

2. METODOLOGÍA APLICADA

La metodología aplicada en este trabajo esta basada en las investigaciones previas de la cuenca de San José de Galipán. Estas investigaciones se realizaron luego de los eventos sucedidos en Estado Vargas en el año 1999. En este año la cuenca Galipán y otras 10 de la Cordillera de La Costa, formaron aludes torrenciales que generaron la destrucción de 100.000 viviendas aproximadamente y la muerte de 20.000 personas según las cifras oficiales. Estos aludes torrenciales fueron producto de los deslizamientos en las partes medias y altas de las cuencas.

El propósito de la investigación es generar una metodología que recoja toda la información geológica de la cuenca y someterla a un proceso de evaluación basado en el método explicado en el artículo *Landslide hazard and risk mapping in the himalaya* escrito por ANBALAGAN y SINGH (2001). En otros términos, se desea utilizar esta metodología en Venezuela, para establecer su eficacia.

La metodología de Anbalagan y Singh esta basada en la estimación de la amenaza por deslizamientos, lo cual ayuda a poder desarrollar controles eficientes que disminuyan los efectos sentidos en la población ante la ocurrencia de un futuro desastre. Para estimar la amenaza existe varios métodos, los cuales se puede clasificar en empíricos, detallados y observación directa. El método escogido para este trabajo es el empírico.

El método empírico combina la experiencia de campo, la información obtenida de los deslizamientos ocurridos anteriormente y los estudio en detalle de los mapas topográficos, geológicos, geomorfológicos y de uso de la tierra a escala 1:25.000

2.1 Metodología de Anbalagan y Singh

Anbalagan y Singh proponen un sistema de clasificación basado en 6 factores: Litología, relación estructural, morfometría del talud, relieve relativo, cobertura vegetal y condiciones

hidrogeológicas. Estos factores tienen pesos diferentes para el análisis de la amenaza, en la siguiente tabla se muestra el valor máximo que pueden obtener:

Factor	Peso máximo para el análisis
Litología	2
Relación estructural	2
Morfometría del talud	2
Relieve relativo	1
Cobertura vegetal	2
Condiciones Hidrogeológicas	1

El primer paso para establecer esta metodología es dividir el terreno en una serie de subáreas que tienen características similares en cada uno de los aspectos indicados. Estas subáreas pueden definirse por los diferentes taludes existentes en la cuenca, debido a que los taludes poseen similares características.

En factor litología debe tenerse en cuenta el grado de erosión de los materiales y los procesos de meteorización. Las rocas duras no meteorizadas poseen una susceptibilidad baja, mientras las rocas fisuradas o foliadas presentan una susceptibilidad alta. La relación estructural incluye las discontinuidades primarias y secundarias así como las superficies de estratificación. La disposición de la estructura con relación al talud debe tenerse en cuenta de acuerdo a los siguientes parámetros:

- a. El rumbo de las discontinuidades en comparación con el rumbo de la superficie del talud.
- b. El buzamiento tanto de las discontinuidades como de las líneas de intercepción de varias discontinuidades.
- c. La localización de las discontinuidades con referencia al pie del talud.

La morfometría define las categorías de talud con base en la frecuencia de ocurrencia de determinados ángulos particulares en el talud, junto al mapa de morfometría puede prepararse reuniendo las áreas en las cuales las líneas de nivel tienen un espaciamiento estándar y pueden dividirse en pendientes inclinadas, moderadas o suaves. El relieve relativo representa la máxima altura entre la divisoria de aguas arriba de los taludes y el valle abajo del mismo. Para un mejor entendimiento se

presenta la siguiente tabla, que refleja la manera de evaluar cada factor y el peso que debe llevar esa evaluación.

Factor	Categoría	Peso
Litología		
Tipo de roca	<u>Tipo-I</u>	
	Cuarcita y Caliza	0.2
	Granito y Gabro	0.3
	Gneiss	0.4
	<u>Tipo-II</u>	
	Rocas sedimentarias bien cementadas, Areniscas.	1.0
	Rocas sedimentarias pobremente cementadas, areniscas con lutitas.	1.3
	<u>Tipo-III</u>	
	Pizarra y filita	1.2
	Esquisto	1.3
	Lutitas no arcillosas	1.8
	Lutitas, esquistos o filitas muy meteorizadas	2.0
	Materiales aluvionales antiguos bien consolidados	0.8
Tipo de Suelos	Arcillosos	1.0
	Arenosos blandos	1.4
	Coluviones antiguos	1.2
	Coluviones juvenes	2.0

Factor	Categoría	Peso
Relación Estructural		
Relación de paralelismo entre el talud y las discontinuidades	I < 30	0.20
	II 21 – 30	0.25
	III 11 – 20	0.30
	IV 6 – 10	0.40
	V ≤ 5	0.50
Relación entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud	I > 15	0.65
	II 0 – 10	0.85
	III 0	1.30
	IV 0 – (-10)	2.00
	V -10	1.20
Buzamiento de la discontinuidad	I ≤ 15	0.65
	II 16 – 25	0.85
	III 26 – 35	0.30
	IV 36 – 45	0.40
	V > 45	0.50

Factor	Categoría	Peso
Morfometría del talud		
Escarpe/Acantilado	> 45°	2.00
Abrupto	35° a 45°	1.70
Moderadamente abrupto	25° a 35°	1.20
Suave	15° a 25°	0.80
Muy suave	<15°	0.50
Relieve relativo		
Bajo	≤ 100 m	0.3
Medio	101 – 300 m	0.6
Alto	> 300 m	1.0
Cobertura Vegetal		
Tierra de agricultura		0.65
Vegetación intensa		0.85
Vegetación moderada		1.20
Vegetación escasa		1.50
Terrenos áridos		2.00
Condiciones Hidrogeológicas		
Inundable		1.00
Pantanosos		0.80
Muy húmedo		0.50
Húmedo		0.20
Seco		0.00

Luego de asignar un peso a cada factor para un talud determinado, se procede a realizar la sumatoria de estos pesos con el fin de establecer el valor de zonificación de amenaza por deslizamiento (ZAD). En otros términos:

ZAD = Peso de litología + Relación estructural + Morfometría de talud + Relieve relativo + Cobertura vegetal + Condiciones hidrogeológica.

El valor de ZAD se clasifica en:

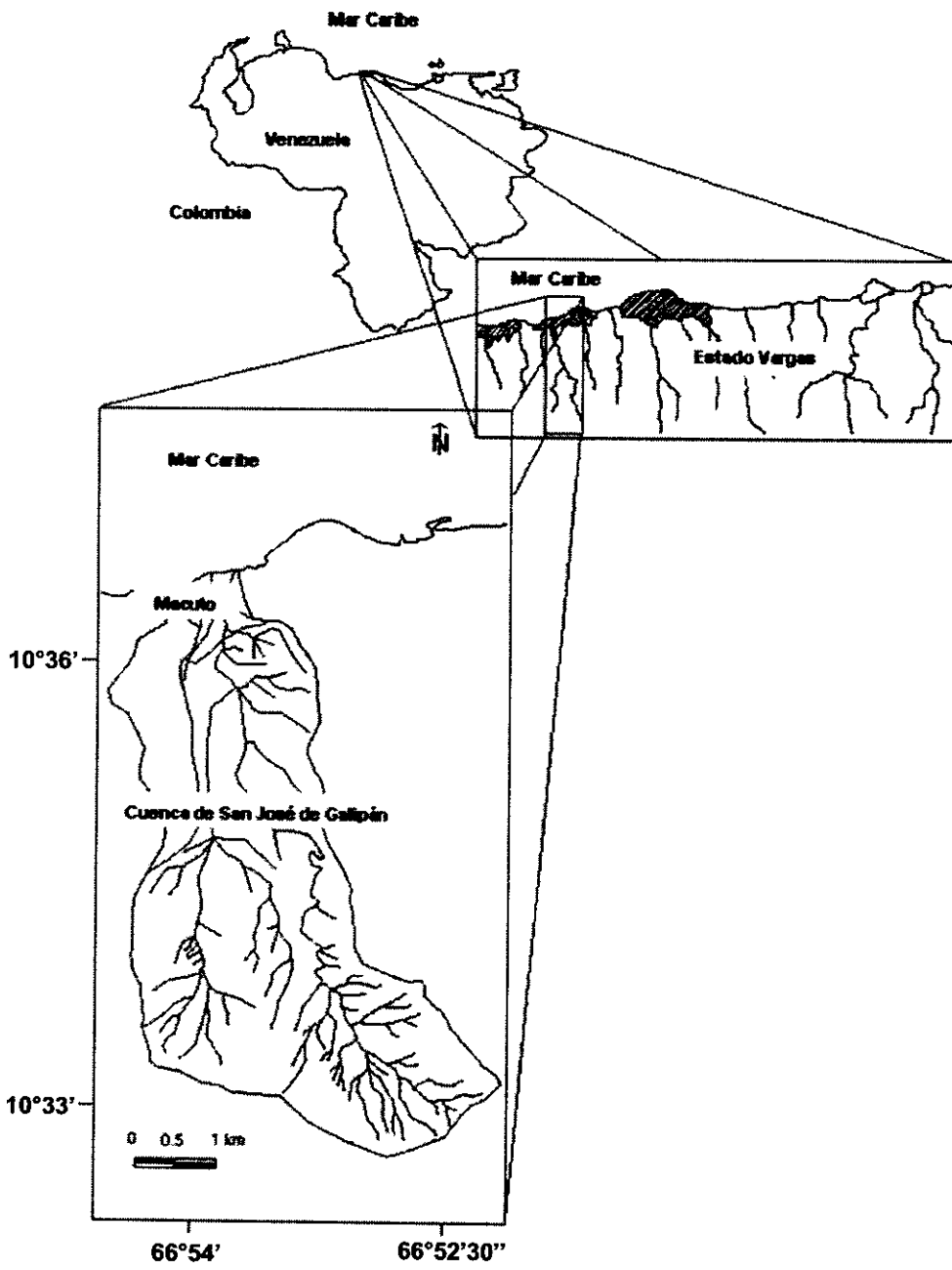
Zona	Valor ZAD	Descripción de la zona
I	< 3,5	Amenaza muy baja
II	3,5 a 5	Amenaza baja
III	5,1 a 6	Amenaza moderada
IV	6,1 a 7,5	Amenaza alta
V	> 7,5	Amenaza muy alta

2.2 Caso cuenca de San José de Galipán

Para poder aplicar la metodología expuesta anteriormente, se procedió a dividir la cuenca en 150 subáreas definidas por los taludes, cada uno de estos taludes se les aplico la evaluación por los factores de litología, relación estructural, morfometría de talud, relieve relativo, cobertura vegetal y las condiciones hidrogeológica del mismo. La evaluación y posterior sumatoria de los pesos de los factores fue realizada a través de ArcGIS de forma automatizada, ya que este programa SIG facilita la combinación de factores para generar un producto, que en este caso es el mapa de zonificación de amenaza por deslizamiento

2.2.1 Localización de la cuenca de San José de Galipán

La cuenca de San José de Galipán esta ubicada al norte de Venezuela en el Estado Vargas dentro de la Cordillera de La Costa. La cuenca tiene un área de aproximadamente 15 km², sus limites geográficos son, al norte el Mar Caribe, al sur la fila de la Cordillera de La Costa, al este la cuenca de Quebrada El Cojo y al oeste la cuenca de la Quebrada Alcantarilla. En el cono de sedimentos que genera la cuenca de San José, esta asentada la población de Macuto.



2.2.2 Condiciones climáticas

El clima en la cuenca de San José de Galipán varía según la altitud, encontrándose de esta manera tres pisos climáticos. Entre los 0 a 600 m s.n.m. la humedad es baja con una temperatura promedio de 27°C, en este piso climático se tienen las mediciones pluviométricas de la estación Naiquatá – al este de la cuenca –, siendo la media mensual de 51 mm, teniendo un máximo en el mes de diciembre de 107 mm y en mayo su mínimo con 25 mm (MARN 1999) correspondiente al período de 1951 a 1997. El piso intermedio entre las cotas de 600 a 1.500 m s.n.m la temperatura promedio fluctúa de 18 a 21°C. El último piso 1.500 a 2.000 m s.n.m. las temperatura varian entre 13 a 18°C.

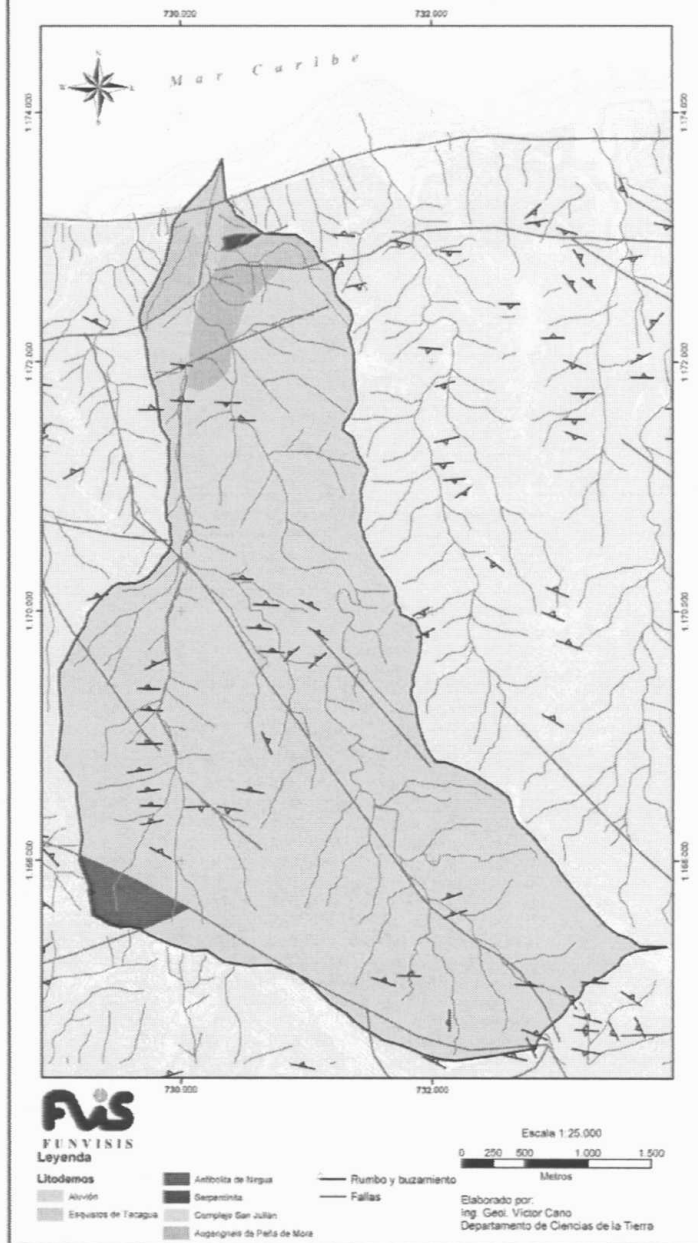
2.2.3 Geología y estructura

La litología expuesta en la parte media y alta de la cuenca de San José de Galipán corresponde al Complejo de San Julián y a la Asociación Metamórfica Ávila. En la parte baja de la cuenca la geología esta integrada por el Esquisto de Tacagua, ambas unidades metamórficas – Complejo de San Julián y Esquisto de Tacagua – se yuxtaponen por la falla de Macuto.

Estructuralmente la cuenca presenta dos familias de falla, una E-W y otra N40W. La familia E-W esta integrada por la Falla de San Sebastián ubicada en el límite norte y la Falla de Macuto a 300 m de altitud aproximadamente. Las fallas N40W tienen su mejor representante en la Falla de Chacaito, la cual es responsable del patrón del drenaje en la parte media y alta de la cuenca.

La Falla de San Sebastián es la más importante dentro de sistema estructural de la cuenca, debido a su movimiento transcurrente dextral, genera todo el patrón de fracturamiento y diaclasamiento (discontinuidades) del área. Usando los mapas geológicos de la cuenca a escala 1:25.000 se realizó la relación entre las discontinuidades estructurales y los taludes

Mapa Geológico - Estructural

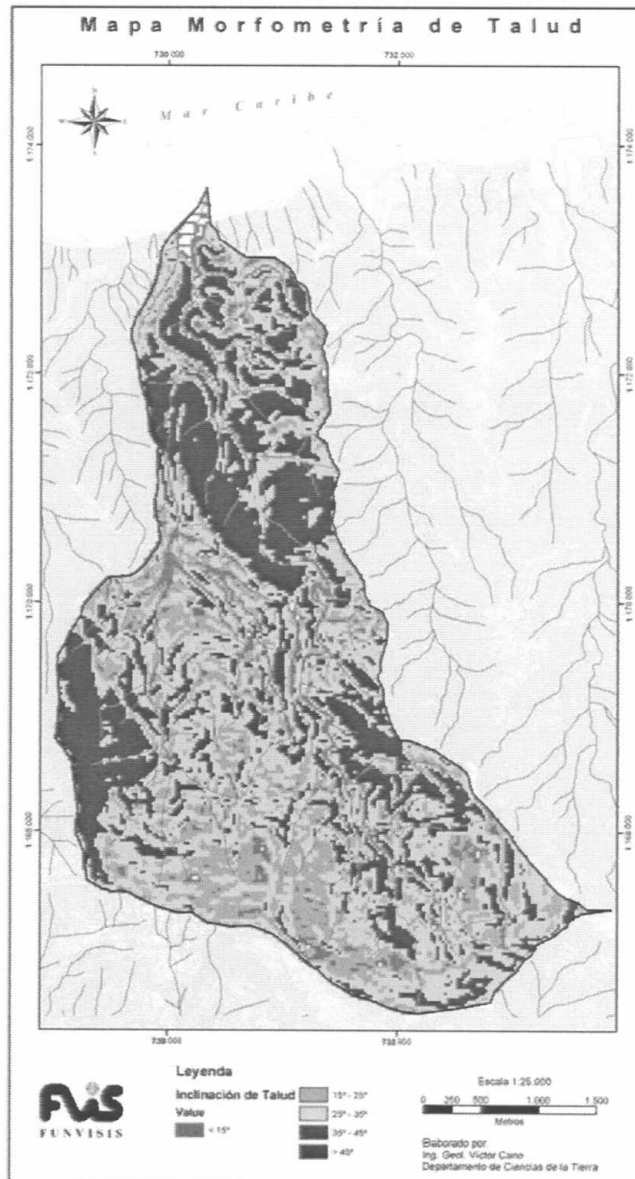


2.2.4 Morfometría de talud

De acuerdo a ANBALAGAN & SING (2001), existe una relación directa entre la frecuencia de ocurrencia para diferentes ángulos de buzamiento de los taludes en cualquier área y su historia geomorfológica, ya que este ángulo en cualquier unidad, refleja una serie de procesos micro-morfológicos y controles impuestos en ese plano. Para el estudio de las mismas se han clasificado en:

Pendiente de la ladera	> 45°	45° - 35°	35° - 25°	25° - 15°	< 15°
Clasificación	Escarpe o acantilado	Pronunciado abrupto	Moderadamente abrupto	Suave	Muy suave

La cuenca de San José de Galipán varía en altura desde los 0 a los 1.900 m s.n.m. (Picacho de Galipán). Desde los 300 m a los 1.600 m la topografía tiene un ángulo moderado. Sin embargo, en muchas áreas las diferencias de nivel superan los 60 m de altura, generando acantilados. La determinación de este ángulo se realizó con una rutina de ArcGIS 8 a partir del mapa topográfico 1:25.000 de la cuenca.



2.2.5 *Relieve relativo*

Para el cálculo de este factor la cuenca se dividió en 482 cuadrados de 1 centímetro por 1 centímetro, los cuales representa 175 m² en la escala del mapa. Luego de realizar este

procedimiento se calculó el relieve relativo en base a la escala: bajo (<100 m), medio (101 – 300 m) y alto (>300 m).

2.2.6 Condiciones hidrogeológicas

El drenaje de la zona en una sub-cuenca del Litoral venezolano. La cuenca de San José de Galipán cuenta con una extensión de 15 km² aproximadamente, cuyo sistema de drenaje presenta un patrón dentritico en la parte alta de la cuenca, mientras que en la zona baja, presenta un patrón sub-paralelo oblicuo. Los drenajes principales se conocen con los nombres de Quebrada San José de Galipán, Quebrada los Perros, Río Escondido y Río Macuto. Estos drenajes tienen agua durante todo el año.

Los ríos en la parte alta de la cuenca viajan por valles estrechos y pendientes pronunciadas. En la parte baja, cerca del nivel del mar, los ríos tienen un área abierta y menos abrupta, por consecuencia se generan los depósitos sedimentarios típicos de los abanicos aluviales. Para tener un mejor estudio de las condiciones hidrológicas de la zona es necesario realizar una investigación detallada del comportamiento del agua subterránea.

Mapa Hidrológico

