

**Análisis de susceptibilidad territorial a
movimientos de masa en el municipio de San
Antonio de Oriente, Honduras**

Luis Ernesto Pineda Salazar

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2017

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA EN AMBIENTE Y DESARROLLO

Análisis de susceptibilidad territorial a movimientos de masa en el municipio de San Antonio de Oriente, Honduras

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Ambiente y Desarrollo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Luis Ernesto Pineda Salazar

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2017

Análisis de susceptibilidad territorial a movimientos de masa en el municipio de San Antonio de Oriente, Honduras

Luis Ernesto Pineda Salazar

Resumen. La susceptibilidad de un territorio está determinada por la propensión de sus características locales específicas y factores intrínsecos a la ocurrencia de fenómenos potencialmente dañinos. El presente estudio analizó la susceptibilidad del municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras, a procesos de movimientos de masa, también llamados deslizamientos. Los objetivos fueron clasificar el territorio de estudio según su nivel de susceptibilidad y hacer un análisis específico de susceptibilidad para asentamientos humanos y redes viales. Para ello se realizó un inventario de los movimientos existentes en el área de estudio. Estos fueron clasificados de acuerdo a criterios técnicos incluidos en una guía y ficha técnica de campo. Adicionalmente, utilizando los sistemas de información geográfica, criterio de experto y revisión de literaria se realizó un análisis heurístico con el fin de evaluar la distribución espacial de los factores biofísicos del territorio que influyen en estos procesos. Se identificaron quince movimientos de masa cuyo factor desencadenante predominante fueron los eventos de precipitación extrema, especialmente el huracán Mitch (1998). Como resultado del análisis heurístico se clasificó el municipio como una susceptibilidad media a movimientos de masa; lo mismo ocurre en los asentamientos humanos, que no indican condición crítica inmediata. Sin embargo, las redes viales presentan una situación de mayor preocupación, en especial por su cercanía a movimientos de masa actualmente activos. Esta condición causa un aumento en la vulnerabilidad del territorio y amenaza una vía de comunicación de importancia regional.

Palabras clave: Deslizamientos, riesgo, Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Abstract. The susceptibility of a given territory is determined by the proclivity if its specific characteristics and intrinsic factors to a given phenome with potential harmful effects. The present study analyzed the territorial susceptibility of San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras, to mass movements, also called landslides. The objectives were to classify the territory according to its susceptibility and to analyze the specific susceptibility of human settlements and road network. With this purpose, an inventory was made of all the historical and present process of mass movements in the study area. Field data was collected including technical information and characterization of the mass movements. Additionally, a geographic analysis was made to evaluate the distribution in the territory of the biophysical factors that have an influence on the occurrence of these processes. Fifteen mass movements were identified in territory and extreme precipitation events was identified as the overwhelmingly dominant trigger factor, specifically the Mitch hurricane (1997). The result of the heuristic analysis classifies the whole territory in five categories according to their susceptibility to mass movements. In general, the territory has a medium susceptibility to mass movements, same as human settlements, which indicates no immediate critical condition. Nevertheless, the road network has a special concern situation due to their proximity to currently active mass movements. This condition increases the vulnerability of the whole territory and threatens a communications channel of regional importance.

Key words: Geographical Information Systems (GIS), hazard, landslides.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. METODOLOGÍA.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4. CONCLUSIONES	32
5. RECOMENDACIONES.....	33
6. LITERATURA CITADA	34
7. ANEXOS	41

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Metodologías para el análisis de susceptibilidad a movimientos de masa según escala de trabajo.	5
2. Unidades geológicas presentes en el municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.	7
3. Usos y coberturas del Municipio San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.	12
4. Descripción de niveles de susceptibilidad a movimientos de masa.	15
5. Resumen de las fuentes de información de factores y otros datos geográficos considerados en la elaboración de la matriz multifactorial del análisis heurístico de susceptibilidad del municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.	16
6. Matriz multifactorial según niveles de susceptibilidad y pesos para el análisis heurístico de los movimientos de masa en el municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.	17
7. Resumen del inventario de movimientos de masa del municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.	23
8. Áreas en hectáreas y porcentajes de distribución por microcuenca del municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.	28
Figuras	Página
1. Ubicación geográfica del municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.	3
2. Diagrama del flujo del proceso de análisis heurístico y de proximidad.	14
3. Descripción gráfica del proceso de análisis heurístico de susceptibilidad mediante superposición ponderada de capas.	19
4. Mapa de ubicación del inventario de movimientos de masa ocurridos en el municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.	24
5. Mapa de susceptibilidad a movimientos de masa del municipio San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.	25
6. Gráfico de densidad de movimientos de masa (MM/km ²) por nivel de susceptibilidad del área de estudio.	26
7. Porcentaje de distribución de área por nivel de susceptibilidad y población total por aldea del municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.	27

8. Ubicación geográfica de las microcuencas del municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.....	29
9. Distribución porcentual del área por nivel de susceptibilidad y área (ha) de cada una de las microcuencas del municipio San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.....	30

Anexos	Página
1. Guía de clasificación de movimientos de masa elaborada para el levantamiento de campo en el municipio de San Antonio de Oriente, Honduras.....	41
2. Ficha Técnica de levantamiento de datos de campo para el inventario de movimientos de masa.	45
3. Información técnica del inventario movimientos de masa de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.....	49
4. Información técnica de puntos de información clave de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.....	51
5. Base de datos de consolidado de profundidades de suelo del municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.....	52

1. INTRODUCCIÓN

El riesgo de un país o sistema en general es definido como la probabilidad de acaecimiento de un suceso o evento peligroso tomando en cuenta sus posibles impactos en consideración de las características propias del sistema. El riesgo se conforma de tres elementos básicos: peligro, exposición y vulnerabilidad (Field et al., 2014). El peligro está constituido por la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente nocivo. El elemento de exposición está determinado por la presencia de personas, comunidades o sistemas en un entorno con potencial de verse afectado por una amenaza (Bohórquez, 2013).

El último elemento es la vulnerabilidad. Este se refiere a la “propensión o predisposición a ser afectado negativamente” (Field et al., 2014, p. 5) y engloba una variedad de conceptos o elementos con los cuales se construye. La vulnerabilidad de un sistema o comunidad está condicionada por tres componentes básicos: a) Susceptibilidad del mismo a efectos dañinos de una amenaza b) Adaptación del sistema a los fenómenos que lo amenazan y c) Resiliencia o capacidad de respuesta ante un evento y recuperación de los daños por el mismo (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres [UNISDR], 2009).

Centroamérica y el Caribe es la región con mayor riesgo relativo a fenómenos naturales del continente americano. Honduras ha sido clasificado por diversos estudios como uno de los países más vulnerables a fenómenos naturales en el mundo y el más afectado de dicha región (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente [SERNA], 2010; Suárez y Sánchez, 2012). En Centroamérica predominan considerablemente las inundaciones, tormentas, y deslizamientos, que representa en conjunto el 85% de los fenómenos de la región. Honduras ha padecido 62 de 291 eventos extremos asociados a fenómenos climáticos registrados entre 1930 y 2011 en la región con una tendencia de aumento entre un 5 y 10% en la intensidad de los mismos (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2012).

A pesar de la reiterada incidencia de desastres ocasionados mayormente por fenómenos hidrometeorológicos en Honduras se carecía, hasta la última década, de una política clara de gestión de riesgos a nivel nacional. Históricamente los esfuerzos se han enfocado predominantemente en el fortalecimiento de las capacidades de recuperación temprana, refuerzo de las instituciones de respuestas y su coordinación.

El interés hacia la gestión de riesgo se ve impulsado no únicamente por razones humanitarias, sino también por un componente eminentemente económico. Se estima que en las últimas tres décadas las pérdidas económicas debido a eventos hidrometeorológicos del país rondan los 4,700 millones de dólares, la mitad de las pérdidas registradas en la región (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2011). Esto ha generado reiteradas crisis que se traducen en altos costos para las instituciones de socorro, elevadas inversiones de recuperación de infraestructura y pérdidas millonarias en

cultivos agrícolas. Sin embargo, las consecuencias de estos fenómenos han trascendido el ámbito económico, profundizando en complejos fenómenos sociales, incrementando considerablemente indicadores nacionales de pobreza y acrecentando los procesos de emigración en la región (Riesgo y Desalio Humano [RyDH], s.f.).

En el año 2009 mediante la entrada en vigencia de la Ley del Sistema Nacional de Riesgo (SINAGER) se propuso un enfoque orientado al desarrollo de la capacidad de “prevenir y disminuir los riesgos de potenciales desastres, además de prepararse, responder y recuperarse de los daños provocados por los fenómenos naturales” (SINAGER, 2009, p. 2). Con esta ley se atribuyen nuevas funciones a la Comisión Permanente de Contingencias (COPECO) como la “institución consolidada para la coordinación eficaz del SINAGER, contribuyendo al desarrollo equitativo y sostenible del país” (COPECO, s.f., p. 1).

En Honduras, a nivel general se han dado los primeros pasos en la elaboración de planes de gestión de riesgos a nivel municipal, alcanzando casi la totalidad del país. Sin embargo, estos proyectos, llevados a cabo por organizaciones internacionales, en la mayoría de los casos carecen de seguimiento oportuno. Según la Secretaría de Gobernación y Justicia de Honduras [SGJ] (2009), la implementación de los planes de gestión de riesgos es mínima y en pocas ocasiones son usados como documentos de consulta en procesos de ejecución de obras por la administración gubernamental.

La caracterización y categorización de los territorios según su susceptibilidad a amenazas ambientales constituye una fase vital en los procesos de planificación de desarrollo. La susceptibilidad territorial de un área geográfica específica puede ser derivada en los diversos fenómenos que pueden afectarla. Por ello, resulta una prioridad la planificación del ordenamiento territorial basada en estudios que consideren las condiciones locales del territorio y su relación con cada uno de estos fenómenos como parte del proceso de gestión integral de riesgo de dichos territorios (Bohórquez, 2013).

Una de las amenazas más comunes en la región son los deslizamientos, aluviones y derrumbes. Todos estos son denominado de manera general movimientos de masa y se definen como una “diversidad de procesos que resultan en el movimiento descendiente y externo de los materiales que conforman la ladera incluidos el suelo, rocas, rellenos artificiales y la combinación de los mismos” (Cruden y Varnes, 1996, p. 2). Estos procesos responden a características del terreno y factores geomorfológicos y topográficos que determinan sus distribución espacial y ocurrencia (Rubiano y Ramírez, 2009).

El presente estudio se limita a la aplicación de un análisis espacial de susceptibilidad a movimientos de masa en el municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras. Los objetivos fueron:

- Categorizar el área geográfica del municipio de San Antonio de Oriente según su nivel de susceptibilidad a movimientos de masa;
- Comparar los resultados del análisis espacial de susceptibilidad con el inventario de movimientos de masa ocurridos en la zona de estudio; y
- Efectuar un análisis de proximidad entre las áreas de mayor susceptibilidad y los principales asentamientos humanos y redes viales del municipio.

2. METODOLOGÍA

Área de estudio.

El estudio se realizó en el municipio de San Antonio de Oriente, ubicado en la región sur del departamento de Francisco Morazán (**Error! Reference source not found.**). Limita con los municipios de Valle de Ángeles al norte, Güinope y Maraita al sur, con Morocelí y Yuscarán al este y al oeste con el Distrito Central y Tatumbla. En el 2015, se reportó una población de 15,565 habitantes, distribuidos en 13 aldeas y 83 asentamientos humanos en un área total de 227.3 km² (Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre [ICF], 2015).

En el centro del territorio se extiende una planicie o valle, en el cual se encuentra ubicada la mayor parte de la zona urbana, rodeado por una topografía montañosa considerablemente escarpada. Las elevaciones oscilan entre los 550 y 2,250 msnm y alrededor del 62% de su territorio posee una pendiente entre el 15 y 45% (ICF, 2015). La red hídrica del municipio está formada por más de 30 ríos y quebradas permanentes que conforman 20 microcuencas tributarias del Río Yeguaré, mismo que atraviesa el municipio por la zona central.

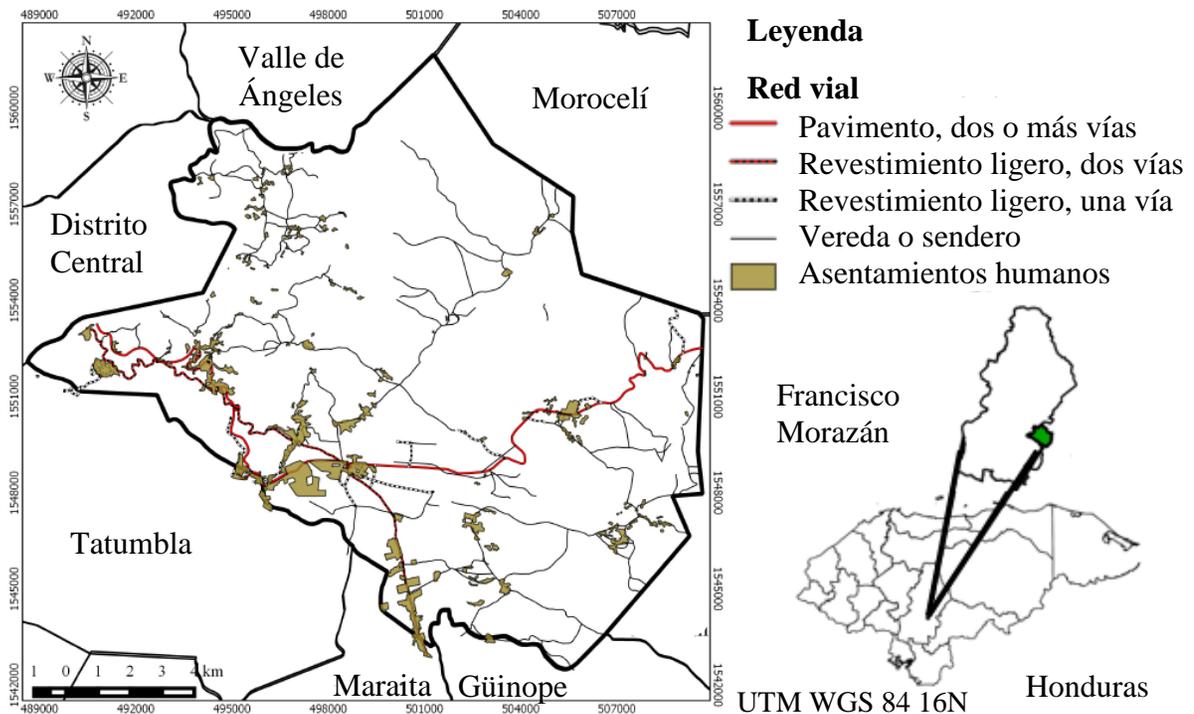


Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.

Susceptibilidad territorial.

La susceptibilidad de un territorio se define como el nivel de predisposición de un espacio geográfico definido a que un evento específico (negativo) ocurra (Bohórquez, 2013). Las condiciones locales del terreno determinan qué tan propenso es el mismo a la ocurrencia de procesos específicos. En general se expresa como “la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales” (Suarez, 1998).

La susceptibilidad, por lo tanto, es independiente para cada proceso específico como inundaciones, sequías o movimientos de masa. La unión de estas susceptibilidades permite establecer la tendencia del territorio a hallarse bajo la influencia de estos procesos (Obregón, Christian, Lara y Julio, 2013; Villacorta, Fidel y Zavala, 2012). Esta unión, a pesar de ser elementos independientes, es clave al momento de determinar la vulnerabilidad global del sistema.

El análisis de susceptibilidad del presente proyecto fue elaborado a partir de la adaptación de los criterios propuestos por COPECO para el mismo. Adicionalmente se consideró la guía de Criterios para la Evaluación de Amenazas por Deslizamientos e Inundaciones en Honduras elaborada como parte del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (Bohórquez, 2013). En Honduras, estos criterios son aplicados en el marco de la Ley del Sistema Nacional de Gestión de Riesgos (2009) y la Ley de Ordenamiento Territorial (2003).

Análisis de susceptibilidad a movimientos de masa.

La susceptibilidad de un territorio a movimientos de masas es la tendencia de un deslizamiento a ser generado en un área de acuerdo a las condiciones locales y factores intrínsecos de inestabilidad del terreno (Aristizábal y Yokota, 2006). Se basa en la delimitación de la distribución espacial de factores relacionados con los procesos de inestabilidad, para obtener una zonificación de áreas propensas a los movimientos de ladera. Para este análisis no se consideran factores extrínsecos al terreno, como condiciones temporales o factores detonantes por lo que no se derivan implicaciones temporales. Sin embargo, la susceptibilidad de un terreno no es estática ya que se encuentra sujeta a dichos factores y a la variación de los mismos en el tiempo (Chacón, 2008; Chacón, Irigaray, Fernández y El Hamdouni, 2006).

Al estudiar las condiciones y características intrínsecas de un espacio geográfico es posible identificar aquellas condiciones que provocan inestabilidades del territorio. De esta caracterización es posible establecer ciertos grados de estabilidad del terreno a través de procesos cuantitativos o semi-cuantitativos (Varnes, 1984). Además, se debe considerar que la complejidad de este tipo de procesos resultante de la interacción entre factores geomorfológicos, antrópicos y fenómenos temporales interfiere en la interpretación y estimación de las relaciones (Carrara, Cardinali, Guzzetti y Reichenbach, 1995).

Existen cuatro métodos principales para el análisis de susceptibilidad a movimientos de masa: ocurrencia histórica, análisis heurístico, estadístico y el método determinístico. Cada uno de ellos posee características específicas que se puede aplicar a distintos escalas de estudio y se definen en el Cuadro 1 a continuación:

Cuadro 1. Metodologías para el análisis de susceptibilidad a movimientos de masa según escala de trabajo.

Metodología de Análisis	Descripción	Escala General (1:25,000)	Escala Intermedia (1:10,000)	Escala de detalle (1:2,000)
Ocurrencia histórica	Zonificación directa a partir de un registro de inventario de movimientos de masa.	3	3	2
Análisis Heurístico	Análisis cualitativo o semi – cuantitativo, combinación de factores a partir del criterio de expertos y literatura.	3	2	1
Análisis Estadístico	Método matemático indirecto utilizado análisis estadísticos de algunos factores para la zonificación de la amenaza.	1	3	2
Método Determinístico	Método de análisis de las relaciones de esfuerzo deformación o equilibrios límites.	1	2	3

1=No usado; 2=Uso limitado; 3=Muy útil

Fuente: Adaptado Rubiano y Ramírez, 2009, p. 32.

El método de análisis seleccionado en este estudio fue el heurístico en consideración de la escala general del mismo y la disponibilidad de información acerca del área geográfica. Además, se complementó y validó el proceso mediante criterios históricos de inventario de movimientos de masas del municipio. Por la escala del estudio (1:50,000) no era recomendable la aplicación de otros modelos, ya que hubiera resultado en una correlación inexacta de los factores considerados (Masgrau y Lluís, 2004; Rubiano y Ramírez, 2009). Los factores considerados en el modelo de susceptibilidad del análisis heurístico para la matriz de evaluación multicriterio son las unidades geológicas, fallas, puntos de intersección, pendiente, profundidad de suelo, usos y coberturas y zonas de acumulación de húmedas. Sin embargo, es necesario iniciar por la descripción de lo encontrado en campo.

Inventario de movimientos de masa. Un inventario de deslizamientos o movimientos de masa histórico es aquel que reúne “la suma de múltiples eventos de deslizamientos en períodos de décadas, siglos o incluso miles de años” (Malamud, Turcotte, Guzzetti y Reichenbach, 2004, p. 687). Un mapa de movimientos de masa busca expresar los conocimientos recopilados de los procesos de deslizamiento de una zona. El mismo debe contener la ubicación y clasificación de los mismos (gran escala) y la forma del contorno y área que ocupan (pequeña escala) (Chacón et al., 2006).

Los inventarios y mapeos de movimientos de masa son clave para llevar a cabo procesos de análisis de distribución y determinación de grados de susceptibilidad relativa y como método de corroboración de mapas de susceptibilidad de un territorio (COPECO, 2003; Moreiras, 2005). El estudio de las dinámicas del suelo y movimientos previos brindan indicaciones de comportamientos probable de futuros procesos del suelo para la evaluación de susceptibilidad (Moreiras, 2005).

Se elaboró una Guía de Clasificación de Movimientos de Masa para el levantamiento del inventario de movimientos de masa del presente estudio. Dicha guía se basó en los lineamientos del Manual de Recomendaciones Técnicas para Mapeo de Movimiento de Laderas (RyDH, COPECO, COSUDE y PNUD, 2013b). La terminología utilizada en dicha guía fue alineada al sistema de clasificación Cruden y Varnes (1996) y su actualización por Hungr, Leroueil y Picarelli (2014).

Durante los meses de abril a julio del 2017 se llevaron a cabo varias jornadas de levantamiento de datos en campo utilizando una ficha técnica para identificar, clasificar y describir los movimientos de masa históricos localizados en la zona. Los movimientos fueron identificados durante recorridos generales de la zona y consultas a pobladores, trabajadores y actores claves. La información fue complementada mediante la consulta con pobladores y productores de la zona para un mayor detalle y respaldo de la misma. Esta información fue procesada y compilada en una base de datos única.

Posteriormente se procedió a la ubicación de cada movimiento de masa de acuerdo a sus coordenadas céntricas utilizando el programa ArcGIS 10.4[®]. Como complemento de esta información también se dataron, registraron y ubicaron en el mapa puntos de información clave como relieve, uso de suelos y si existe actividad de proceso geológicos exógenos. Estos puntos de información son sitios en los cuales no existen movimientos de masa presentes o pasados, pero se levantan y registran los datos para cubrir de forma homogénea el área de estudio.

Unidades geológicas. El estudio de las variables geomorfológicas de un terreno incluye las “formas de la superficie de la tierra, su origen, procesos involucrado en su desarrollo, propiedades del material conformante y predicciones acerca de su futura forma, comportamiento y estado” (Brunsden, 2002, p. 101). Estos parámetros son considerados componentes esenciales para entender y estudiar la dinámica de la superficie terrestre. Los movimientos de masa suelen ser la fase final, o movimiento súbito, de un proceso de “modificación del terreno dentro del ciclo geomorfológico continuo del terreno” (Aristizábal y Yokota, 2006, p. 7).

La información litológica de acuerdo a las condiciones regionales y locales de estabilidad del terreno es esencial para la caracterización de los factores cuasi-estáticos y es una de las más importantes para analizar la distribución espacial de la ocurrencia de estos fenómenos (Bohórquez, 2013; Moreiras, 2005). Esta información es utilizada por diversos estudios para la categorización del territorio en grados de estabilidad (COPECO, 2003; González, Ibañez y García, 2013), como factor condicionante de ocurrencia (Harp, 2002; Villacorta et al., 2012) o factor de riesgo (Harp, 2002; Varnes, 1984) y como parámetro para métodos de análisis estadísticos (Malamud et al., 2004; Westen, Montoya y Vargas, 2003).

La correcta aplicación del estudio geológico incluye un mapeo básico de las unidades geológicas de la zona complementado por una caracterización de las mismas enfocada en la estabilidad relativa y susceptibilidad a activar procesos geomorfológicos (Dahal et al., 2008). Una profundización del mismo debe subdividir dichas formaciones en unidades litológicas que incluyen la “composición, estructura, textura y otros atributos físicos y químicos que determinen el comportamiento de las rocas y suelo” (Varnes, 1984, p. 12). Esta caracterización permite una zonificación el área estudiada en razón de su estabilidad e influencia de factores relacionados a los procesos geológicos exógenos.

Las unidades geológicas para el municipio de San Antonio de Oriente fueron cartografiadas directamente del Mapa Nacional de Geología (Servicio Geológico de los Estados Unidos [USGS], 2000) utilizando el programa ArcGIS 10.4[®]. El municipio está conformado por seis unidades geológicas de las cuales la principal es Padre Miguel (70% del territorio), seguida por la formación del grupo Valle de Ángeles y depósitos aluviales cuaternarios (10% c/u aprox.) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Unidades geológicas presentes en el municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.

Simbología	Período	Descripción	Área (%)
Npm	Neógeno	Grupo Padre Miguel: conjunto de tobas, ignimbritas, algunas rocas sedimentarias de clastos volcánicos y riolitas indifenciadas	70.14
Qal	Cuaternario	Aluvión del cuaternario: terrazas y depósitos antiguos de arenas, lutitas, gravas derivados de ignimbritas tobas y basaltos	13.33
Kvv	Cretácico	Grupo Valle de Ángeles, formación Villa Nueva: estratos siliciclásticos de grano grueso conglomerado de cuarzo y clastos de rocas areniscas de color rojo claro hasta café.	10.45
Qt	Cuaternario	Aluvión del cuaternario: terrazas y depósitos recientes de arenas, lutitas, gravas derivados de ignimbritas tobas y basaltos	4.91
Qb	Cuaternario	Nivel de colocadas volcánicas intermedias y básicas con predominio de basalto	0.62
Kt	Cretácico	Capas rojas: Areniscas y conglomerado, limolitas micáceas café rojiza y arenisca arcillosa de grano fino	0.35
S	-	Escombros de deslizamientos de tierra	0.21

- = No aplica

Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) 2000.

A cada una de las unidades se les asignó una categoría específica de susceptibilidad de acuerdo a sus características intrínsecas. Esta categorización responde a un conocimiento del área de estudio y de los rangos distintivos de estas unidades de un experto geólogo. La diferencia en susceptibilidad depende mayormente de los materiales que componen a dichas unidades y su estructura, las cuales, le proporcionan cierta resistencia diferenciada a tensiones de cizallamiento y propensión a rupturas.

Fallas geológicas. La actividad sísmica de la región estudiada suele considerarse como un potencial factor desencadenante de los movimientos de masa. Un proceso sísmico puede activar una falla o inestabilidad del talud pre-existente causando un movimiento súbito. Por ello los mismos son considerados usualmente como variables dinámicas o detonantes de deslizamientos en los modelos de predicción de ocurrencia de movimientos (Aristizábal y Yokota, 2006; Chacón, 2012). Sin embargo, la susceptibilidad de áreas con alta densidad de fallas geológicas puede aumentar considerablemente debido a los procesos de sacudida que causan cambios en la estructura de los materiales (Cruden y Varnes, 1996).

Las potenciales deformaciones del terreno generadas por ondas sísmicas pueden conducir a un proceso de licuefacción o dilatación de material del suelo, aumentar la infiltración, o afectar la resistencia al cizallamiento del mismo (Chacón, 2012; Cruden y Varnes, 1996). Una constante actividad sísmica tiende a aumentar el esfuerzo cizallante de la tierra, disminuye la resistencia por aumento de presión de poros y genera deformaciones internas que pueden producir otros procesos posteriores. Este efecto se ve acentuado en caso de fallas de constante actividad, mayor densidad de fallas en un área y mayor cantidad de puntos dinámicos de intersección entre fallas (Suarez, 1998).

Este proceso sísmico constante modifica la interpretación de la sismicidad desde una perspectiva clásica, como fuerza detonante de los eventos, a considerarla un factor cuasi-estático que modifica la susceptibilidad general del área. Se considera que las fallas pueden generar una zona de debilidad de varios metros de diámetro a su alrededor o incluso en un área en general. Esto depende en gran medida de la actividad y tipo de falla, así como de la densidad y puntos dinámicos de intersección entre las mismas. Esto ha sido comprobado al comparar una mayor concentración en la distribución de los movimientos de masa alrededor de las áreas de delineamiento de las mayores fallas (Pachauri, Gupta y Chander, 1998; Suarez, 1998).

En el presente estudio se utilizaron las fallas geológicas cartografiadas en el Mapa Nacional de Geología (USGS, 2000). La información se procesó en el programa ArcGIS 10.4®. Primero se identificaron de manera manual los puntos de intersección dinámicos entre las fallas contenidas en dicha base de datos. A continuación se consideraron zona de influencia de 200 m alrededor de las fallas y de 300 m alrededor de los puntos de intersección. Para ello se utilizó la herramienta de análisis espacial distancia euclidiana que crea una capa ráster con información de la distancia horizontal de cada pixel respecto a los elementos seleccionados. Luego, esta capa fue reclasificada para pasarla de una variable continua a una discreta en rangos específicos de influencia. El proceso se hizo para ambas variables (fallas y puntos de intersección) y cada variable fue considerada de manera independiente en el análisis heurístico.

Pendiente. Los Modelos Digitales de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés) son representaciones topográficas de la superficie de la tierra. De ellos se deriva información clave como las alturas, pendientes, aspectos del relieve y se pueden obtener otras variables para análisis de flujos hidrológicos entre otros. Estos y otros parámetros derivados de los DEM son utilizados para el modelaje geomorfológico e hidrológico (Huabin, Gangjun, Weiya y Gonghui, 2005).

En el presente estudio las altitudes se extrajeron de las curvas a nivel digitalizadas en las Hojas Cartográficas de 1:50,000 correspondientes al municipio y a una diferencia de niveles de 20 msnm (IGN, 1993). Los procesos de derivación de DEM y cálculo de la pendiente y otros procesos de manejo de la información se realizaron en el programa ArcGIS 10.4®.

La pendiente es uno de los componentes esenciales de un análisis de movimientos de masas y susceptibilidad territorial. Al aumentar la pendiente aumenta el estrés de cizallamiento del suelo u otro material no consolidado (Lee, Li, Xu y Dai, 2001). Este es uno de los factores de mayor peso en la cuantificación de la inestabilidad del talud ya que afecta la acumulación de humedad a nivel de la presión de los poros, determina la continuidad de los flujos hidrológicos y magnifica el efecto de la fuerza de gravedad sobre el talud (Ayalew y Yamagishi, 2005; Lee, Ryu, Won y Park, 2004).

El análisis de susceptibilidad territorial requirió de una zonificación del área de estudio en categorías según rangos específicos de pendientes. Estas categorías representan en sí los distintos grados de susceptibilidad causados por dicha pendiente (Chacón et al., 2006). No existen rangos establecidos de clasificación ya que cada uno responde a condiciones locales del terreno. Por ello, la clasificación de pendientes se debe realizar específicamente para el área de estudio basándose en la ocurrencia de movimientos de masa en dicha área (Moreiras, 2005).

A partir del DEM específico del municipio se procedió a hacer un cálculo de pendientes mediante la herramienta de análisis espacial de superficie de ArcGIS®. Este proceso dio como resultado un ráster de pendientes como variable continua, las cuales se reclasificaron en rangos. Esta clasificación consideró las susceptibilidades de cada uno de los rangos de pendiente, por lo que para estimar dichos rangos se utilizó el criterio técnico de los asesores consultados y una confrontación de las propuestas de categorización con la distribución de los movimientos de masa ocurridos en el municipio.

Profundidad de suelos. Todo proceso de evaluación de territorio incluye además de las variables geológicas, fisiográficas y climáticas un componente básico de la edafología del mismo (Andrade, Briceño, Erasmi, Kappas y Unda, 2010). Las características del suelo (profundidad, tipo, materiales, estructura, permeabilidad y drenaje) son otras de las variables intrínsecas del terreno que deben considerarse para determinar la susceptibilidad a movimientos de masa de un terreno (Barrera, Rivera y Cadena, 2015; Dahal et al., 2008) Conocer estas características permite predecir de mejor manera el comportamiento futuro de los suelos ante eventos desencadenantes.

El factor de mayor peso en la determinación de la estabilidad del talud es la edad o génesis del suelo, la cual, muchas veces, es evaluada en relación con la profundidad de la capa de suelo maduro. Los materiales desarrollados poseen una estructura interna pobre y poco resistente a las tensiones que usualmente han sufrido proceso de deterioro a lo largo de un tiempo determinado. En cambio suelos jóvenes y compactos tienen una resistencia al cizallamiento mayor (Anbalagan, 1992; Wu y Sidle, 1995). Esto produce un incremento en la susceptibilidad de aquellas áreas conformadas, cuya profundidad y estructura ha llegado a un punto de madurez.

Por otro lado, eventos de remoción de suelo, como erosión extrema o deslizamientos, pueden remover la capa superficial del suelo hasta llegar al material parental. Esta pérdida del volumen de suelo produce un decrecimiento progresivo de las tasas de movimientos de masa al perderse el volumen de suelo necesario para su ocurrencia. Esto puede llevar al terreno a un período de tiempo llamado “inmunidad a deslizamientos” (Shimokawa, 1984). Posteriormente, al continuar el proceso pedogenético, el suelo se recupera y el terreno vuelve a ser susceptible a estos fenómenos (Trustrum y Rose, 1988).

La variable de profundidad de suelos se ha incorporado en estudios anteriores en modelos indirectos de determinación de la susceptibilidad. Estos modelos intentaron relacionar la profundidad con los flujos subterráneos del agua y estas las acumulaciones de agua en el terreno (Lanni, McDonnell, Hopp, y Rigon, 2013). Es común que las fallas que inician los movimientos del terreno se originen en la interface suelo – material parental. Este tipo de fallas ocurren con mayor probabilidad cuando la profundidad del suelo es menor a 1 m. Además, a medida aumenta la profundidad del suelo, la presión lateral se vuelve cada vez más importante ya que puede crear una inestabilidad si las fuerzas laterales cohesivas y de fricción no logran mantener la estructura del mismo.

La información de profundidad de suelos del municipio se obtuvo de una revisión exhaustiva de numerosas fuentes de datos disponibles como tesis, estudios, reportes y fuentes alternas de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano para establecer una base de coordenadas con dicha información (calicatas o mediciones de perfiles). Estos fueron compilados en una base de datos única con 151 puntos distribuidos en el municipio. La profundidad de suelos fue clasificada según los niveles establecidos por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) por aptitud de suelos en cinco categorías: I. Muy profundo (> 120 cm); II. Profundo (90 – 120 cm); III. Moderadamente profundo (60 – 90 cm); IV. Poco profundo (30 – 60 cm); y V. Superficial (< 30 cm).

Los puntos fueron convertidos en una capa tipo shapefile (shp) y utilizando el programa ArcGIS®, se llevó a cabo una interpolación mediante el método Kriging tipo ordinario esférico. En este proceso se utilizó el método de vecinos más cercanos con un máximo de ocho y un mínimo de cinco puntos conocidos. El resultado se obtuvo en un archivo tipo ráster con una resolución de 10 m. Posteriormente, se llevó a cabo un proceso de homogenización de las clases de suelos por tipo de profundidades utilizando los filtros siguientes:

- Filtro mayoritario: corrige/elimina píxeles aislados al compararlos con sus cuatro vecinos directos/contiguos. En caso de que el píxel se encuentre rodeado por más de la mitad de sus vecinos con un valor diferente, este es reemplazado por ese valor de la mayoría.
- Refinado de borde: ayuda a refinar los bordes irregulares entre zonas. Se utiliza en escalas relativamente grandes y en el mismo las áreas mayores se expanden sobre las menores para un posterior reemplazo de aquellos valores haciendo un análisis de vecinos contiguos.
- Posteriormente, la capa se transformó en un shapefile de polígonos homogéneos para realizar una limpieza y corrección final manualmente. En la misma se eliminaron polígonos aislados, o de información perdida y se suavizaron errores en los bordes o islas de polígonos.

Cobertura y uso de suelo. La influencia del uso y cobertura del suelo en la susceptibilidad territorial a procesos de movimientos de masa forma parte de un proceso complejo de múltiples componentes que incluyen una variedad de condiciones locales específicas como suelo, profundidad del suelo, tipo de vegetación y porcentajes de cobertura (Varnes, 1984). La vegetación interviene en numerosos factores entre los que se puede mencionar la intercepción de aguas lluvias, aumento de la capacidad de infiltración, aporte de tensión del sistema radicular sobre el suelo, disminución de erosión por retención de partículas y reforzamiento de la estructura del suelo (Suarez, 2009).

La estabilidad del talud también depende en gran medida de procesos relacionados con la vegetación. Entre los efectos de la vegetación en la estabilidad se incluyen el anclaje y estructuración de las partículas, disminución de la presión de poros (evapotranspiración) y el refuerzo mecánico de las raíces que aumentan la resistencia del suelo a cargas cizallantes (Barrera et al., 2015). Las plantas no solo proveen un sistema radicular que estabiliza los componentes del suelo, sino que la vegetación en general reduce el impacto de las fuerzas climáticas sobre el terreno (Dahal et al., 2008).

En consecuencia, los suelos completamente deforestados son más propensos a la ocurrencia de movimientos de masa en contraste con aquellas áreas con mayor vegetación (Anbalagan, 1992). Los procesos de reforestación o cambio de uso de suelo tienen secuelas inmediatas en el suelo como cambios en los procesos hidrológicos, infiltración y aumento de la erosión superficial. Esto conduce a una disminución considerable de la estabilidad morfológica del talud y a un aumento de ocurrencia de movimientos de masa en la zona (Suarez, 2009).

Un mapa de usos y coberturas del suelo de resolución detallada contiene datos indispensable para los procesos de elaboración de mapas de susceptibilidad de movimientos de masa (Bohórquez, 2013). Numerosos estudios utilizan esta información como uno de los factores para determinar la susceptibilidad específica de una zona a procesos que involucren la estabilidad relativa del talud (Reyes, Jiménez, Velásquez y Faustino, 2006; Salgado Montoya, 2005; Villacorta et al., 2012). Adicionalmente, es de importancia clave la inclusión de los procesos de minería llevados a cabo en la zona bajo análisis, así como procesos de tendencia de cambios de uso y cobertura en el suelo (Bohórquez, 2013).

La información utilizada en este estudio fue obtenida del Mapa de Usos y Coberturas elaborado por Velez (2013) para el municipio de San Antonio de Oriente. El mismo es una cartografía basada en una fotointerpretación y clasificación de imágenes satelitales Geoeye de 2.5 m de resolución a una escala de 1:50,000 con una Unidad Mínima Cartografiable (UMC) de 900 m². Se utilizó el tercer nivel de clasificación (mayor detalle), mismo que considera 17 categorías de usos y coberturas de la tierra (Cuadro 3).

Cuadro 3. Usos y coberturas del municipio San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.

Usos y Cobertura	Área (ha)	Área (%)
Bosques de pino ralo	12,669	59.84
Bosque de pino	2,078	9.82
Tierra arable permanentemente irrigada	1,333	6.30
Cultivos anuales	1,237	5.84
Matorrales	1,132	5.35
Asentamientos humanos discontinuos	812	3.84
Bosque latifoliado	609	2.88
Pastizales	446	2.11
Bosque mixto	262	1.24
Cultivos perennes/frutales en asociaciones	167	0.79
Unidades comerciales e industriales	135	0.64
Bosque seco	99	0.47
Agroforestería	80	0.38
Plantaciones forestales	42	0.20
Zonas de recreación	24	0.11
Zonas de extracción minera	23	0.11
Cuerpos de agua	22	0.10

Fuente: Vélez, 2013.

Las 17 categorías desagregadas de usos y cobertura de suelos fueron reclasificadas en las cinco de susceptibilidad consideradas en el estudio. Se agruparon bajo los criterios encontrados en la literatura y se verificaron mediante el criterio técnico de un geólogo y considerando la distribución específica de los movimientos de masa en el municipio.

Zonas de acumulación de humedad. La saturación de agua, después de la gravedad, es el factor más importante de inestabilidad de talud y uno de los principales desencadenantes de movimientos súbitos de masa. Su importancia clave puede observarse en fenómenos extremos sobre áreas extensas que desencadenan numerosos movimientos de masa (Varnes, 1984). Los distintos tipos de movimientos de masa están estrictamente relacionados con factores desencadenantes específicos, pero ciertos factores tales como la resistencia de las rocas, pendiente y condiciones de agua subsuperficial pueden generalizarse para los modelos de predicción de susceptibilidad (Carrara et al., 1995).

En las zonas tropicales, la evolución y la estructura de los suelos, se ve determinada en gran medida por procesos hidrológicos. En general, el agua, al atravesar las capas superficiales del suelo, fluye por aquellas zonas de mayor permeabilidad. Esto produce una zona de falla entre capas dentro del suelo altamente frágil y un diferencial de presión de poros que en conjunto aumentan la inestabilidad del área. Además, la saturación de los poros por agua disminuye la cohesión del suelo y aumenta el ángulo por fricción (Chacón et al., 2006; Suarez, 1998). Por ello, en el trópico, los procesos de movimiento de masa están íntimamente relacionados a los procesos hidrológicos y deben ser considerados al establecer modelos de predicción o cálculos de susceptibilidad (Chacón et al., 2006).

En la mayoría de ocasiones estos procesos ocurren debido a “lluvias intensas, derretimiento de hielo, cambios en el nivel de agua subterránea o cambios en el nivel de agua a lo largo de la costa, reservorios, canales y ríos” (Cruden y Varnes, 1996, p. 5). En las regiones tropicales, los modelos de predicción pueden incluir información de los eventos temporales de precipitación y cambios en los niveles de aguas subsuperficiales; sin embargo, dependiendo de la escala, esta información raramente se encuentra disponible. Por ello es común utilizar la ubicación y variación de las aguas superficiales, la ubicación de los nacimientos de agua y fluctuaciones a lo largo del año de las mismas (Chacón et al., 2006; Varnes, 1984).

Las zonas de influencia de la red hídrica del municipio fueron calculadas de acuerdo al orden y tipo específico de tributario. Esta red fue clasificada manualmente según su orden; considerando de 1° orden al río Yeguaré, de 2° orden a los tributarios directos y 3° orden al resto de los tributarios. Además, aquellos tributarios intermitentes fueron considerados automáticamente en el mismo nivel que el 3° orden. Posteriormente, mediante las herramientas de análisis espacial ráster de distancia euclidiana y reclasificación del programa ArcGIS® se calculó la zona de influencia específica para cada uno de las tres clasificaciones de los tributarios. Finalmente, se obtuvo la zona de acumulación de humedad mediante la herramienta calculadora ráster, en esta se unieron las tres capas de zonas de influencia en una sola capa de información ráster.

Todos los factores descritos en las secciones anteriores fueron considerados en el proceso de análisis de susceptibilidad a movimientos de masa. Se manejaron como capas de tipo ráster debidamente reclasificadas en diferentes niveles de susceptibilidad. El proceso llevado a cabo para el análisis heurístico y posterior análisis de proximidad se resume a continuación en la Figura 2.

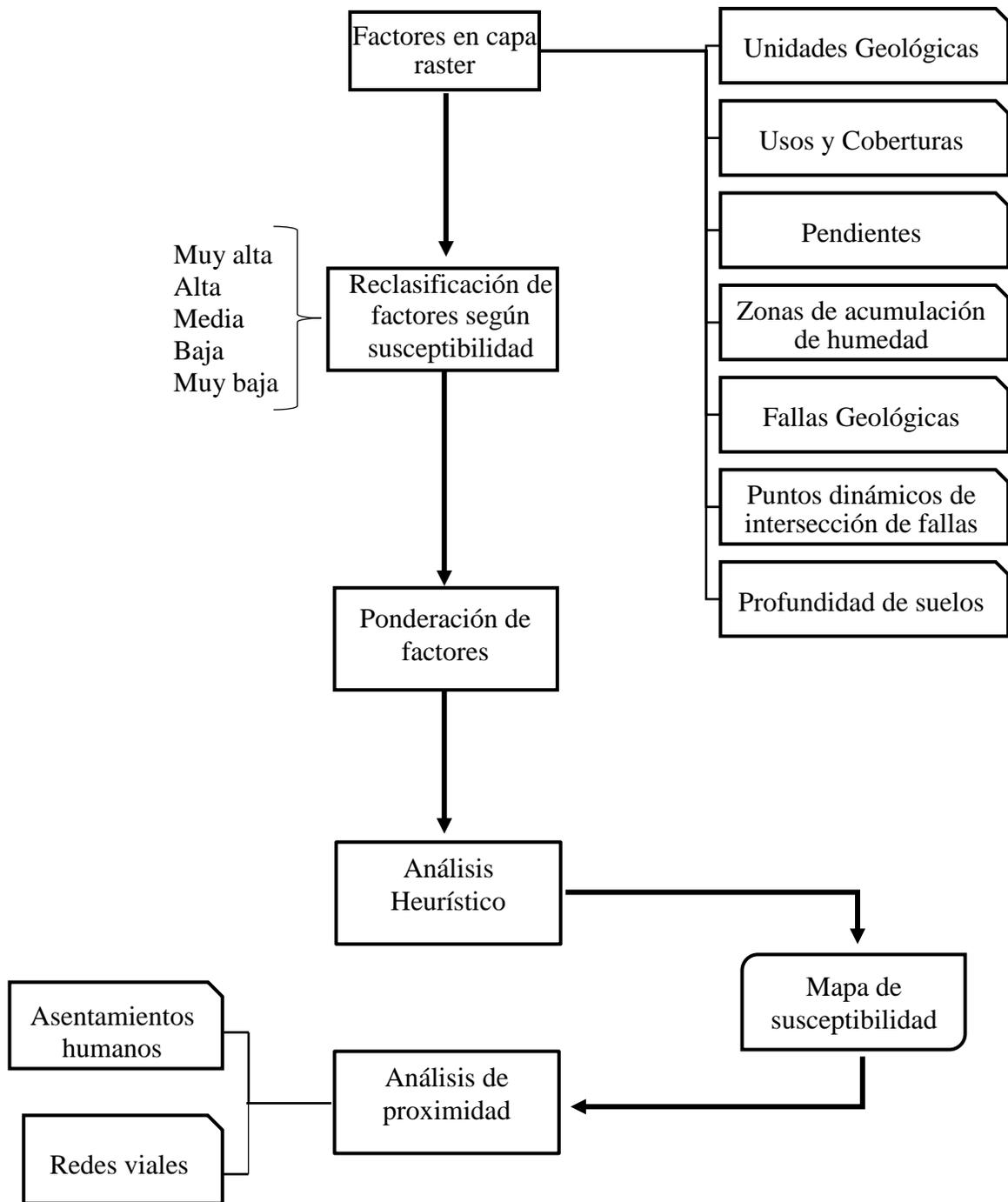


Figura 2. Diagrama del flujo del proceso de análisis heurístico y de proximidad.

Matriz multifactorial.

Los factores incluidos en el análisis de susceptibilidad fueron categorizados de acuerdo su susceptibilidad específica. Esta clasificación puede ser determinada por combinación de interpretación de distribución espacial de movimientos, tendencias detectadas, distribución específica de los factores y criterios técnicos de expertos (Rubiano y Ramírez, 2009). La evaluación final de susceptibilidad se realiza por medio de una matriz multifactorial que integra los factores considerados dentro del modelo asignándoles un peso específico a cada uno de los factores y categorizando cada uno de ellos en niveles de susceptibilidad.

La categorización de susceptibilidad de la matriz se realizó utilizando una escala de cinco niveles debido a que esta permite un mayor rango de manejo de las variables considerando el grosor y escala de las mismas. Las categorías de susceptibilidad consideradas fueron las propuestas por Mora (2004), incorporando conceptos considerados por Mujica y Pacheco (2013) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Descripción de niveles de susceptibilidad a movimientos de masa.

Nivel de Susceptibilidad	Descripción
I. Muy baja	Sectores de alta estabilidad, no requieren medidas correctivas. Aptos para usos urbanos de alta densidad.
II. Baja	Sectores estables que requieren medidas correctivas menores solamente en caso de obras de infraestructura de gran envergadura. Aptos para usos urbanos de alta densidad.
III. Media	Sectores relativamente estables, pueden requerir de medidas correctivas. Aptos para urbanización. En caso de obras de infraestructura se recomienda un estudio geotécnico de la zona.
IV. Alta	Sectores inestables con probabilidad de movimientos de masa de media a alta. No recomendados para urbanización. Su utilización requiere de estudios de estabilidad a detalle y medidas correctivas.
V. Muy alta	Sectores altamente inestables. Probabilidad alta de movimientos de masa y procesos actuales activos. Aptos para áreas de conservación. No se recomienda ningún tipo de infraestructura en los mismos.

Fuente: Adaptado de Mora (2004) con incorporación de criterios técnicos de Mujica y Pacheco (2013).

Es importante mencionar que los factores antes mencionados y descritos en función de la importancia y pre-procesamiento seguido en el análisis heurístico y otros datos geográficos del municipio provienen de diferentes fuentes de información y corresponden a diferentes escalas y resoluciones espaciales (Cuadro 5). La mayoría de los datos utilizados en este análisis poseen una escala de 1:50,000 y los de mayor escala corresponden a estudios realizados por la Escuela Agrícola Panamericana.

Cuadro 5. Resumen de las fuentes de información de factores y otros datos geográficos considerados en la elaboración de la matriz multifactorial del análisis heurístico de susceptibilidad del municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.

Factor	Fuente	Escala/Resolución
Unidades Geológicas	USGS (2000)	1:50,000
Usos y Coberturas	Vélez, G. (2013)	1:50,000
DEM	IGN (1997)	1:50,000
Pendientes	IGN (1997)	10 m
Microcuencas	IGN (1997)	10 m
Red hídrica	EAP (2006)	1:50,000
Fallas Geológicas	USGS (2000)	1:50,000
Puntos de intersección	USGS (2000)	1:50,000
Profundidad de suelos	EAP (2007 a 2017)	10 m
Redes viales	EAP (2006)	1:50,000
Asentamientos humanos	Vélez, G: (2013); Pisco, E. (2017)	10 m

Debido a que la principal escala de los datos geográficos disponibles es de 1:50,000 se decidió utilizar una resolución espacial de 10 m. Una vez recopiladas las capas los factores fueron transformados a archivo tipo ráster de 10 m de resolución espacial y al sistema de coordenadas UTM WGS84 16 N. Posteriormente, se procedió a una clasificación individual de los factores considerados en la escala de susceptibilidad seleccionada utilizando los criterios de estabilidad discutidos en la sección anterior. Una vez clasificados se procedió a elaborar la matriz multifactorial de los mismos añadiendo el peso otorgado a cada uno de los factores (Cuadro 6).

Cada una de las capas ráster cubrían la superficie total del área de estudio, a excepción de tres: fallas geológicas, puntos de intersección de fallas y zonas de acumulación de humedad. Esta variación se debe a que estas tres capas contenían información discreta y únicamente de la zona de influencia de los factores hasta una distancia máxima determinada. No se categorizó la totalidad del terreno según susceptibilidad a estos factores con el fin de evitar una subestimación del modelo al considerar únicamente su zona de influencia.

Cuadro 6. Matriz multifactorial según niveles de susceptibilidad y pesos para el análisis heurístico de los movimientos de masa en el municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.

Factor	Peso	Susceptibilidad				
		Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Pendiente	40%	< 5 %	5 - 15 %	15 - 30 %	30 - 45%	> 45 %
Profundidad de suelos	10%	V. < 30 cm	IV. 30 - 60 cm	III. 60 - 90 cm	II. 90 - 120 cm	I. > 120 cm
Geología	10%	-	Kvv	Npm Qb	Qt Qal	Kt S
Usos y coberturas	10%	BS BL BP BM	BR AF PF	AH UC ZR	TA CA CP	ZM PA MA
Fallas geológicas	5%	-	-	-	100 - 200 m	0 - 100 m
Puntos de intersección de fallas	5%	-	-	-	150 - 300 m	0 - 150 m
Zonas de acumulación de humedad	20%	-	-	-	1° 200 - 500 m 2° 150 - 300 m 3° 100 - 200 m	0 - 200 m 0 - 150 m 0 - 100 m

BS = Bosque seco; BL = bosque latifoliado; BP = bosque de pino; BM = bosque mixto; BR = bosque de pino ralo; AF = agroforestería; PF = plantaciones forestales; AH = asentamientos humanos; UC = unidades comerciales; ZR = zona de recreación; TA = tierra arable; CA = cultivos anuales; CP = cultivos perennes o frutales en asociación; ZM = zona de extracción minera; PA = pastizales; MA = matorrales.

- = no aplica; 1° = río de 1° orden; 2° = río de 2° orden; 3° = río de 3° orden e intermitentes.

Los pesos de cada uno de los factores mencionados en el cuadro anterior fueron definidos en base a la información del inventario de movimientos de masa y complementados con información de literatura. Para asignar los pesos se consideró en primer lugar los factores desencadenantes más comunes de los movimientos de masas ocurridos en la zona. En este caso fueron los factores de acumulación de humedad y pendiente. En segundo lugar, se tomó en cuenta el tipo de movimiento predominante en el área. En este caso el tipo de movimiento predominante fueron los de flujos de tierra. Este tipo de movimiento está íntimamente ligado con acumulaciones de humedad en el suelo, lo cual intensifica las inestabilidades pre-existentes.

Los factores de profundidad de suelos y el uso y cobertura de la tierra están de igual manera relacionados a proceso de erosión extrema y aumento de la inestabilidad del terreno ante movimientos de tipo flujo. Los factores relacionados con actividad sísmica (fallas y puntos de intersección) fueron considerados dentro del análisis con un menor peso debido a que el área de estudio no presenta una actividad sísmica importante.

Análisis heurístico.

La ejecución del análisis heurístico se realizó mediante la herramienta de superposición ponderada del programa ArcGIS 10.4[®]. Esta herramienta incorpora diversos pasos de superposición y algebra de capas en una sola. Este modelo permite ingresar diversas capas como variables de entrada y las reclasifica en una escala común, en este caso del 1 al 5. A cada celda se le asigna un valor entero de una escala común, lo que permite la superposición de las mismas (ArcGis, 2016).

Este análisis incorporó las capas de entrada correspondieron a los siete factores en formato ráster. La resolución de todas las capas fue de 10 m con valores enteros de clasificación del 1 al 5, mismos que fueron asignados según su nivel de susceptibilidad previamente asignados. La herramienta de superposición ponderada permite establecer en el mismo proceso las ponderaciones a cada uno de las capas ingresadas, para ello se les asignó su respectivo peso según la matriz multifactorial descrita anteriormente (Figura 3).

Como resultado se obtuvo una capa ráster del área de estudio categorizada en la escala del 1 al 5 correspondiente a los diferentes niveles de susceptibilidad. A esta capa de resultado, no se le aplicó ningún proceso de filtrado u homogenización cartográfica para evitar pérdidas de información que pueda considerarse significativa en este tipo de análisis de susceptibilidad. Una vez que se obtuvo la capa ráster de susceptibilidad a movimientos de masas se procedió a realizar un análisis para los principales asentamientos humanos, redes viales de importancia, distribución de susceptibilidad por aldeas y por microcuencas del municipio.

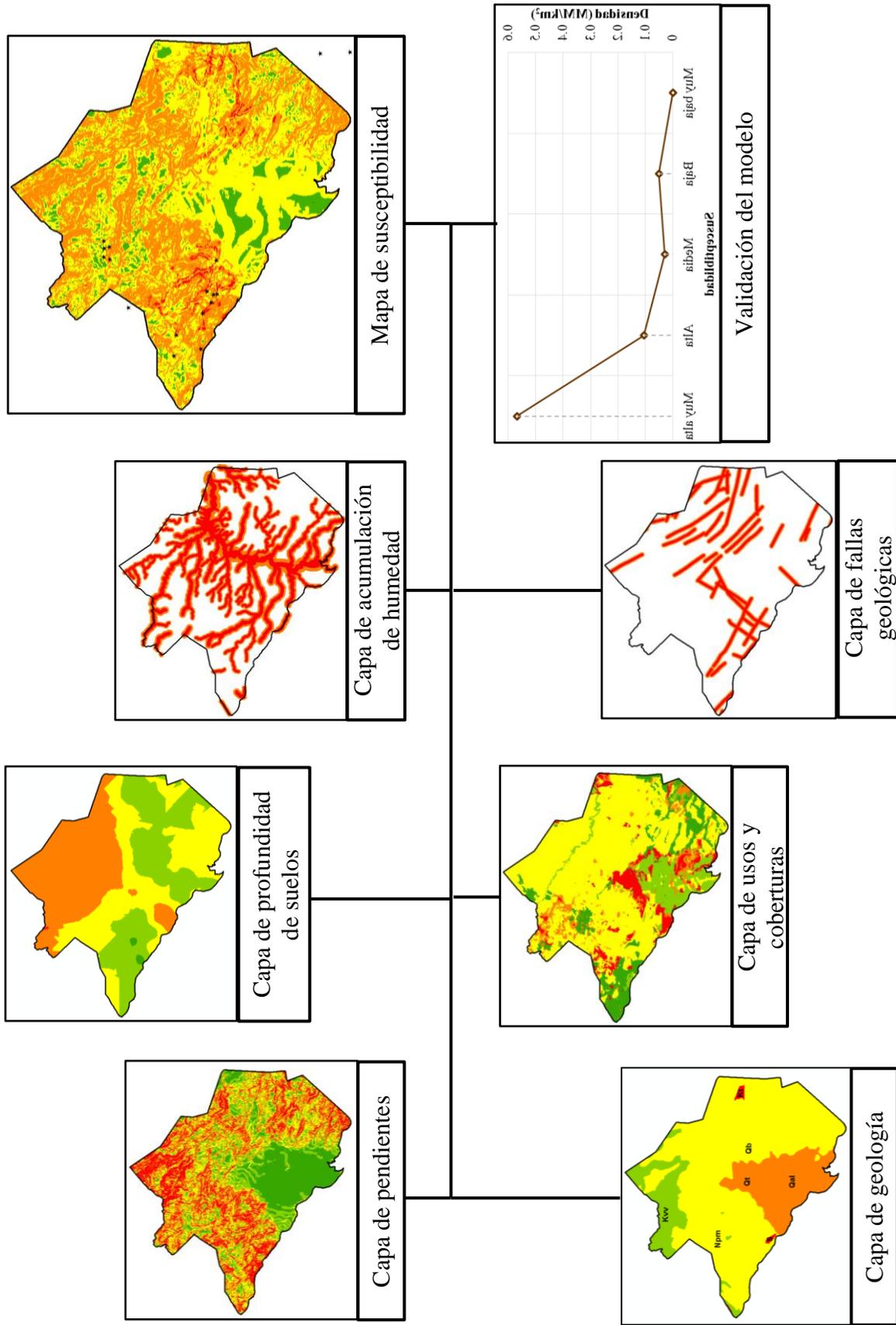


Figura 3. Descripción gráfica del proceso de análisis heurístico de susceptibilidad mediante superposición ponderada de capas.

Validación del modelo de análisis heurístico.

Con el objetivo de realizar una validación descriptiva del modelo de susceptibilidad del municipio, se calculó la densidad específica de los movimientos de masa (MM) por unidad área para cada uno de los niveles de susceptibilidad. Para ello, se ubicó cada uno de los 15 MM en una de las categorías de susceptibilidad y se realizó el cálculo de densidad de MM por unidad de área de acuerdo a la Ecuación 1. Las unidades resultantes de dicho cálculo son de movimientos de masa por km² de terreno.

$$\text{Densidad MM} = \frac{\text{MM de categoría } i \text{ (\#)}}{\text{Área de categoría } i \text{ (km}^2\text{)}} \quad [1]$$

Este tipo de validación del modelo de susceptibilidad permite identificar una tendencia de relación directa entre la densidad y el nivel de susceptibilidad. Si el modelo refleja las condiciones reales se espera un incremento de la densidad a medida incrementa el nivel de susceptibilidad (Aguilar, Mendoza, y Velásquez, 2003). Este tipo de validación resulta de especial utilidad cuando la escala del estudio no permite un análisis estadístico del modelo generado (Bohórquez, 2013) y los movimientos de masa no pueden utilizarse con precisión como herramientas predictivas (Chacón et al., 2006).

Análisis de proximidad aplicado a asentamientos humanos y redes viales.

Una vez clasificada el área de estudio según susceptibilidad se procedió a realizar un análisis específico enfocado en las redes viales de conexión del municipio y los principales asentamientos humanos. Para esto se crearon zonas de amortiguamiento de 50 m alrededor de las redes viales y de 100 m alrededor de los asentamientos humanos. Este proceso se llevó a cabo con la herramienta de creación de zonas de influencia de ArGIS 10.4[®]. Se configuró como zona de influencia a ambos lados de las líneas correspondientes a redes viales y se aplicó la herramienta de disolver áreas de superposición con el fin de evitar sobreestimaciones. Finalmente, para los asentamientos humanos se aplicaron las zonas de influencia para área exterior e interior.

La ubicación de las comunidades y asentamientos del municipio se extrajo de la información del mapa de usos y coberturas de Vélez (2013) complementado con la identificación y designación de barrios y caseríos realizada por Pisco (2017) mediante el croquis de ubicación de comunidades de la Centro Integral de Salud de la aldea El Jicarito del municipio de San Antonio de Oriente.

El sistema de redes viales fue considerado como una de las estructuras de comunicación de vital importancia para el municipio. Esta importancia se acentúa debido a la débil comunicación de muchas de las comunidades del municipio para las cuales solo existe una vía de comunicación (entrada y salida). La fuente de información y cartografía de las redes viales utilizada corresponde a la Escuela Agrícola Panamericana (2006).

Se estimó para las zonas de influencia creadas de las redes viales y asentamientos humanos su susceptibilidad específica. Para ello fue necesario extraer la información contenida en la capa de susceptibilidad por medio de la herramienta denominada extracción por máscara

del programa ArcGIS®. La capa de entrada fue la del análisis de susceptibilidad del municipio en formato ráster y la máscara seleccionada fue la de las zonas de influencia, así se obtuvo la susceptibilidad para las zonas de influencia de 50 m de lado y lado de las redes viales y de 100 m para las zonas externas y áreas internas de los asentamientos humanos. Por otro lado, con el fin de dejar información de fácil uso para la alcaldía municipal se procedió a extraer la susceptibilidad para cada una de las 13 aldeas del municipio y compararlas con la población censada al año 2013.

Además de obtener la susceptibilidad para áreas de influencia de las redes viales, asentamientos humanos y aldeas, se consideró de suma importancia realizar una descripción de susceptibilidad para cada una de las microcuencas del municipio. Cabe aclarar que por definición una cuenca es el territorio natural en el que toda precipitación alimenta un cuerpo o curso de agua principal. Está definida por el relieve del territorio y sus bordes son delimitados por parte aguas o líneas divisorias de agua, que es el punto más alto de las mismas (Reyes, 2003). Estos son considerados sistemas dinámicos que incluyen diversos elementos bióticos y abióticos. Están conformado por componentes como agua (nacimientos, riachuelos y ríos) suelo, flora, fauna y antropológicos (comunidades, cultivos, industrias). Todos estos factores se encuentran estrechamente vinculados y son interdependientes (Aguirre, 2011).

Las cuencas se consideran como las unidades mínimas de gestión, no únicamente de recursos hídricos sino de gestión de desarrollo económico, social y de manejo de recursos naturales. Se considera que únicamente bajo este enfoque es posible dar un manejo adecuado a las interacciones entre los factores naturales y sistemas económico-sociales (Rodas, Elías, Castañeda y Umaña, 2007). Este enfoque de microcuencas como unidad base se considera como una visión más integral del manejo de los territorios, pues logra definir fronteras delimitantes sin entrar en conflicto con los diversos procesos dinámicos que ocurren en el mismo (Naciones Unidas, 2004).

Poco a poco los procesos de manejo de recurso, desarrollo y gestión integral del territorio han ido acoplándose a un enfoque de cuencas hidrográficas para su planeación y ejecución. En la gestión integral de riesgo se ha resaltado la importancia de la cuenca hidrográfica como unidad base de manejo, ya que los procesos de inundaciones, contaminación de fuentes de agua y movimientos de masa no respetan fronteras políticas imaginarias (Rodas et al., 2007). Este enfoque ha sido retomado para el estudio de susceptibilidad a movimientos de masa en diversos estudios (Reyes et al., 2006; Salgado, Velásquez, Jiménez, y Faustino, 2006) considerando el manejo de esta susceptibilidad de un proceso más amplio de gestión integral de cuencas.

En este proyecto, se delimitaron las microcuencas del municipio de San Antonio de Oriente mediante la información de la red hídrica, las curvas a nivel y el DEM del territorio. Las microcuencas se delimitaron en el programa SAGA-GIS 2.1.2® utilizando la herramienta de delineación de cuencas en función de la pendiente, dirección flujo y acumulación de flujo. Posteriormente, fue complementado por una delimitación cartográfica manual, guiada por las curvas a nivel del territorio, asegurando la eliminación de errores del proceso automático y una mayor exactitud del resultado.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Inventario de movimientos de masa.

Durante la fase de campo se identificaron un total de 18 movimientos de masa, de los cuales, 15 se ubicaron dentro del municipio de San Antonio de Oriente y tres fuera de los límites del mismo. Estos tres fueron identificados y registrados en campo, posteriormente sus coordenadas fueron ubicadas espacialmente y se identificaron dos movimientos en la parte alta de la microcuenca Santa Inés del municipio de Yuscarán (No. 1 y 2) y uno cerca del límite noroeste del municipio del Distrito Central (No. 11). Todos los movimientos fueron georreferenciados y se levantaron datos técnicos en campo relacionados al tipo de movimiento, material, factor desencadenante, edad, entre otros elementos (Cuadro 7).

Los movimientos registrados fueron predominantemente de tipo flujo (13), seguido por caídas (4) y únicamente un movimiento de deslizamiento. Se pudo observar que el factor desencadenante abrumadoramente predominante son los eventos de precipitación extrema, debido a que la mayor parte de los movimientos ocurrieron específicamente en el huracán Mitch de 1998.

En cuanto a la actividad actual de los movimientos de masas, se determinó que un 50% aún presentaron actividad (39% activo y 11% poco activo), mientras que el 50% restante se encontraron actualmente inactivos. A pesar de su bajo número, de los nueve movimientos que presentaron algún tipo de actividad, ocho se encontraron en las inmediaciones de una vía de comunicación principal, afectando directamente esta infraestructura. Por otra parte, solo un movimiento (inactivo) fue registrado dentro de un asentamiento humano en toda el área de estudio y se ubicó en la aldea de El Jicarito del municipio.

Cuadro 7. Resumen del inventario de movimientos de masa del municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.

Número Registro	Coordenadas (X,Y)	Localidad	Tipo de movimiento	Factor Desencadenante	Actividad
1	509031 1542271	Las Moras	Flujo de suelo	Huracán Mitch	Inactivo
2	508950 1543966	La Lima, El Guayabo	Flujo de suelo	Precipitaciones prolongadas	Activo
3	495392 1550413	Agua Amarilla	Flujo de suelo	Huracán Mitch	Poco activo
4	492098 1550759	Uyuca	Flujo de suelo	Huracán Mitch	Inactivo
5	491691 1552311	Falla La Montañita	Flujo de suelo	Socavamiento de la base	Activo
6	494132 1550661	Las Minutas	Flujo de suelo	Huracán Mitch	Inactivo
7	494734 1550174	Quiebrapatras	Flujo de detritos	Huracán Mitch	Inactivo
8	495200 1550057	Quebrada. Las Cuevitas	Flujo de rocas	Huracán Mitch	Activo
9	494864 1548654	El Chagüite	Flujo de detritos	Huracán Mitch	Inactivo
10	495212 1549831	Quiebrapatras	Caída aislada	Inestabilidad	Poco activo
11	494450 1554883	Carretera a La Estancia	Flujo Suelo	-	Activo
12	497335 1556305	La Ciénega	Caída aislada	-	Inactivo
13	497828 1556263	Los Potreros, La Ciénega	Flujo Suelo	Huracán Mitch	Activo
14	497205 1555939	La Ciénega	Flujo Suelo	Huracán Mitch	Inactivo
15	498275 1556295	Los Potreros, La Ciénega	Caída aislada	Precipitaciones prolongadas	Activo
16	497927 1555976	La Ciénega	Flujo suelo	Huracán Mitch	Inactivo
17	492888 1552173	Carretera CA-4	Caída aislada	Actividad antrópica	Activo
18	497143 1549888	El Jicarito	Deslizamiento de bloque	Huracán Mitch	Inactivo

- Factor desconocido/no corroborado

A partir del inventario se elaboró un mapa de distribución espacial de los movimientos de masa de San Antonio de Oriente y complementado por los puntos de información clave compilados. El mapa de inventario de movimientos de masa manifestó una clara agrupación de los movimientos registrados en ciertas áreas específicas del municipio, por ejemplo, entre la localidad conocida como La Montañita hasta El Chagüite en zonas aledañas a la carretera panamericana (CA-4) y en el área noroeste del municipio, entre las zonas cercanas a la localidad conocida como La Ciénega (Figura 4).

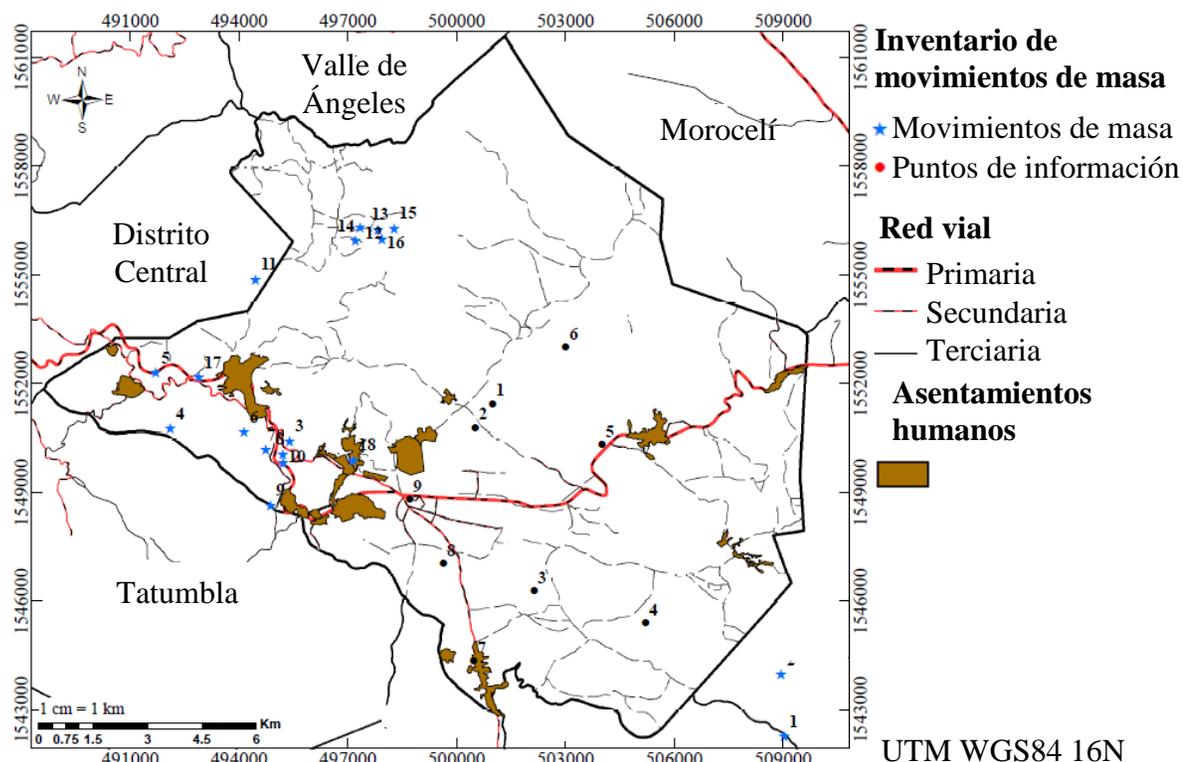


Figura 4. Mapa de ubicación del inventario de movimientos de masa ocurridos en el municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.

Los movimientos de masa se agruparon en dos grandes zonas a excepción de tres movimientos aislados del resto, que coinciden con los tres registrados en campo y ubicados fuera del municipio (1, 2 y 11). Estos movimientos concentrados se ubicaron en las microcuencas del río Salado y El Gallo, las cuales poseen mayor área dentro municipio.

Mapa de susceptibilidad a movimientos de masa.

El análisis heurístico clasificó de manera general la susceptibilidad territorial a movimientos de masa del municipio San Antonio de Oriente como categoría media (nivel 3 de 5). De manera específica, los resultados arrojaron que un 49% (102.76 km²) del territorio posee una susceptibilidad media, mientras que un 42% (88.8 km²) una susceptibilidad alta y muy alta; y únicamente un 9% (19.4 km²) una susceptibilidad baja y muy baja (Figura 5).

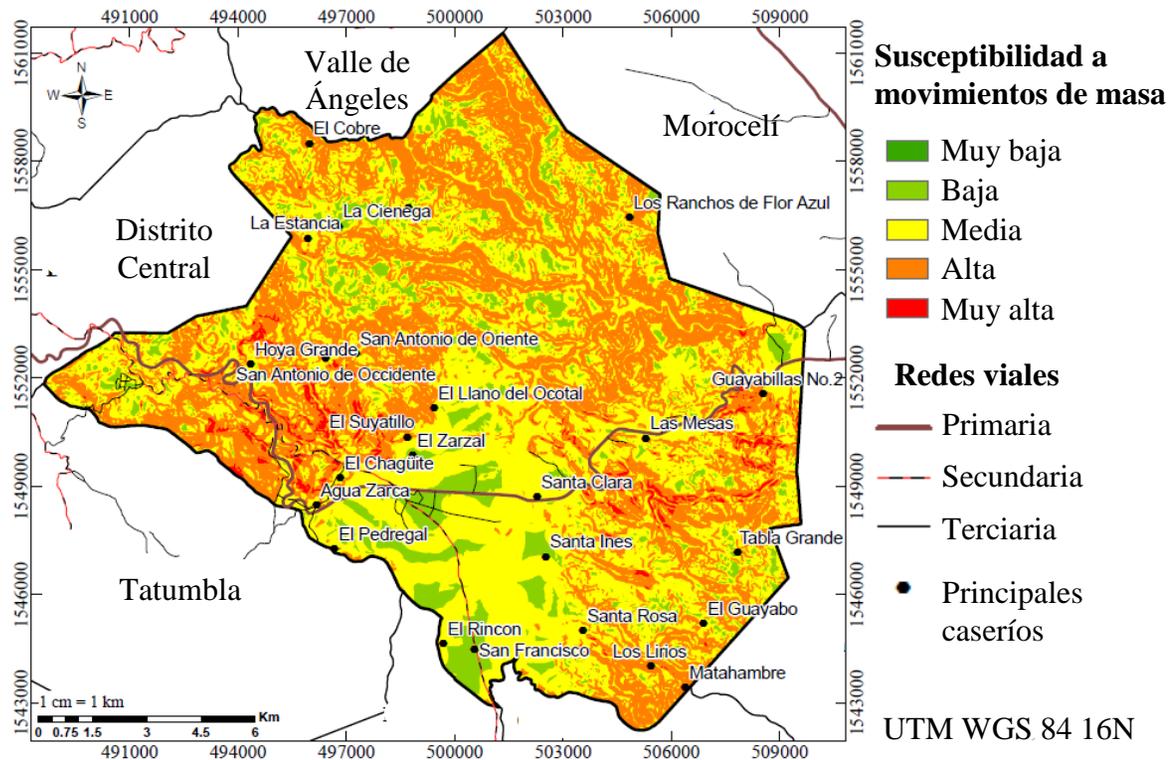


Figura 5. Mapa de susceptibilidad a movimientos de masa del municipio San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.

En la elaboración del mapa se utilizó una escala de susceptibilidad de cinco niveles; sin embargo, el resultado final se encuentra fuertemente concentrado hacia los niveles medios de dicha escala. Los dos niveles extremos (susceptibilidad muy baja y muy alta) se podrían considerar no significativos a nivel total del territorio ya que cubren menos del 3% del territorio total (3.52 km²). Este efecto de concentración ya se ha presentado en resultados de estudios anteriores realizados en Honduras como es el caso de Salgado (2005) y Reyes (2003) utilizando cinco niveles de susceptibilidad.

La tendencia hacia los valores medios de la escala se debe mayormente al grosor o nivel de detalle de las capas de los factores ingresados. El grosor de las capas se refiere a la escala de delimitación y clasificación de los factores en sub-categorías que pueden diferenciarse a niveles más detallados. Lo que limita el detalle o grosor de dichas capas es la información disponible o utilizada para los mismos. Carrara y colaboradores (1995) indican que la falta de información detallada y capaz de derivar un análisis de susceptibilidad con mayor exactitud es una de las limitantes más comunes en estos procesos.

Las variables que presentaron un nivel de menor detalle fueron las de unidades geológicas y la profundidad de suelos. En el caso de la profundidad de suelos, la principal limitante fue la información de estudios disponibles a nivel de todo el municipio y el objetivo de levantamiento de los datos. A pesar de incluir más de 15 estudios y 150 puntos de información, todos ellos estaban enfocados a aspectos agrícolas y no geológicos. Además,

la distribución de los puntos disponibles no fue homogénea en la totalidad del territorio ya que se concentraron en los terrenos de Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Como resultado, los procesos de interpolación de información, así como la susceptibilidad asignada a dicho factor presentaron un rango de incertidumbre considerable.

En cuanto a la información de unidades geológicas, la única información disponible para el área estudiada fue la clasificación general de Honduras. Los estudios más detallados deberían incluir una caracterización de estas unidades en sub-unidades litológicas que clasifique las mismas según el tipo y estabilidad de las rocas dominantes (Varnes, 1984). Esto permitiría una clasificación más detallada del área en sub-divisiones según la susceptibilidad a activar procesos geomorfológicos (Dahal et al., 2008). Una clasificación litológica no fue posible en este estudio debido a las limitantes de tiempo y aspectos técnicos requeridos.

Otros estudios anteriores han optado por una categorización en tres niveles (bajo, medio y alto) de susceptibilidad, como el elaborado para Tegucigalpa (González et al., 2013) y también es rescatada en las recomendaciones de COPECO para la evaluación de amenazas por deslizamientos e inundaciones (Bohórquez, 2013). Para el presente estudio se prefirió la categorización de cinco niveles sobre esta recomendación con el objetivo de reducir el efecto de concentración anteriormente discutido.

Al graficar la densidad de movimientos de masa por unidad de área para las categorías de susceptibilidad del modelo del San Antonio de Oriente se observó la tendencia esperada de incremento lineal de predicción para esta categorización de susceptibilidad (Aguilar et al., 2003). Las categorías de susceptibilidad de ambos extremos con áreas mínimas dentro del modelo se ajustaron a la tendencia esperada, mostrando el valor mínimo (0 MM/km^2) y máximo (0.57 MM/km^2) correspondientemente (Figura 6).

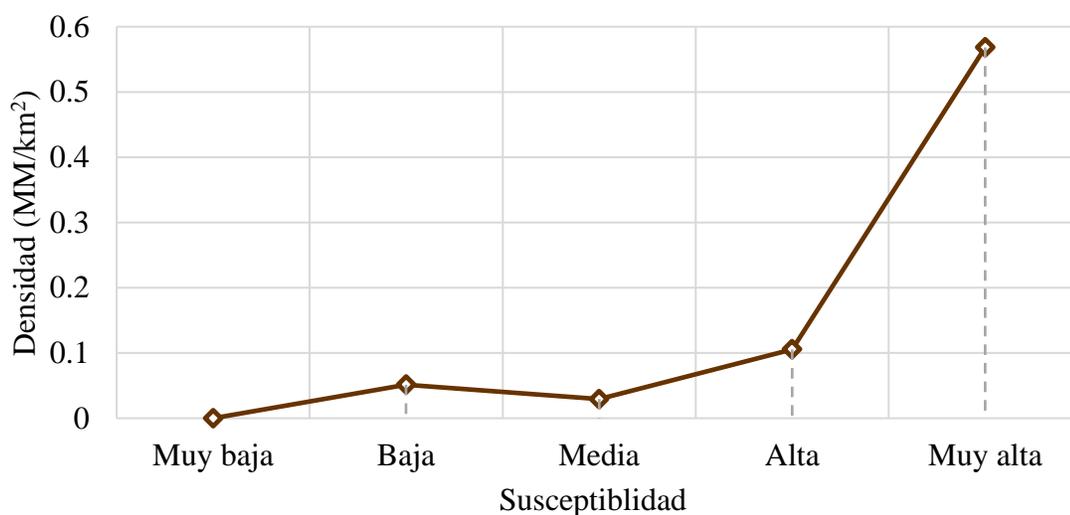


Figura 6. Gráfico de densidad de movimientos de masa (MM/km^2) por nivel de susceptibilidad del área de estudio.

Susceptibilidad por aldeas. Además de la susceptibilidad general del municipio se extrajo la susceptibilidad específica de cada una de las 13 aldeas que lo componen incorporando los datos de población específica para cada una de ellas utilizando los datos de población año 2013 (Instituto Nacional de Estadística [INE], 2016). La mayor parte resultaron con una susceptibilidad media, únicamente las aldeas Hoya Grande, Las Mesas, San Antonio de Occidente, El Jicarito, Tabla Grande, Santa Inés y Los Ranchos de Flor Azul presentaron una susceptibilidad alta (4 de 5). Sin embargo, la población es de todas ellas fue menor a 1,000 habitantes. Por otro lado, la aldea más importante del municipio, El Jicarito, con una población aproximada de 6,700 habitantes, presentó susceptibilidad predominante media (Figura 7). A pesar de que el análisis no arrojó grandes diferencias entre las aldeas, el manejo independiente de dichas susceptibilidades es importante para una planificación territorial eficiente.

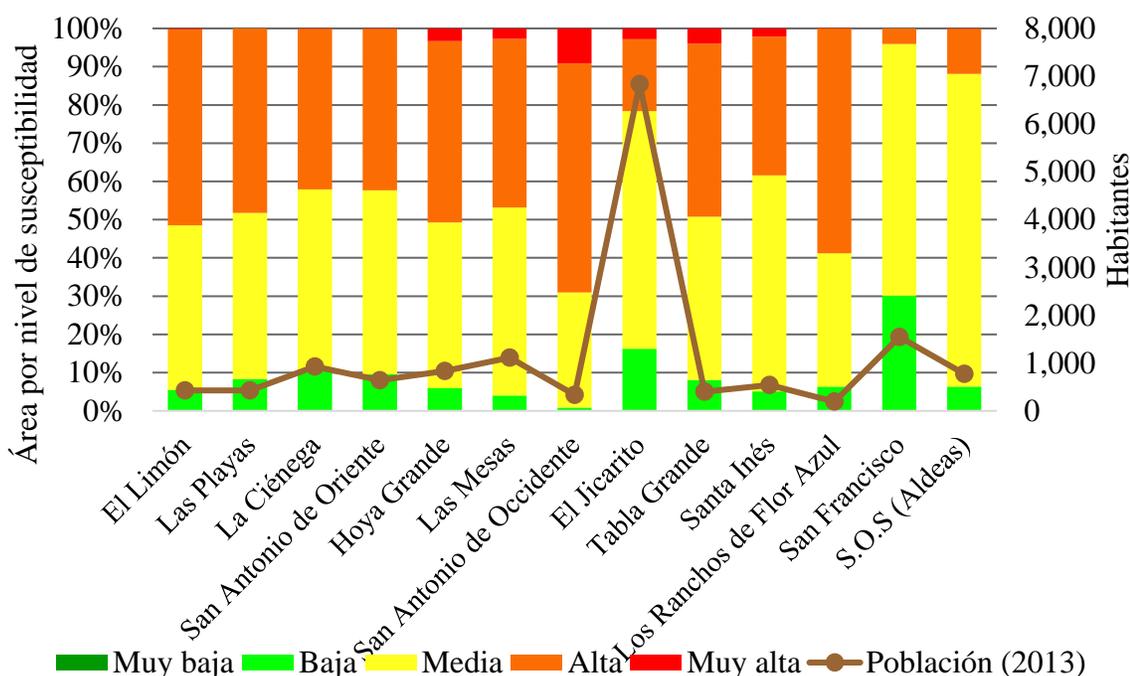


Figura 7. Porcentaje de distribución de área por nivel de susceptibilidad y población total por aldea del municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.

Susceptibilidad por microcuencas. Además de la extracción de la susceptibilidad por aldeas, se consideró importante realizar una desagregación de susceptibilidad para cada una de las microcuencas del municipio. Para ello, se partió desde la delimitación fisiográfica de las microcuencas tributantes al río Yeguaré del municipio de San Antonio de Oriente y se pudieron identificar 19 microcuencas independientes y cuatro zonas clasificadas como tributarias directas al Río Yeguaré (Cuadro 8). Las microcuencas más importantes del territorio son la del río Salado, que abarca un 22% del área del municipio, quebrada El Gallo (10%), quebrada Santa Clara (8%) y quebrada La Orilla (5%). El resto de cada una de las microcuencas abarca menos del 5% del área del municipio.

En cuanto población, la microcuenca El Gallo concentra la mayor parte de población del municipio (> 5,000 habitantes) y los principales asentamientos urbanos y urbanos discontinuos. Esta característica es clave debido a que en ella además de existir una mayor población dicho población se encuentra concentrada en un núcleo urbano en las proximidades del efluente principal de dicha microcuenca. En el resto de microcuencas las características de la población tienden a una menor densidad, con zonas urbanas discontinuas compuestas por comunidades desagregadas.

Cuadro 8. Áreas en hectáreas y porcentajes de distribución por microcuenca del municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.

Nombre de la microcuenca	Área (ha)	Área (%)
Salado	5,070	22
El Gallo	2,377	10
Santa Clara	1,922	8
La Orilla	1,038	5
Quebrada Santa Inés	992	4
Caparrosa	988	4
La Chorrera	817	4
La Morena	740	3
Afilar	660	3
La Panda	501	2
La Jagua	492	2
Seca	469	2
La Jagua 2	447	2
Beras	386	2
El Jicaro	303	1
Río Santa Inés	247	1
El Zapote	227	1
Manuare	220	1
El Censo	83	1
Tributarias directas al río Yeguaré	2,950	12
Cuenca externas	1,802	8

Además de estimar las áreas respectivas se cartografiaron y mapearon las delimitaciones de cada una de las microcuencas y zonas de tributarios directos al río Yeguaré del municipio. Posteriormente, se elaboró un mapa de las mismas, en cual cada una de las microcuencas se presenta con el nombre del tributario del río Yeguaré al cual corresponde según las hojas cartográficas de la zona de estudio (Figura 8).

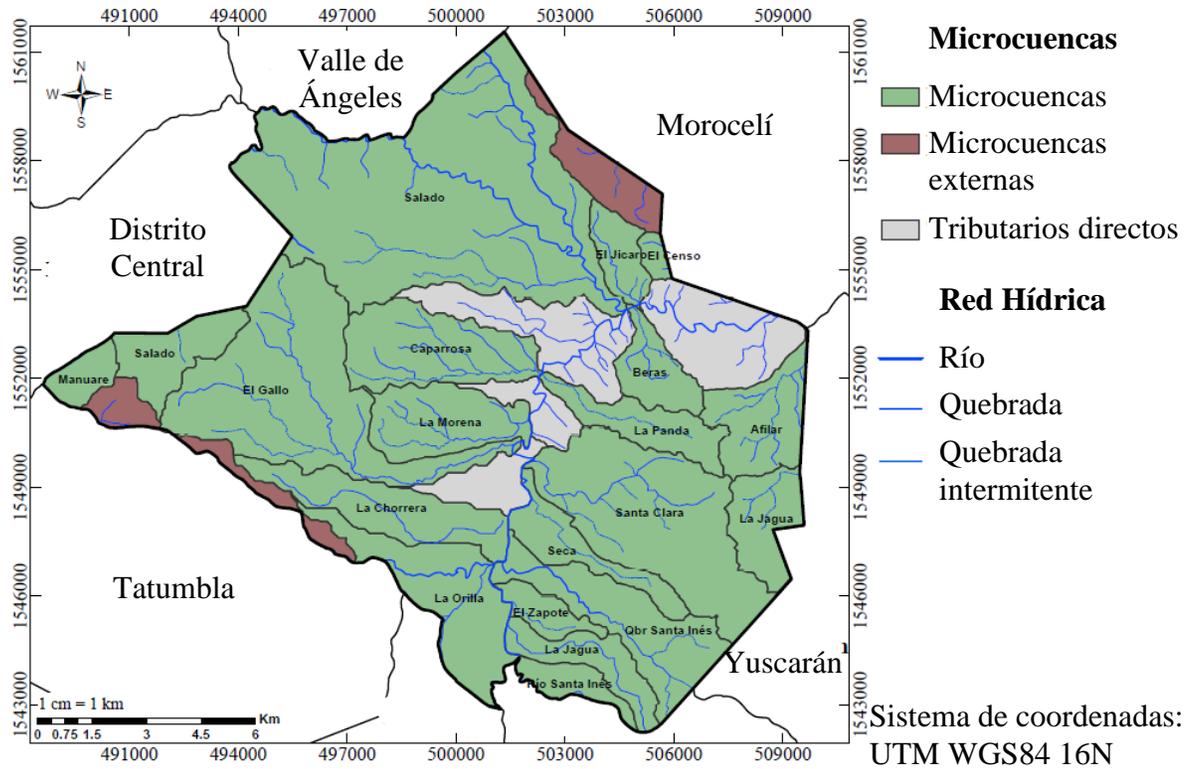


Figura 8. Ubicación geográfica de las microcuencas del municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.

De igual manera las microcuencas tributarias al río Yeguaré fueron caracterizadas por su susceptibilidad específica. De las tres microcuencas de mayor área (Salado, El Gallo y Santa Clara) únicamente la microcuenca de El Gallo se diferenció de la susceptibilidad general del territorio al presentar una susceptibilidad alta (4 de 5) a movimientos de masa (Figura 9).

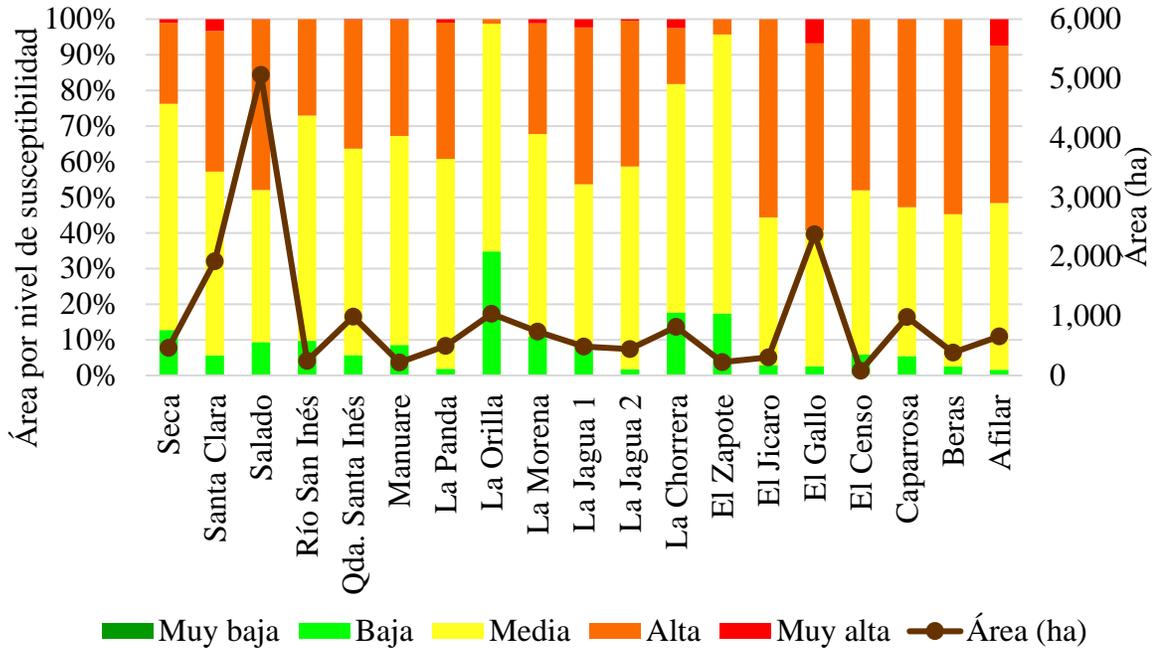


Figura 9. Distribución porcentual del área por nivel de susceptibilidad y área (ha) de cada una de las microcuencas del municipio San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.

En las dos principales microcuencas del municipio, Salado, de susceptibilidad media y el Gallo, de susceptibilidad alta, concentran el 87% de los movimientos de masa del municipio. Esto se debe primordialmente a dos factores, el gran porcentaje de área que cubren del municipio (32%) y al efecto que tiene el sistema de drenajes de dichas microcuencas en la ocurrencia de dichos procesos. A mayor área de microcuenca, mayor extensión de su sistema de drenaje; por lo tanto, existe una mayor dinámica de este factor (acumulación de humedad) en la propensión de movimientos.

Un análisis más detallado de las relaciones entre estos factores (densidad de drenaje y acumulación de humedad) con los procesos de movimientos de masa de una zona solo puede realizarse bajo un enfoque de delimitación de microcuencas. La consideración de los procesos y fenómenos naturales según este enfoque permite una caracterización de los procesos según sus límites naturales (microcuencas) y no políticos (aldeas o municipios) que permite una mayor comprensión de los mismos. Asimismo, esta división y análisis específico para las microcuencas es uno de los procesos básicos de la gestión integral de riesgo utilizando a la microcuenca hidrológica como unidad mínima de manejo de cualquier proceso de desarrollo (Rodas et al., 2007).

Análisis de proximidad.

La susceptibilidad específica de los asentamientos humanos y las carreteras principales es un elemento crítico a tomar en cuenta en posteriores análisis y gestión integral de la vulnerabilidad del municipio. Mediante el análisis específico de los asentamientos humanos se determinó un nivel de susceptibilidad media (3 de 5), al igual que el municipio en general.

De la totalidad del área de asentamientos humanos un 61% entraron en susceptibilidad media, 23% en alta, 15% muy baja y únicamente un 1% en muy alta. En total el área de susceptibilidad alta y muy alta de todos los asentamientos humanos del municipio es menor a 620 ha.

En cuanto a movimiento de masa únicamente cuatro de los movimientos identificados se ubicaron en un asentamiento humano o en su proximidad, de ellos únicamente uno se encontró activo. Esto es un buen indicador de la ubicación actual de los asentamientos humanos. Sin embargo, es necesario considerar tanto la zonificación por susceptibilidad como la ubicación de los movimientos registrados en este estudio para el análisis y planificación de la expansión de estos asentamientos a nuevas áreas.

El análisis específico de las redes viales determinó un nivel de susceptibilidad media (3), al igual que los asentamientos y el municipio en general. De la totalidad de las redes viales un 59% entraron en susceptibilidad media, 27% en media, 13% muy baja y únicamente un 1% en muy alta. A pesar de coincidir en susceptibilidad general con el nivel del municipio, las redes viales presentan un aspecto de mayor preocupación en cuanto a la cantidad y magnitud de efectos de los movimientos actuales.

Al analizar la proximidad con el inventario de movimientos de masa se determinó que 12 movimientos de masa están ubicados a menos de 200 m de las redes viales del municipio. De estos, tres movimientos actualmente activos afectan a la carretera principal (CA-4) que atraviesa el municipio, siendo esta la única de vía comunicación directa con la capital y una vía de conexión internacional. Esto resulta de importancia crítica al considerar el papel de esta carretera en el traslado de personas, insumos y el fuerte comercio que se moviliza por la misma. Esta situación merece esfuerzos de estudios profundos para la planificación y ejecución de obras de mitigación que resuelvan de manera integral la problemática.

El mismo análisis de caracterización específica fue realizado para los terrenos de Zamorano dentro del municipio. La susceptibilidad general de todos estos terrenos fue de clase media. Específicamente un 52% de los terrenos poseen susceptibilidad media (1,597 ha), mientras que el 31% (946 ha) poseen una susceptibilidad alta, 14% (442 ha) una susceptibilidad baja y un 3% (78 ha) susceptibilidad muy alta. A pesar de que únicamente un 3% de los terrenos de Zamorano poseen una susceptibilidad muy alta, estas 78 ha representan un cuarto del área total clasificada como muy alta susceptibilidad de todo el municipio.

En cuanto a movimientos de masa el análisis de susceptibilidad adquiere aún mayor relevancia para Zamorano. De los 18 movimientos de masa registrados, ocho se encuentran en terrenos propiedad de Zamorano y esto se agrava ya que actualmente se ubican dos movimientos activos en las tomas de agua potable que abastecen el campus de Zamorano. Este escenario representa una situación de considerable importancia para los intereses de Zamorano en el manejo de sus tierras.

Es recomendable realizar estudios más detallados para estos terrenos con el fin de establecer alternativas de manejo de las mismas. Además, es altamente recomendado un análisis técnico de mayor profundidad de los movimientos de masa identificados que afectan directa y constantemente las tomas de agua potable de Zamorano y el Jicarito.

4. CONCLUSIONES

- El municipio de San Antonio de Oriente posee una susceptibilidad media a movimientos de masa. Esto indica que, de manera general, el área es relativamente estable y apta para la urbanización. A pesar de ello, para futuros procesos de expansión urbana y desarrollo territorial es importante considerar las condiciones específicas del área, presencia de movimientos de masa y cercanía a zonas que poseen mayor grado de susceptibilidad.
- El análisis de comparación de la categorización de susceptibilidad del área y el inventario de movimientos de masa presenta la tendencia esperada entre la relación de las categorías de susceptibilidad y densidad de movimientos de masa. Esto constituye una validación de los resultados del modelo de análisis heurístico aplicado en el presente estudio.
- Los asentamientos humanos del área de estudio poseen una susceptibilidad media a movimientos de masa y no se ubicó ningún movimiento activo, de gran magnitud, en la proximidad de las mismas. Esto indica que no existe, actualmente, una condición crítica en la ubicación de los mismos. Sin embargo, cabe recalcar que este análisis no es una susceptibilidad global del territorio, pues no considera otras amenazas tales como inundaciones u otros fenómenos ambientales que sí podrían afectar a los asentamientos y que es indispensable considerar para poder realizar los procesos correspondientes de ordenamiento territorial.
- A pesar de que las redes viales poseen una susceptibilidad media a movimientos de masa su proximidad a los movimientos e influencia crítica de los movimientos actualmente activos sobre las mismas genera una condición de alta importancia pues amenaza las vías de comunicaciones más importantes de las comunidades y asentamientos. Esto es un aspecto clave que aumenta la vulnerabilidad de todo el territorio a desastres naturales y debe ser considerada como primordial en cualquier proceso de gestión de riesgo para el municipio.

5. RECOMENDACIONES

- La clasificación de las unidades geológicas del municipio en sub-unidades litológicas, que sean categorizadas según su estabilidad y resistencia. Esto permite disminuir el grosor de los factores considerados en el análisis para una mayor exactitud y detalle del modelo.
- Incluir el resultado del presente estudios en las consideraciones de los procesos de ordenamiento y planificación territorial, así como en los programas o iniciativas de gestión de riesgo para el municipio.
- Realizar un estudio homólogo de análisis de susceptibilidad a inundaciones del municipio que pueda complementar la información resultante del presente estudio que permita la inclusión de ambas susceptibilidades en un proceso de análisis y gestión integral de la vulnerabilidad del municipio a fenómenos naturales.
- Utilizar la Guía de clasificación de movimientos de masa y Ficha Técnica elaboradas en el presente estudio para futuros levantamientos de información ya sea de complemento o actualización del inventario del municipio.
- Utilizar herramientas de sistemas de información geográfica (SIG) como sensores remotos para el cálculo y análisis de otras variables de interés como la interpretación y caracterización de fallas geológicas, procesos de cambio de usos y cobertura de suelos, entre otros.

6. LITERATURA CITADA

- Aguilar, V., Mendoza, D., & Velásquez, A. (2003). *Un modelo de susceptibilidad a movimientos de masa en el eje cafetalero, Colombia*. Universidad del Valle, Medellín, Colombia.
- Aguirre, M. (2011). La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *REDESMA*, 5(1), pp. 10–20.
- Aizprua, C., Pineda L., Casignia P., Sanchez-Bustamanetes, A., & Tinoco, J. (2016). *Reporte de estudio de edafológico Los Llanos el Ocotal*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras.
- Albornoz, A., Briones, A., Guevara B., Ponce, B., Villacis, M., & Yépez. (2016). *Reporte de estudio de edafológico de Los Llanos El Ocotal*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras.
- Anbalagan, R. (1992). Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Engineering Geology*, 32(4), pp. 269–277.
- Andrade, O., Briceño, J., Erasmi, S., Kappas, M., & Unda, J. (2010). Generación y mapeo de parámetros ambientales con fines de evaluación de tierras en el municipio Torres, Estado Lara, Venezuela. *BIOAGRO*, 22(2), pp. 115–126.
- ArcGis. (2016). Herramienta análisis espacial: superposición ponderada. Recuperado de: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-weighted-overlay-works.html>
- Aristizábal, E., & Yokota, S. (2006). Geomorphology applied to landslide occurrence in the Aburra Valley. *Dyna*, 149, pp. 5–16.
- 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), pp. 15–31.
- Barrera, J. E., Rivera, J. H., & Cadena, M. E. (2015). Influencia del sistema radical de cuatro especies vegetales en la estabilidad de laderas a movimientos masales. *Cenicafé*, 64, pp. 59–77.

- Bates, R. L. E., & Jackson, J. A. (1984). *Dictionary of geological terms* (3rd ed.).
- Bautista, j., Oviedo, M., Herrera, M., Ramos J., & Tábor, S. (2016). *Reporte de estudio de edafológico Los Llanos El Ocotal*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras.
- Bohórquez, L. (2013). *Criterios para la evaluación de amenazas por deslizamientos e inundaciones en Honduras*. PNUD; COPECO. Honduras.
- Brunsdon, D. (2002). Geomorphological roulette for engineers and planners: some insights into an old game. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 35(2), pp. 101–142.
- Calvinmontes, L., Muñoz A., Santizo, R., Lamiño, P., Portillo, & Polanco. (2016). *Reporte de estudio edafológico Finca Agroecológica*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras.
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., & Reichenbach, P. (1995). GIS technology in mapping landslide hazard. In A. Carrara & F. Guzzetti (Eds.), *Advances in natural and technological hazards research: Vol. 5. Geographical Information Systems in assessing natural hazards*, 5, pp.135–175.
- Chacón, J., Irigaray, C., Fernández, T., & El Hamdouni, R. (2006). Engineering geology maps: landslides and geographical information systems. *Bulletin of engineering geology and the environment*, 65(4), pp. 341–411.
- Chacón, J. (2008). *Los conceptos actuales de susceptibilidad, peligrosidad y riesgo, en la prevención de movimientos de ladera, con ejemplos de aplicaciones prácticas*. 44º Congresso Brasileiro de Geologia, Brasil.
- Chacón, J. (2012). Movimientos de ladera: clasificación y análisis de la evolución espacial y temporal. *Asociación argentina de geología aplicada a la ingeniería*, 28, pp. 73–89.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2012). *La economía del cambio climático en Centroamérica: Síntesis 2012*. CEPAL. México.
- Congreso Nacional de Honduras (31 de diciembre de 1993) Ley de Ordenamiento Territorial. [Decreto 9-90-E]
- Congreso Nacional de Honduras (30 de diciembre de 2003) Ley de Contingencia Nacional. [Decreto 180 -2003]
- Congreso Nacional de Honduras (28 de agosto de 2009) Ley de Sistema Nacional de Gestión de Riesgos.

- Comisión Permanente de Contingencia (2003). *Informe final: proyecto RAP-CA / Honduras: aplicación de los sistema de información geográfica para el análisis de amenazas y riesgos naturales*. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation; UNESCO. Tegucigalpa, Honduras.
- Comisión Permanente de Contingencia (2013b). *Recomendaciones técnicas para la elaboración de mapas de amenazas por movimientos de laderas*. RyDH, COPECO, COSUDE, & PNUD. Honduras.
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). *Landslide Types and Processes*. United States Geology Survey (USGS).
- Cruden, D. M., Beltran, L., Krauter, E., Lefebvre, G., G.I.Ter-Stepanian, & Zhouyuan, Z. (1993). *Multilingual Landslide Glossary*. The International Geotechnical Societies
- Dahal, R. K., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yamanaka, M., Masuda, T., & Nishino, K. (2008). GIS-based weights-of-evidence modelling of rainfall-induced landslides in small catchments for landslide susceptibility mapping. *Environmental Geology*, 54(2), pp. 311–324.
- Dubón, J. (2007). *Estudio general de suelos de las áreas de montaña en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras* (Tesis). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Esquivel, C., Mendoza B., & Querubin, C.. (2011). *Plan de manejo y conservación de suelos para la producción de sandía y forraje* (Tesis) Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (2009). *Terminología sobre la reducción del riesgo de desastres*. UNISDR. Honduras.
- Field, C., Barros, V., Dokken, D., Mach, K., Mastrandrea, M., Bilir, T., . . . Whute, L. (2014). Cambio climático 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad: Quinto Informe de Evaluación del Resumen para responsables de políticas. Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Suiza.
- González, C., Ibañez, D., & García, J. (2013). *Mapa de amenaza por remoción de masa Tegucigalpa, Honduras*. CiAmbiental. Honduras.
- Harp, E. L. (2002). *Landslide susceptibility map of Tegucigalpa, Honduras* United State Geology Survey (USGS). Honduras.
- Herrera, C., & Velis, K. (2016). *Reporte de estudio edafológico de Santa Inés*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras.
- Huabin, W., Gangjun, L., Weiya, X., & Gonghui, W. (2005). GIS-based landslide hazard assessment: An overview. *Progress in Physical Geography*, 29(4), pp. 548–567.

- Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, *11*(2), pp. 167–194.
- Instituto Geográfico Nacional (1993). *Mapa nacional con curvas a nivel: Hoja cartográfica San Antonio de Oriente*. IGN. Honduras:
- Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (2015). *Atlas municipal: forestal y cobertura de tierra de Honduras: San Antonio de Oriente, Francisco Morazán*. ICF. Honduras.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2016). *Reporte de datos Censo Nacional 2013*. Disponible en: <http://www.ine.gob.hn/>.
- Lanni, C., McDonnell, J., Hopp, L., & Rigon, R. (2013). Simulated effect of soil depth and bedrock topography on near-surface hydrologic response and slope stability. *Earth surface processes and landforms*, *38*(2), pp. 146–159.
- Lee, C. F., Li, J., Xu, Z. W., & Dai, F. C. (2001). Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environmental Geology*, *40*(3), pp. 381–391.
- Lee, S., Ryu, J.-H., Won, J.-S., & Park, H.-J. (2004). Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network. *Engineering Geology*, *71*(3-4), pp. 289–302.
- Lovo, J. J., Saavedra, J. E., & Saravia, R. (2013). *Calidad de los suelos y plan de adecuación para los terrenos de uso agrícola y pecuario de Zamorano, Honduras* (Tesis). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Malamud, B. D., Turcotte, D. L., Guzzetti, F., & Reichenbach, P. (2004). Landslide inventories and their statistical properties. *Earth Surface Processes and Landforms*, *29*(6), pp. 687–711.
- Masgrau, R., & Lluís. (2004). Los mapas de riesgo de inundaciones: representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas. *Documents d'Anàlisi Geogràfica.*, *43*, pp. 153–171.
- Mora, A., & Rogríguez, M. (2014). *Calidad de suelos en dos zonas de vocación forestal y recomendaciones de manejo en la E.A.P. Zamorano, Honduras* (Tesis). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Mora, R. (2004). *Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del cantón de san José, provincia de San José, Costa Rica* (Tesis). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

- Morales, A. G. (2014). *Evaluación de la vulnerabilidad a contaminación de las aguas subterráneas del Valle del Yeguaré mediante la metodología DRASTIC* (Tesis). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Moreiras, S. M. (2005). Landslide susceptibility zonation in the rio Mendoza Valley, Argentina. *Geomorphology*, 66(1-4), pp. 345–357.
- Mujica, S., & Pacheco, H. (2013). Metodología para la generación de un modelo de zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa, en la cuenca del río Camurí Grande, estado Vargas, Venezuela. *Revista de Investigación*, 37(80), pp. 215–244.
- Naciones Unidas (2004). *Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo*. ONU. Paris.
- Obregón, C. & Lara, J. (2013). El mapa de susceptibilidad a movimientos en masa: una herramienta para la gestión sostenible del territorio. *Espacio y Desarrollo*, 25, pp. 49–64.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2011). *en tierra segura: desastres naturales y tenencia de tierra: Honduras: La amenaza hidrometeorológica*. FAO; Un-HABITAT. Honduras.
- Pachauri, A. K., Gupta, P. V., & Chander, R. (1998). Landslide zoning in a part of the Garhwal Himalayas. *Environmental Geology*, 36(3-4), pp. 325–334.
- Paz, V., Villalobos, A., Mayorga D., Castellanos, Rizo, J., Clavijo, & Echeverría, O. (2014). *Reporte estudio edafológico Finca REMAR*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras
- Pisco, E. (2017). *Mapa de cartografía básica de comunidades y asentamientos del municipio de San Antonio de Oriente, Honduras* (Tesis). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Reyes, W., Jiménez, F., Velásquez, S., & Faustino, J. (2006). Vulnerabilidad y áreas críticas a deslizamientos en la microcuenca del río Talgua, Honduras. *Recursos Naturales y Ambiente*. (48), pp. 103–110.
- Reyes, W. (2003). *Vulnerabilidad a desastres naturales, determinación de áreas críticas y propuesta de mitigación en la microcuenca del río Talgua, Catacamas, Honduras* (Tesis Postgrado). Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza, Costa Rica.
- Riesgo y Desalio Honduras (s.f.). Pérdidas por desastres en Honduras. Disponible en: http://riesgosydesarrollo.org/web/?page_id=307
- Rodas, O., Elías, S., Castañeda, W., & Umaña, I. (2007). *Las cuencas y la gestión del riesgo a los desastres naturales en Guatemala*. FAO. Guatemala.

- Rubiano, D., & Ramírez, F. (2009). *Incorporando la gestión del riesgo de desastres en la planificación y gestión territorial: Guía técnica para la interpretación y aplicación del análisis de amenazas y riesgos* (1a ed.). Comunidad Andina. Lima, Perú.
- Riesgo y Desarrollo Honduras (s.f.). Proyecto de implementación de política de recuperación temprana a desastres. Riesgo y Desarrollo Honduras. Disponible en: http://riesgosydesarrollo.org/web/?page_id=116
- Salgado, R., Velásquez, S., Jiménez, F., & Faustino, J. (2006). Análisis integral del riesgo a deslizamiento e inundaciones en la microcuencia del río Gila, Honduras. *Recursos Naturales y Ambiente*, 48, pp. 93-102,
- Salgado Montoya, R. A. (2005). *Integral analysis of landslide and flood risks in the río Gila micro-watershed in Copán, Honduras* (Tesis Postgrado). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica.
- Secretaría de Gobernación y Justicia de Honduras (2009). *Propuesta metodológica para la elaboración y/o actualización de planes de desarrollo municipal con enfoque de ordenamiento territorial*. PNUD. Honduras.
- Secretaria de Recursos Naturales y Ambiente (2010). Vulnerabilidad de Honduras ante los efectos del cambio climático. SERNA; SEDUCA. Honduras. Disponible en http://www.bvsde.org.ni/Web_textos/GOLFONSECA/0174/15%20VulnerabilidadHonduras%202.pdf
- Servicio Geológico de los Estados Unidos (2000). *Mapa geológico nacional de Honduras*. Honduras:
- Shimokawa, E. (1984). A natural recovery process of vegetation on landslide scars and landside periodicity in forested drainage basins. *Proc. Symposium on Effects of Forest Land Use on Erosion and Slope Stability*, pp. 99–107.
- Suarez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Colombia: UIS.
- Suarez, J. (2009). *Deslizamientos: técnicas de remediación*. Colombia: UIS.
- Suárez, G., & Sánchez, W. (2012). *Desastres, riesgo y desarrollo en Honduras*. PNUD. Honduras.
- Trustrum, N. A., & Rose, R. C. de. (1988). Soil depth-age relationship of landslides on deforested hillslopes, taranaki, New Zealand. *Geomorphology*, 1(2), pp. 143–160.
- Varnes, D. J. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. France.

- Vélez, C. (2013). *Cartografía de las coberturas y los usos de la tierra para una evaluación de la fragmentación en el municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Villacorta, S., Fidel, L., & Zavala, B. (2012). Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa de Perú. *Asociación Geológica Argentina*, 69, pp. 393–399.
- Westen, C. van, Montoya, L., & Vargas, R. (2003). *Aplicación de SIG para la evaluación de amenazas y riesgos: Tegucigalpa, Honduras*. UNESCO.-Honduras.
- Wu, W., & Sidle, R. C. (1995). A distributed slope stability model for steep forested basins. *Water Resources Research*, 31(8), pp. 2097–2110.

7. ANEXOS

Anexo 1. Guía de clasificación de movimientos de masa elaborada para el levantamiento de campo en el municipio de San Antonio de Oriente, Honduras.

Guía de clasificación de movimientos de masa

Autor

Luis Ernesto Pineda Salazar

Los movimientos de masa, comúnmente llamados “deslizamientos” o “derrumbes” sin distinción alguna, incluyen una “diversidad de procesos que resultan en el movimiento descendiente y externo de los materiales que conforman la ladera incluidos el suelo, rocas, rellenos artificiales y la combinación de los mismos” (Cruden & Varnes, 1996). La presente guía propone una clasificación rudimentaria de los mismos con fines de toma de datos académicos. Para la elaboración de la misma se utiliza como base el sistema de clasificación Cruden & Varnes, 1996, la actualización del mismo por Hungr et al., 2014, la guía de clasificación por Chacón (2012) y el manual de Recomendaciones Técnicas para Mapeo de Movimiento de Laderas por RyDH, COPECO, COSUDE, & PNUD, 2013a.

Los movimientos de ladera o movimientos de masa se dividen tradicionalmente en cinco categorías (Cruden & Varnes, 1996; Hungr et al., 2014):

Caída (*Fall*): movimientos abruptos de masas de suelo, roca o materiales geológicos que se separan de un talud de pendiente pronunciada o acantilados (Cruden & Varnes, 1996). Se caracterizan por poca o nula deformación de la masa en movimiento, mayormente fragmentación de roca al chocar o rodar, y por una trayectoria de caída libre, rotatoria o en rebotes (Hungr et al., 2014). La separación ocurre a lo largo de discontinuidades como fracturas, uniones de materiales y planos de estratificación; usualmente de un volumen limitado. Estas pueden ser aisladas, cuando involucran pequeñas masas que se movilizan individualmente, o afectar a un área completa del talud.

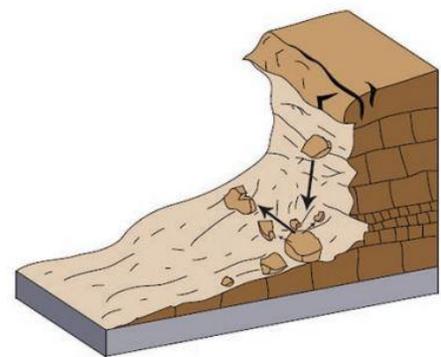


Figura 1. Caída (Rockfall). Fuente: (Highland, L.M. & Bobrowsky, Peter, 2008, p. 7)

Vuelcos (*Topple*): los vuelcos se consideran aquellos movimiento rotacionales hacia adelante y fuera del talud de una o varias unidades de suelo, roca u otro material geológico a partir de un punto pivotante o eje situado por debajo del centro de gravedad de la misma.

El origen de la misma suelen ser fuerzas de unidades adyacentes o por fluidos en las grietas y fallas del talud (Cruden et al., 1993; Cruden & Varnes, 1996). El movimiento puede iniciar de manera lenta, pero sus últimas etapas suelen ocurrir de manera brusca. A diferencia de las caídas estas pueden ocurrir a cualquier escala involucrando grandes masas movilizadas de material geológico (Hungr et al., 2014).

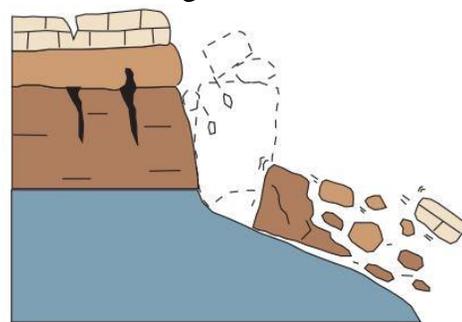


Figura 2. Vuelco (Topple). Fuente: Highland, L.M., Bobrowsky, Peter 2008, p. 9

Deslizamientos (*Slides*): el término es utilizado de manera muy general para diversos tipos de movimientos, sin embargo Cruden lo distingue del resto por “un movimiento de masa, en el que existe una distintiva zona de debilidad (falla) que separa el material que se desliza de un material subyacente más estable” (1996). Por lo general, en los deslizamientos traslacionales o de bloques, involucran deformaciones íntimas mínimas o nulas de la masa en movimiento.

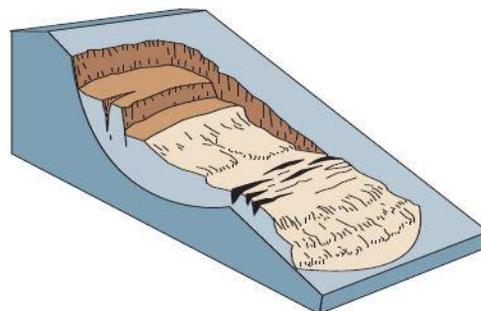


Figura 3. Deslizamiento (Slide). Fuente: Highland, L.M., Bobrowsky, Peter 2008, p. 11

Propagación lateral (*Lateral spread*): La propagación o extensión lateral se caracteriza por ocurrir en terrenos de pendiente baja o moderada. La causa del mismo es un proceso de licuefacción (perdida de cohesión usualmente por saturación) de los materiales. La superficie de falla no suele ser de corte intenso, más bien producida por la ruptura de un material cohesivo o roca superior que yace sobre un material más blando (que ha sufrido un proceso de licuefacción).

La rapidez del movimiento puede ser de lenta a extremadamente rápida, dependiendo de los materiales blandos que la componen y sus causas se ven relacionadas usualmente a procesos extremos como terremotos o tormentas, pero pueden ocurrir de manera espontánea y progresiva (Cruden & Varnes, 1996; Hungr et al., 2014).



Figura 4. Propagación lateral (lateral spread). Fuente: Highland, L.M., Bobrowsky, Peter 2008, p. 15

Flujos (Flows): movimiento espacialmente continuo de una masa de tierra, escombros y otros materiales geológicos. El movimiento y velocidad de la misma se presenta como un movimiento de una sustancia viscosa y una deformación plástica del perfil del suelo. Conlleva una deformación íntima de la masa en movimiento y su ocurrencia y velocidad se encuentran estrechamente relacionada con la saturación del suelo y eventos como tormentas (Chacón, 2012; Cruden et al., 1993).

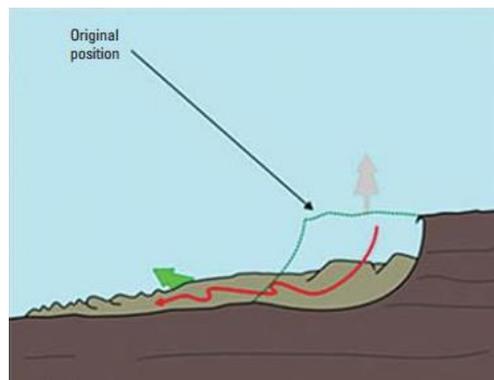
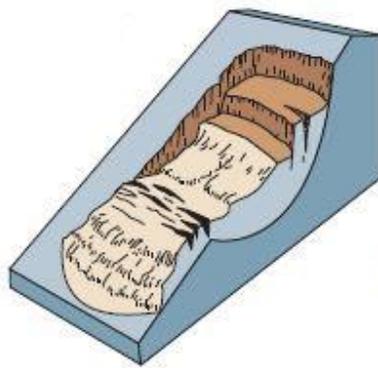


Figura 5. Flujo (Flow). Fuente: Highland, L.M., Bobrowsky, Peter 2008, p. 23

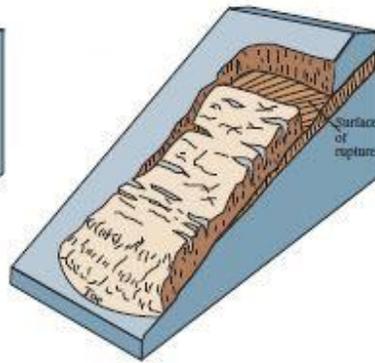
La combinación de uno o más de los anteriores tipos de movimientos de masa suele ser categorizado como movimientos **complejos (Complex)**. Existen además otras clasificaciones menos utilizadas o de uso común que pueden ser reclasificadas fácilmente dentro de las anteriores. Las **avalanchas (Debris avalanche)** son deslizamientos de escombros que ocurren a velocidades muy rápidas que deforman considerablemente un talud. Los **creeps (creeps)** son flujos de tierra que abarcan superficies extensas a una velocidad extremadamente lenta pero cuyas consecuencias se acumulan con el paso de los años ocasionando daños a infraestructuras y vegetación.

En cuanto a los materiales que se ven involucrados en los movimientos de masa se pueden clasificar de manera general en movimientos de **roca, detritos y suelo**. Los movimientos de **roca** son aquellos en el cual el material está compuesto en su mayoría por rocas y escombros de mediano y gran tamaño. **Detritos** se utiliza para designar a la combinación de materiales de textura predominantemente gruesa (>40%) y fragmentos de roca u otros escombros (Hungry et al., 2014). El resto de materiales en los cuales domina suelo suelto o agregado de texturas finas, materia orgánica y, en menor medida, fragmentos pequeños de roca, se aplica de manera general como **suelo** (Bates & Jackson, 1984; Hungry et al., 2014).

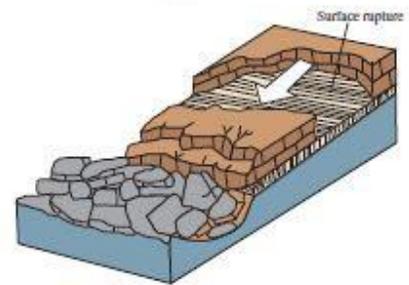
Además existen otras dos clasificaciones que se refieren más que al material de la masa, a la estructura de la misma. Los flujos de **lodo** son aquellos flujos de suelo que se combinan con grandes cantidades de agua que pueden alcanzar hasta un 60% de material movilizado (Bates & Jackson, 1984). En este caso en específico se refiere también a la visible plasticidad del material en movimiento (Hungry et al., 2014). También se designa a movimientos de **bloque** cuando las masas movilizadas se desplazan de la superficie de ruptura como unidad o pocas unidades relacionadas cercanamente como una masa relativamente coherente (Cruden & Varnes, 1996).



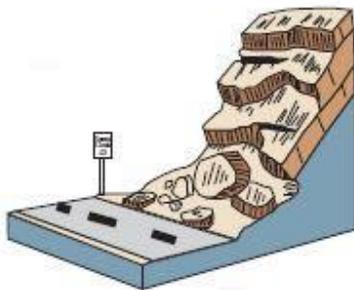
Deslizamiento rotacional



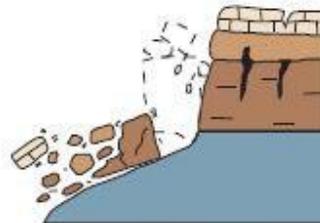
Deslizamiento Traslacional



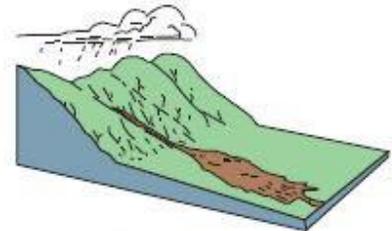
Deslizamiento de bloque



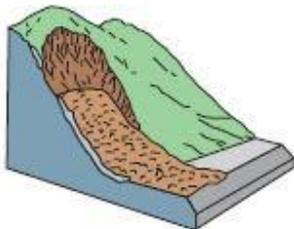
Caída



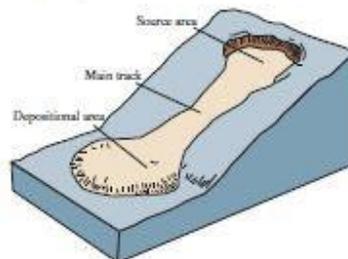
Vuelco



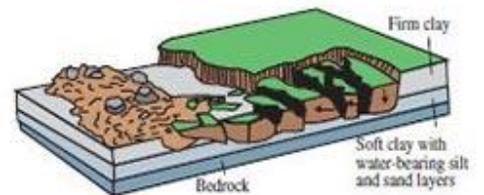
Flujo de suelo



Flujo de escombros



Flujo de lodo



Propagación lateral

Figura 6. Resumen de tipos de movimientos de masa. Fuente: Cruden & Varnes, 1996, p. 4

Anexo 2. Ficha Técnica de levantamiento de datos de campo en el inventario a movimientos de masa en el municipio de San Antonio de Oriente, Honduras.

FICHA DE DATOS DE MOVIMIENTOS DE MASA

I. DATOS BASICOS

a) Datos de registro

Nº registro:

Fecha de registro (dd-mes-año):

Identificador:

b) Localización del movimiento:

Sitio¹: _____

Localidad²: _____

Municipio: _____

Departamento: _____

Coordenada X: _____

Coordenada Y: _____

datum: _____

Observaciones:

Fotografías tomadas en campo:

¹ Especificar el nombre del área (sector, km, etc) donde ocurrió el evento (por ej. Km 17 carretera...)

² Especificar el nombre del volcán, cerro, montaña, comarca, barrio, etc

II. DATOS TÉCNICOS

a) Características del Movimiento de Masas

▪ Tipo de movimiento y Subtipo:

Deslizamiento	Flujo	Caída
Bloques	Lodo	Caída aislada
Detritos	Suelo	Caída de Bloques
Roca	Detritos	Derrumbes de rocas

Vuelcos	Propagación	Complejos
Suelo	Suelo	Suelo
Detritos	Roca	Bloque
Roca		Detritos o Roca

Movimiento localizado

Área inestable

b) Factores Desencadenantes

- Precipitaciones intensas (Máximas intensidades)
- Precipitaciones prolongadas (horas/días de lluvias y cantidad en mm)
- Erosión o socavamiento en la base de la ladera o del talud
- Fenómenos cársticos (Surgimiento de agua subterránea)
- Movimientos sísmicos
- Actividad volcánica
- Tormenta/ huracán Nombre:
- Actividad biológica (vegetación y organismos subterráneos)
- Actividad antrópica (rellenos, prácticas agrícolas, minería, obra civil, etc.)
- Otros:

Observaciones:

c) Caracterización temporal del fenómeno

Fecha del movimiento: _____

Edad del movimiento³:

Reciente Histórico Fósil

Grado de Actividad⁴:

Activo Poco Activo Inactivo

Grado de desarrollo⁵:

Incipiente Avanzado Detenido

d) Uso del suelo en el área afectada (anterior y actual):

Urbano

Edificado Industria e infraestructura
 No edificado

Cultivos

Ciclo corto
 Permanente

Pastos

Natural
 Mejorado

Forestal

Latifoliado
 Conífera
 Mixto
 Plantación

Descripción Breve:

e) Estado de Conservación y Rasgos Presentes sobre el Depósito

Presencia de vegetación en la cicatriz:

Desnuda Semivegetada Herbácea
Arbustiva Arbórea

Cobertura⁶:

³ Reciente: < 100 años. Fósil: surgimiento previo a cualquier tipo de registro.

⁴ Activos: movimientos recurrentes por temporadas o anuales. Poco activo: existencia de movimientos anteriores a 12 meses no recurrente. Inactivo: Inexistencia de movimientos posteriores a su origen.

⁵ Incipiente: el área afectada inicia a sufrir modificaciones de velocidad lenta a media. Avanzado: el área afectada ya ha sufrido modificaciones considerables y se encuentra en movimiento de lento a rápido. Detenido: no se observan modificaciones visibles.

⁶ Tomar fotografía completa del área afectada

>70% 70-40% < 40%

Presencia de vegetación sobre el depósito:

Desnudo Semivegetada Herbácea
Arbustiva Arbórea Agrícola

Cobertura:

>70% 70-40% < 40%

Depósito:

Sin erosión perceptible Con erosión perceptible
Estructura incoherente⁷

f) Evaluación de daños

Nº de víctimas:

Nº de heridos:

Nº de muertos:

Nº de viviendas afectadas:

Daños a infraestructuras transporte y comunicaciones:

Carreteras Caminos Antenas
Líneas de comunicaciones Otros

Otras edificaciones afectadas:

Educativos Administrativos Centros Operativos
Hospitales Otros

Daños a infraestructura de recursos hídricos:

Cauces y embalses Depósitos de agua
Redes de abastecimiento Redes de saneamiento Otros

g) Tipos de Medidas adoptadas

Describir brevemente la existencia y tipo de medidas de protección u obras de mitigación así como el ejecutor (individuos, comunidades o entidad pública).

⁷ Escombros sin una estructura/forma determinada.

Anexo 3. Información técnica del inventario movimientos de masa de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras (2017).

Cuadro Información Técnica de Inventario de Movimientos de Masa

Ficha	X	Y	Localidad	Tipo	Subtipo		Factor Desencadenante
1	509031	1542271	Las Moras	Flujo	Suelo	Mov. Localizado	Huracán Mitch
2	508950	1543966	La lima, El Guayabo	Flujo	Suelo	Mov. Localizado	Precipitaciones prolongadas
3	495392	1550413	Qbr. Aguas María	Flujo		Mov. Localizado	Huracán Mitch
4	492098	1550759	Uyuca	Flujo	Suelo	Mov. Localizado	Huracán Mitch
5	491691	1552311	Falla La Montañita	Flujo	Suelo	Área inestable	Erosión o socavamiento base
6	494132	1550661	Las minitas	Flujo	Rocas	Mov. Localizado	Huracán Mitch
7	494734	1550174	Quiebra patas	Flujo	Detritos	Mov. Localizado	Huracán Mitch
8	495200	1550057	Qbr. Las Cuevitas	Flujo	Rocas	Área inestable	Huracán Mitch
9	494864	1548654	El Chagüite	Flujo	Detritos	Área inestable	Huracán Mitch
10	495212	1549831	Quiebrapatras	Caída	Aislada	Mov. Localizado	Inestabilidad
11	494450	1554883	Carretera La Estancia	Flujo	Suelo	Mov. Localizado	-
12	497335	1556305	La ciénega	Caída	Aislada	Mov. Localizado	-
13	497828	1556263	Los potreros, La ciénega	Flujo	Suelo	Mov. Localizado	Huracán Mitch
14	497205	1555939	La ciénega	Flujo	Suelo	Mov. Localizado	Huracán Mitch
15	498275	1556295	Los potreros, La ciénega	Caída	Rocas	Mov. Localizado	Precipitaciones prolongadas
16	497927	1555976	La ciénega	Flujo	Suelo	Área inestable	Huracán Mitch
17	492888	1552173	Carretera CA-4	Caída	Aislada	Mov. Localizado	Actividad Antrópica
18	497143	1549888	Jicarito	Deslizamiento	Bloque	Mov. Localizado	Precipitaciones prolongadas

- Dato desconocido/no corroborado.

Cuadro Información Técnica de Inventario de Movimientos de Masa (Continuación)

Ficha	Fecha	Edad	Actividad	Grado	Vegetación Cicatriz	Cobertura Cicatriz	Uso	Sub uso
1	03/11/1998	Reciente	Inactivo	Detenido	Herbácea	> 70%	Forestal	Mixto
2	2001	Reciente	Activo	Incipiente	Desnudo	§	Cultivo	Ciclo corto
3	03/11/1998	Reciente	Poco activo	Avanzado	Semivegetada	< 40%	Forestal	Mixto
4	03/11/1998	Reciente	Inactivo	Detenido	Arbustiva	> 70%	Forestal	Latifoliado
5	03/11/1998	Reciente	Activo	Avanzado	Arbustiva	> 70%	Forestal	Conífera
6	03/11/1998	Reciente	Inactivo	Detenido	Herbácea	> 70%	Forestal	Conífera
7	03/11/1998	Reciente	Inactivo	Detenido	Desnudo	§	Forestal	Conífera
8	03/11/1998	Reciente	Activo	Avanzado	Desnudo	§	Forestal	Conífera
9	03/11/1998	Reciente	Inactivo	Detenido	Arbustiva	40 - 70 %	Forestal	Mixto
10	-	Histórico	Poco activo	Detenido	Desnudo	§	Forestal	Mixto
11	-	-	Activo	Avanzado	Arbustiva	70 - 40 %	Forestal	Conífera
12	-	Histórico	Inactivo	Detenido	Herbácea	> 70%	Cultivo	Ciclo corto
13	03/11/1998	Reciente	Activo	Avanzado	Herbácea	70 - 40%	Forestal	Conífera
14	03/11/1998	Reciente	Inactivo	Detenido	Arbustiva	> 70%	Cultivo	Ciclo corto
15	01/06/2017	Reciente	Activo	Avanzado	Arbustiva	> 70%	Agrícola	Ciclo corto
16	03/11/1998	Reciente	Inactivo	Detenido	Árborea	> 70%	Forestal	Conífera
17	-	Reciente	Activo	Avanzado	Desnudo	§	Forestal	Conífera
18	01/0/2016	Reciente	Inactivo	Avanzado	Desnuda	§	Urbano	Edificado

- Datos desconocido/no corroborado.

§ No aplica

Anexo 4. Información técnica de puntos de información clave de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras (2017).

Cuadro Información Técnica de Puntos de Información Clave

Ficha	X	Y	Localidad	Relieve	Actividad	Vegetación	Cobertura	Uso	Sub uso	Fuente
1	500982	1551448	Los Llanos, El Ocotal	Llano	Ninguna	Arbustiva	> 70%	Vegetación	Matorrales	Aizprua et al., 2016
2	500500	1550800	Los Llanos, El Ocotal	Llano	Ninguna	Arbustiva	>70%	Vegetación	Matorrales	Buatista et al., 2016
3	502133	1546301	Finca Agroecológica	Llano	Ninguna	Arbórea	> 70%	Cultivo	Permanentes y ciclo corto	Albornoz, et al., 2016
4	505200	1545400	Santa Inés	Escarpado	Ninguna	Arbórea	> 70%	Forestal	Conífera	Calvinmontes, et al., 2016
5	504007	1550332	REMAR	Llano	Ninguna	Semivegetada	< 40%	Agricultura	Matorrales y bosque ralo	Herrera, 2016
6	503000	1553000	Ferrari	Ladera	Ninguna	Arbórea	> 70%	Forestal	Bosque de pino ralo	Pineda, 2017
7	500465	1544343	San Francisco	Valle	Ninguna	Semivegetada	< 40%	Cultivo	Ciclo corto	Dubón, 2007
8	499625	1547051	El Pivote, Zamorano	Valle	Ninguna	Semivegetada	< 40%	Cultivo	Ciclo corto	Morales, 2014
9	498701	1548808	Campus Central, Zamorano	Valle	Ninguna	Semivegetada	< 40%	Urbano	Asentamientos Humanos	Pineda, 2017

Anexo 5. Base de datos de consolidado de profundidades de suelo del municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.

Consolidado de profundidades de suelo, San Antonio de Oriente

N°	X	Y	Profundidad	Lugar	Fuente
1	498635	1546587	III	Finca E. Santos	Lovo, Saavedra, & Saravia, 2013
2	498445	1546476	III	Finca T. Reyes	Lovo et al., 2013
3	500218	1548914	III	Zona 1	Esquivel, 2011
4	506632	1542959	II	Santa Inés	Mora y Rodríguez, 2014
5	506705	1542762	II	Santa Inés	Mora y Rodríguez, 2014
6	506371	1543132	II	Santa Inés	Mora y Rodríguez, 2014
7	506115	1543251	V	Santa Inés	Mora y Rodríguez, 2014
8	505404	1544252	II	Santa Inés	Mora y Rodríguez, 2014
9	507723	1543421	I	Santa Inés	Mora y Rodríguez, 2014
10	505459	1545818	II	Santa Inés	Mora y Rodríguez, 2014
11	505425	1544870	II	Santa Inés	Mora y Rodríguez, 2014
12	505582	1545292	IV	Santa Inés	Mora y Rodríguez, 2014
13	503653	1545882	V	Santa Inés	Mora y Rodríguez, 2014
14	504963	1545479	II	Santa Inés	Mora y Rodríguez, 2014
15	504002	1545564	V	Santa Inés	Mora y Rodríguez, 2014
16	503739	1545202	II	Santa Inés	Mora y Rodríguez, 2014
17	498229	1549508	IV	Burro	Mora y Rodríguez, 2014
18	499855	1550307	IV	Llanos	Mora y Rodríguez, 2014
19	499766	1550329	III	Florencia	Mora y Rodríguez, 2014
20	499823	1549281	IV	Pino Zona 1	Mora y Rodríguez, 2014
21	499942	1549444	IV	Pino Zona 1	Mora y Rodríguez, 2014
22	496621	1548189	IV	CADECA	Mora y Rodríguez, 2014
23	495535	1549626	II	Uyuca	Mostacedo <i>et al.</i> . 2007
24	495620	1549490	II	Uyuca	Mostacedo <i>et al.</i> . 2007
25	495848	1549107	I	Uyuca	Mostacedo <i>et al.</i> . 2007
26	495867	1549030	II	Uyuca	Mostacedo <i>et al.</i> . 2007
27	495164	1550678	I	Uyuca	Mostacedo <i>et al.</i> . 2007
28	497786	1550239	II	Uyuca	Luna <i>et al.</i> . 2007
29	497802	1550061	IV	Uyuca	Luna <i>et al.</i> . 2007
30	497591	1550055	I	Uyuca	Luna <i>et al.</i> . 2007

Profundidades: I. Muy profundo (> 120 cm); II. Profundo (90 – 120 cm); III. Moderadamente profundo (60 – 90 cm); IV. Poco profundo (30 – 60 cm); V. Superficial (< 30 cm).

Consolidado de profundidades de suelo, San Antonio de Oriente (Continuación)

N°	X	Y	Profundidad	Lugar	Fuente
31	498195	1550216	III	Uyuca	Luna <i>et al.</i> . 2007
32	494952	1550252	III	Uyuca	Luna <i>et al.</i> . 2007
33	494333	1550257	II	Uyuca	Luna <i>et al.</i> . 2007
34	495400	1549100	III	Uyuca	Luna <i>et al.</i> . 2007
35	494813	1549138	IV	Uyuca	Luna <i>et al.</i> . 2007
36	505568	1545426	IV	Uyuca	Dubón, E; Chica, R. 2007
37	505717	1545475	III	Uyuca	Dubón, E; Chica, R. 2007
38	505442	1544874	IV	Uyuca	Dubón, E; Cruz, E. 2007
39	504905	1544740	V	Uyuca	Dubón, E; Cruz, E. 2007
40	507156	1543317	IV	Uyuca	Dubón, E; Cruz, E. 2007
41	505465	1544944	IV	Uyuca	Dubón, E; Cruz, E. 2007
42	498200	1546300	II	Masicarán	Dubón, E; Cruz, E. 2007
43	497900	1546200	IV	Masicarán	Dubón, E; Cruz, E. 2007
44	498170	1544958	IV	Masicarán	Dubón, E; Cruz, E. 2007
45	498000	1545042	IV	Masicarán	Dubón, E; Cruz, E. 2007
46	498100	1545250	IV	Masicarán	Dubón, E; Cruz, E. 2007
47	498340	1545300	III	Masicarán	Dubón, E; Cruz, E. 2007
48	495063	1549194	V	Ferrari	Domínguez <i>et al.</i> . 2007
49	495000	1549200	IV	Ferrari	Domínguez <i>et al.</i> . 2007
50	501400	1552526	V	Ferrari	Dubón, E. 2007
51	501310	1552510	V	Ferrari	Dubón, E. 2007
52	501694	1552145	V	Ferrari	Dubón, E. 2007
53	501834	1552391	IV	Ferrari	Dubón, E. 2007
54	501977	1552877	V	Ferrari	Dubón, E. 2007
55	502287	1552750	IV	Ferrari	Dubón, E. 2007
56	503600	1552979	IV	Ferrari	Dubón, E. 2007
57	503284	1552661	V	Ferrari	Dubón, E. 2007
58	503061	1552612	V	Ferrari	Dubón, E. 2007
59	501290	1551345	III	Los Llanos	Pineda 2016
60	500580	1551872	IV	Los Llanos	Oviedo, 2016

Profundidades: I. Muy profundo (> 120 cm); II. Profundo (90 – 120 cm); III. Moderadamente profundo (60 – 90 cm); IV. Poco profundo (30 – 60 cm); V. Superficial (< 30 cm).

Consolidado de profundidades de suelo, San Antonio de Oriente (Continuación)

N°	X	Y	Profundidad	Lugar	Fuente
61	500590	1551520	IV	Los Llanos	Oviedo, 2016
62	500452	1551720	IV	Los Llanos	Oviedo, 2016
63	504030	1550350	I	REMAR	Castellanos, et al. 2014
64	503965	1550323	II	REMAR	Castellanos, et al. 2014
65	503883	1550317	II	REMAR	Castellanos, et al. 2014
66	500303	1549128	IV	Zona 1	Esquivel, 2011
67	500409	1549400	IV	Zona 1	Esquivel, 2011
68	499945	1548989	IV	Zona 1	Esquivel, 2011
69	500189	1549492	III	Zona 1	Esquivel, 2011
70	495787	1549143	II	Uyuca	Mostacedo <i>et al.</i> . 2007
71	497786	1550239	II	Uyuca	Luna <i>et al.</i> . 2007
72	497902	1550099	IV	Uyuca	Luna <i>et al.</i> . 2007
73	497752	1550117	II	Uyuca	Luna <i>et al.</i> . 2007
74	497900	1549956	II	Uyuca	Luna <i>et al.</i> . 2007
75	495268	1549408	II	Uyuca	Luna <i>et al.</i> . 2007
76	494864	1550493	II	Uyuca	Luna <i>et al.</i> . 2007
77	495276	1549200	III	Uyuca	Luna <i>et al.</i> . 2007
78	495256	1549350	III	Uyuca	Bertrand <i>et al.</i> . 2007
79	495375	1549175	III	Uyuca	Bertrand <i>et al.</i> . 2007
80	494762	1549164	IV	Uyuca	Bertrand <i>et al.</i> . 2007
81	493100	1550722	III	Uyuca	Dubón, E; Chica, R. 2007
82	493261	1549681	III	Uyuca	Dubón, E; Chica, R. 2007
83	493616	1550103	I	Uyuca	Dubón, E; Chica, R. 2007
84	493484	1550009	I	Uyuca	Dubón, E; Chica, R. 2007
85	493991	1550535	II	Uyuca	Dubón, E; Chica, R. 2007
86	493367	1550585	II	Uyuca	Dubón, E; Chica, R. 2007
87	492000	1551453	III	Uyuca	Dubón, E; Chica, R. 2007
88	492079	1551014	II	Uyuca	Dubón, E; Chica, R. 2007
89	492231	1550615	III	Uyuca	Dubón, E; Chica, R. 2007
90	492857	1550401	II	Uyuca	Dubón, E; Chica, R. 2007

Profundidades: I. Muy profundo (> 120 cm); II. Profundo (90 – 120 cm); III. Moderadamente profundo (60 – 90 cm); IV. Poco profundo (30 – 60 cm); V. Superficial (< 30 cm).

Consolidado de profundidades de suelo, San Antonio de Oriente (Continuación)

#	X	Y	Profundidad	Lugar	Fuente
91	492804	1550669	II	Uyuca	Dubón, E; Chica, R. 2007
92	507726	1543391	II	Uyuca	Dubón, E; Chica, R. 2007
93	507550	1543450	III	Uyuca	Dubón, E; Chica, R. 2007
94	498522	1546142	II	Masicarán	Dubón, E; Chica, R. 2007
95	498282	1545887	II	Masicarán	Dubón, E; Chica, R. 2007
96	498178	1545957	II	Masicarán	Dubón, E; Chica, R. 2007
97	498050	1544511	II	Masicarán	Dubón, E; Chica, R. 2007
98	498180	1544676	II	Masicarán	Dubón, E; Chica, R. 2007
99	497775	1544660	II	Masicarán	Dubón, E; Chica, R. 2007
100	497583	1544985	II	Masicarán	Dubón, E; Chica, R. 2007
101	498300	1545400	II	Masicarán	Dubón, E; Chica, R. 2007
102	502445	1552727	V	Ferrari	Dubón, E. 2007
103	502613	1552673	V	Ferrari	Dubón, E. 2007
104	502907	1552582	V	Ferrari	Dubón, E. 2007
105	503950	1553405	V	Ferrari	Dubón, E. 2007
106	501970	1546216	IV	Zavala	Morales 2014
107	500054	1549197	IV	Zona I	Morales 2014
108	500075	1547692	IV	Zorrales	Morales 2014
109	499037	1547995	III	Vacas secas	Morales 2014
110	498496	1547482	IV	Gallardo	Morales 2014
111	499612	1548342	IV	Zona III	Morales 2014
112	500984	1547254	III	Monteredondo	Morales 2014
113	500700	1547315	II	Monteredondo	Morales 2014
114	499013	1547293	II	San Nicolas	Morales 2014
115	499589	1546910	IV	San Nicolas	Morales 2014
116	499774	1546078	III	San Francisco	Morales 2014
117	498449	1545154	IV	San Francisco	Morales 2014
118	501248	1543726	IV	San Francisco	Morales 2014
119	498179	1543669	IV	San Francisco	Morales 2014
120	497525	1548236	V	El Pedregal de Cacalupe	Morales 2014

Profundidades: I. Muy profundo (> 120 cm); II. Profundo (90 – 120 cm); III. Moderadamente profundo (60 – 90 cm); IV. Poco profundo (30 – 60 cm); V. Superficial (< 30 cm).

Consolidado de profundidades de suelo, San Antonio de Oriente (Continuación)

#	X	Y	Profundidad	Lugar	Fuente
121	497896	1547852	V	El Pedregal de Cacalupe	Morales 2024
122	497081	1547908	V	El Pedregal de Cacalupe	Morales 2025
123	495203	1559612	V	-	Mapa suelos HN
124	496252	1560687	V	-	Mapa suelos HN
125	498801	1560994	V	-	Mapa suelos HN
126	501259	1563083	V	-	Mapa suelos HN
127	505998	1555803	V	-	Mapa suelos HN
128	509836	1555620	IV	-	Mapa suelos HN
129	509746	1555067	IV	-	Mapa suelos HN
130	510287	1554545	V	-	Mapa suelos HN
131	510197	1554115	IV	-	Mapa suelos HN
132	498678	1546971	II	-	Mapa suelos HN
133	499250	1547115	II	-	Mapa suelos HN
134	499398	1548187	IV	-	Mapa suelos HN
135	500299	1548187	I	-	Mapa suelos HN
136	500297	1548954	II	-	Mapa suelos HN
137	498648	1546958	IV	-	Mapa suelos HN
138	500059	1547265	II	-	Mapa suelos HN
139	501348	1546957	IV	-	Mapa suelos HN
140	499849	1546191	II	-	Mapa suelos HN
141	501349	1549569	II	-	Mapa suelos HN
142	500297	1544042	II	-	Mapa suelos HN
143	501799	1544193	IV	-	Mapa suelos HN
144	501176	1546498	I	-	Mapa suelos HN
145	498895	1545535	IV	-	Mapa suelos HN
146	497076	1548795	V	-	Mapa suelos HN
147	496070	1547372	V	-	Mapa suelos HN
148	496325	1544952	IV	-	Mapa suelos HN
149	499525	1549724	IV	-	Mapa suelos HN
150	499509	1550639	V	-	Mapa suelos HN
151	500745	1550838	III	-	Mapa suelos HN

- Datos desconocido/no corroborado

Profundidades: I. Muy profundo (> 120 cm); II. Profundo (90 – 120 cm); III. Moderadamente profundo (60 – 90 cm); IV. Poco profundo (30 – 60 cm); V. Superficial (< 30 cm).