgos en los PDOT se debe tomar en cuenta y trabajar con las probabilidades más altas de ocurrencia, en este caso con el resultado de regresión logística, pues de esta forma se puede tomar acciones mucho más prontas en cuanto a la prevención y mitigación de estos fenómenos.

Todos los modelos que se empleen para predecir deslizamientos tienen que ser validados en el campo, por lo que se recomienda a los gestores territoriales, realizar un análisis de gabinete previo a la salida de campo, para identificar los puntos de muestreo de deslizamientos, caracterización y estados de las vías de acceso.

Es recomendable prestar atención a la variable de precipitación pues esta puede variar a lo largo del año, por lo que es importante agrupar los datos obtenidos en diferentes periodos de tiempo representativos, para así generar un resultado más cercano a la realidad.

Se sugiere a los GAD cantonales y provinciales que, en los proyectos viales, se considere las zonas más propensas a deslizamientos para garantizar una buena ejecución de las obras, mitigando estos riesgos.

Para quien trabaje con redes neuronales se recomienda tomar muy en cuenta la configuración de la capa oculta de la estructura de la red, pues en esta se debe probar un número de neuronas con el cual se obtenga una variedad de resultados y sea más fácil escoger la mejor configuración. La cantidad de datos que se ingresen será también un factor preponderante en el éxito de los resultados de la probabilidad.

Se recomendable usar las metodologías propuestas en este proyecto para la determinación de la susceptibilidad a deslizamientos en otras zonas del Ecuador, pues mostraron resultados fiables en cuanto a la predicción de estos eventos negativos.

Es factible utilizar los mapas de este proyecto para la planificación territorial futura de los poblados de Chunchi y Alausí, con esto se tiene una noción clara de la situación de vulnerabilidad y peligro de estas áreas y con ello tomar las mejores decisiones en cuanto a la gestión territorial.

Bibliografía

- Abbaszadeh Shahri, A., Spross, J., Johansson, F., & Larsson, S. (2019). Landslide susceptibility hazard map in southwest Sweden using artificial neural network. *Catena*, 183. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104225>
- Aguiló Alonso, M. 1945-. (2014). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico* (4th ed.). Fundación Conde del Valle de Salazar.
- Andocilla, L. (2012). *Implementación Del Algoritmo De Logica Fuzzy Aplicado a La Determinación Del Grado De Susceptibilidad a Deslizamientos En El Area Monjas – Ferroviaria – La Magdalena – Itchimbia Del Distrito Metropolitano De Quito*.
- Asamblea Nacional Constituyente. (2008). Constitución de la República del Ecuador. *Registro Oficial 449 de 20 Oct. 2008*, 1–222.
- Ayalew, L., & Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65(1–2), 15–31. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.06.010>
- Bemudez, C., Carvajal, M., & García, M. (2018). *PLAN NACIONAL DE RESPUESTA ANTE DESASTRES DE ECUADOR*. www.gestionderiesgos.gob.ec
- Bornaetxea, T., Antigüedad, I., & Ormaetxea, O. (2018). Landslide susceptibility maps using logistic regression model for the Oria river catchment (Gipuzkoa province). Strategies for variables processing. *Cuaternario y Geomorfología*, 32(1–2), 7–29. <https://doi.org/10.17735/cyg.v32i1-2.59493>

- Bustos, D., Estrada, S., & Soria, G. (2020). *Estimación del Riesgo de Deslizamientos Mediante Algoritmos de Aprendizaje Automático (Vía Calacalí-Nanegalito)*.
- Cárdenas, J. (2014). *Qués es la regresión logística binaria y cómo analizarla*.
<https://networkianos.com/regresion-logistica-binaria/>
- Cereceda, I. (2006). *Uso de los sig en el análisis de susceptibilidad y prediccion de deslizamientos*. 7, 191–202.
- Chaitén, C., Lagos, S., Loreto, E., Fritz, S., Andrés, J., Flory, Q., & Rohrbach, L. G (2021).
Deslizamientos naturales con uso de redes neuronales artificiales.
- Chamorro Moya, A. R. (2014). Análisis de confiabilidad entre métodos de predicción a deslizamientos: mora-vahrson, lógica fuzzy e indeci, para determinar cuál es el que mejor representa la realidad de la microcuenca del río cristal, provincia de bolívar. *ESPE*.
- Chaverri, I. (2016). *Zonificación de la susceptibilidad a deslizamiento, por medio de la metodología Mora-Vahrson, en la microcuenca del Río Macho, San José, Costa Rica; Zonificación de la susceptibilidad a deslizamiento, por medio de la metodología Mora-Vahrson, en la microc.*
- Chollet, F. (2018). *Manning*.
- COOTAD. (2010). *Codigo Organico de Organizacion Territorial Descentralizado.(COOTAD). Registro Oficial Suplemento 303 de 19-Oct.-2010, 1–180*.
- Cruden, D., & Varnes, D. (1996). *Tipos de deslizamientos y procesos*.
- Daya Sagar, B. S., Cheng, Q., & Agterberg, F. (2018). *Handbook of Mathematical Geosciences*.

- Díaz Narváez, V. P. (2017). Regresión logística y decisiones clínicas. *Nutricion Hospitalaria*, 34(6), 1505. <https://doi.org/10.20960/nh.1468>
- Dirección de Planificación y gestión estratégica. (2021). *Plan estratégico institucional*.
- Echemendía, B. (2011). Definiciones acerca del riesgo y sus implicaciones. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 49(3), 470–481.
- Escalona Maurice, M. J., Jiménez-Moreno, M. J., Sancho Comíns, J., Escalona-Maurice, M. J., Jiménez-Moreno, M. J., & Sancho Comíns, J. (2017). Modelo cartográfico del cambio espacial de suelo por subcuencas en Texcoco, Estado de México: 1977-2000. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(SPE18), 3815–3824. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V8I18.222>
- Esri. (2020). *Comprender el análisis de distancia euclidiana—ArcGIS Pro | Documentación*. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/2.9/tool-reference/spatial-analyst/understanding-euclidean-distance-analysis.htm>
- Fernando, I., & Orejuela, P. (2020). *Susceptibilidad a deslizamientos en la vía aloag-santo domingo, mediante lógica difusa susceptibility to landslides on the aloag-santo domingo road, through fuzzy logic*. 17(2), 1–12.
- Florez, A. C., & Pérez, J. N. (2019). Técnicas para la predicción espacial de zonas susceptibles a deslizamientos. *Avances: Investigación En Ingeniería*, 16(1), 20–48. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.5188>
- Gentili, J., & Gil, V. (2011). *Aplicación de tecnologías de informacion geograficas (tig) al análisis hidrogeomorfológico* * Gentili, Jorge O. 1 y Gil, Verónica 1,2 1 -.

- Hermosa, L. G., Avilés, M. J., Almeida, O. P., Cruz, M. A., & others. (2011). Análisis y modelamiento de susceptibilidad a deslizamientos mediante SIG y geoestadística en las Parroquias de Papallacta y Cuyuja, Cantón Quijos (Ecuador). *Actas I Congreso Internacional En Ordenamiento Territorial y Tecnologías de La Información Geográfica [Recurso Electrónico]: Ciudad de Tegucigalpa, Honduras, Del 11 al 16 de Octubre de 2010, II(4)*, 486–494.
- Huang, F., Zhang, J., Zhou, C., Wang, Y., Huang, J., & Zhu, L. (2020). A deep learning algorithm using a fully connected sparse autoencoder neural network for landslide susceptibility prediction. *Landslides*, *17*(1), 217–229. <https://doi.org/10.1007/s10346-019-01274-9>
- IBM. (2017). *IBM SPSS-Regresión 26*.
- INPRES. (2004). Fallas Geológicas. *Instituto nacional de prevención sísmica*, 1–11.
- Jumbo, B. (2021). *El caserío Chanchán desapareció tras el deslizamiento de tierra en Chunchi - El Comercio*. El Comercio. <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/caserio-chanchan-desaparecio-deslizamiento-tierra.html>
- Lagari, P. L., Tsoukalas, L. H., & Lagaris, I. E. (2020). Variance Counterbalancing for Stochastic Large-scale Learning. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, *29*(5). <https://doi.org/10.1142/S0218213020500104>
- Lianet, D. C., Céspedes, G., Silvia, D., Noles, P. Z., & Lisett, M. (2020). *31 Hábitat Seguro, Safe Habitat, Adequate and Dignified Housing, and Enjoy the City in Ecuador Vivienda Adecuada Y Digna, Y Disfrute De La Ciudad En Ecuador*. 202–208.

- Lin, G. F., Chang, M. J., Huang, Y. C., & Ho, J. Y. (2017). Assessment of susceptibility to rainfall-induced landslides using improved self-organizing linear output map, support vector machine, and logistic regression. *Engineering Geology*, *224*, 62–74.
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.05.009>
- Mahdadi, F., Boumezbeur, A., Hadji, R., Kanungo, D. P., & Zahri, F. (2018). GIS-based landslide susceptibility assessment using statistical models: a case study from Souk Ahras province, N-E Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, *11*(17).
<https://doi.org/10.1007/s12517-018-3770-5>
- Nantes, E. (2019). El método Analytic Hierarchy Process para la toma de decisiones. Repaso de la Metodología y Aplicaciones. *Revista de La Escuela de Perfeccionamiento En Investigación Operativa*, *27*(46), 54–73.
- Navarro, J. (2012). *Susceptibilidad y amenaza de movimientos de ladera mediante s.i.g. en el municipio de berlín, el salvador*.
- Odsterritorioecuador. (2020). *Ciudades y comunidades sostenibles*. 44–45.
<https://doi.org/10.18356/33794931-es>
- Organización Meteorológica Mundial. (2020). *Peligros naturales y reducción de riesgos de desastre | Organización Meteorológica Mundial*. <https://public.wmo.int/es/peligros-naturales-y-reduccion-de-riesgos-de-desastre>
- Padilla, P., Hermosa, L., Avilés, M., & Cruz, M. (2011). Análisis y modelamiento de susceptibilidad a deslizamientos mediante SIG y geoestadística en las Parroquias de Papallacta y Cuyuja, Cantón Quijos (Ecuador). *Actas I Congreso Internacional En Ordenamiento Territorial y Tecnologías de La Información Geográfica [Recurso*

- Electrónico*]: Ciudad de Tegucigalpa, Honduras, Del 11 al 16 de Octubre de 2010, II(4), 486–494.
- Palacios, I. (2020). *Susceptibility To Landslides on the Aloag – Santo Domingo*. December 2020. <https://doi.org/10.24133/geoespacial.v17i2.1571>
- Pérez, M., & Rojas, J. (2005). *Estudio de vulnerabilidad ante deslizamientos de tierra en la Microcuenca las Marías. Telica, León*. 95.
- Pineda, M. C., Viloría, Á., & Viloría, J. (2012). Aplicación de regresión logística y redes bayesianas para evaluar susceptibilidad a deslizamientos en montañas. *Suelos Ecuatoriales*, 42(1), 1–5.
- Ricardo Rios. (2016). *Estimación de la susceptibilidad a deslizamientos de tierra en el área metropolitana de san salvador (amss) utilizando redes neuronales artificiales*. July, 1–23.
- Robas, C., Nieto, A., & Schnabel, S. (2016). Morfologías Fluvio-Glaciares Del Cráter Gale Y Sus Análogos Terrestres, Como Evidencias Del Clima Frío Y Húmedo Del Marte Primitivo. *Tecnologías De La Información Geográfica En El Análisis Espacial*.
- Rojas, O., & Martínez, C. (2011). Riesgos naturales: evolución y modelos conceptuales. *Revista Universitaria de Geografía*, 20, 83–116.
- Salvador, R. (2012). *Estimación de la susceptibilidad a deslizamientos de tierra en el área metropolitana de San Salvador (AMSS) utilizando redes neuronales artificiales*.
- Secretaría Nacional de Planificación. (2021). *Plan-de-Creación-de-Oportunidades-2021-2025*- (pp. 1–122).

- SIG TIERRAS. (2020). *Fotografía Aérea y Ortofotos | Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica*. <http://www.sigtierras.gob.ec/fotografia-aerea-y-ortofotos/>
- SNGRE. (2018). Plan Nacional De Respuesta Ante Desastres. *Secretaría de Gestión de Riesgos*, 446.
- SNGRE. (2021). *Informe de Situación-Deslizamiento Chunchi*.
- Suarez, J. (1998). Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. © 1998, *Instituto de Investigaciones Sobre Erosión y Deslizamientos*, 1–10.
- USGS. (2008). Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes. *Usgs*, 176.
- Villegas, R. (2018). *Mapas: herramientas contra desastres naturales*. Instituto de Ecología de México. <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/1052-mapas-herramientas-contra-desastres-naturales>
- Yang, J., Song, C., Yang, Y., Xu, C., Guo, F., & Xie, L. (2019). New method for landslide susceptibility mapping supported by spatial logistic regression and GeoDetector: A case study of Duwen Highway Basin, Sichuan Province, China. *Geomorphology*, 324, 62–71. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.09.019>
- Zafirir, R. (2016). *Estimación de la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos mediante el método Fuzzdes, en la zona urbana de la administración zonal norte Eugenio Espejo, del Distrito Metropolitano de Quito*. 103.
- Zhou, C., Yin, K., Cao, Y., Ahmed, B., Li, Y., Catani, F., & Pourghasemi, H. R. (2018). Landslide susceptibility modeling applying machine learning methods: A case study from Longju in

the Three Gorges Reservoir area, China. *Computers and Geosciences*, 112, 23–37.

<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2017.11.019>