



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Gestión de la Planificación para el Desarrollo

**MODELO DE DESLIZAMIENTOS MEDIANTE LA EXTENSIÓN SHALSTAB (ARCVIEW)
EN APOYO AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE SAN JUAN ATITÁN,
HUEHUETENANGO**

M.Sc. Ing. William Rolando Sánchez Pérez

Asesorado por la M.Sc. Ing. Víctor Manuel González Vásquez

Guatemala, enero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MODELO DE DESLIZAMIENTOS MEDIANTE LA EXTENSIÓN SHALSTAB (ARCVIEW)
EN APOYO AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE SAN JUAN ATITÁN,
HUEHUETENANGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

M.SC. ING. WILLIAM ROLANDO SÁNCHEZ PÉREZ
ASESORADO POR LA M.SC. ING. VÍCTOR MANUEL GONZÁLEZ VÁSQUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN GESTIÓN DE LA PLANIFICACIÓN PARA EL DESARROLLO

GUATEMALA, ENERO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA DE TESIS

DECANO	Mtra. Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Mtra. Lic. Karen Marleny Ortiz López
EXAMINADOR	Mtro. Lic. Luis Alberto Santos Quiñónez
SECRETARIO	Mtro. Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**MODELO DE DESLIZAMIENTOS MEDIANTE LA EXTENSIÓN SHALSTAB (ARCVIEW)
EN APOYO AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE SAN JUAN ATITÁN,
HUEHUETENANGO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería, de Estudios de Postgrado con fecha 29 de enero de 2022.



M.Sc. Ing. William Rolando Sánchez Pérez



Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadechanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.098.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **MODELO DE DESLIZAMIENTOS MEDIANTE LA EXTENSIÓN SHALSTAB (ARCVIEW) EN APOYO AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE SAN JUAN ATITÁN, HUEHUETENANGO**, presentado por: **M.Sc. Ing. William Rolando Sánchez Pérez**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Gestión de la planificación para el desarrollo después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

A handwritten signature in blue ink, which appears to be "Ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada". This signature is enclosed within a decorative oval border. Inside the border, the text "UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA" is written at the top, followed by "DECANA" and "FACULTAD DE INGENIERÍA" in the center, and a small five-pointed star at the bottom right.

Decana

Guatemala, enero de 2023

AACE/gaoc

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hídricos (ERIS). Post-Grado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad Universitaria, Zona 12. Guatemala, Centroamérica.



ESCUOLA DE ESTUDIOS DE
POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

COORDINACIÓN DESARROLLO
SOCIO-AMBIENTAL Y ENERGÉTICO

Guatemala, 20 de julio de 2022.

M.Sc. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

M.Sc. Ingeniero Álvarez Cotí:

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL** del trabajo de graduación titulado: "**“MODELO DE DESLIZAMIENTOS MEDIANTE LA EXTENSIÓN SHALSTAB (ARCVIEW) EN APOYO AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE SAN JUAN ATITÁN, HUEHUETENANGO”**" del estudiante **William Rolando Sánchez Pérez** quien se identifica con número de carné **009316578** del programa de **Maestría en Gestión de la Planificación para el Desarrollo**.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,


M.Sc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepique
Coordinador
Área de Desarrollo Socio Ambiental y Energético
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC





Guatemala, enero de 2023

LNG.EEP.OI.098.2023

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**"MODELO DE DESLIZAMIENTOS MEDIANTE LA EXTENSIÓN SHALSTAB
(ARCVIEW) EN APOYO AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL
MUNICIPIO DE SAN JUAN ATITÁN, HUEHUETENANGO"**

presentado por **M.Sc. Ing. William Rolando Sánchez Pérez** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Gestión de la planificación para el desarrollo**; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"



Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Colí
Director



**Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería**

Guatemala, 21 mayo 2022.

Ingeniero M.Sc.
Edgar Álvarez Cofi
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC
Ciudad Universitaria, Zona 12

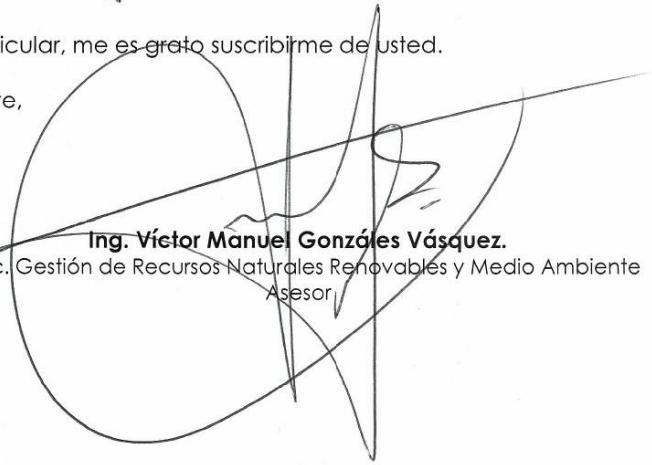
Distinguido Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor de trabajo de graduación del estudiante William Rolando Sánchez Pérez, carné número 009316578, cuyo título es "**MODELO DE DESLIZAMIENTOS MEDIANTE LA EXTENSIÓN SHALSTAB (ARCVIEW) EN APOYO AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE SAN JUAN ATITÁN, HUEHUETENANGO**", para optar al grado académico de Maestro en Gestión de la Panificación para el Desarrollo, he procedido a la revisión de este.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que el estudiante William Rolando Sánchez Pérez, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,


Ing. Víctor Manuel González Vásquez.
M.Sc. Gestión de Recursos Naturales Renovables y Medio Ambiente
Asesor

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por haberme permitido culminar otra meta más en mi vida
Mis padres	Rolando Ociel Sánchez Galindo y Miriam Mirtala Pérez Méndez (q.e.p.d.), por haberme traído al mundo y guiado a través de él. Mi eterno agradecimiento hasta el cielo.
Mis hermanos	Claudina, José, Karol, Danitza y Dilmar Sánchez Pérez, por ser los mejores compañeros y amigos incondicionales e irremplazables que la vida me ha dado.
Mi esposa	Herlinda Mireida De León Escobar, por ser mi mayor felicidad; por su amor, paciencia y comprensión a lo largo de este proceso.
Mis hijos	Johany, Dayensy y William Sánchez De León, por ser mí sólido bastión sobre la cual se sustenta mi razón de vivir
Familia y amigos	Por su cariño y amistad demostrada a lo largo de estos años

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala Por ser el alma *mater* que me permitió nutrirme de conocimientos.

Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.

Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia-SEGEPLAN- Por haberme becado y poder prepararme para mi vida laboral y profesional.

Mis compañeros de estudio Por haberme acompañado durante la maestría.

Mi asesor Msc. Ing. Víctor Manuel González Vásquez, por haberme guiado durante el trabajo de graduación.

Mi coaseor Ing. Besy García por haberme compartido sus conocimientos que me ayudaron a lo largo de la investigación.

Familia y amigos en general Por su apoyo incondicional

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	XV
OBJETIVOS	XIX
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. MARCO REFERENCIAL	1
1.1. Estudios previos	1
1.2. Antecedentes	2
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Información general del municipio de San Juan Atitán	7
2.1.1. Ubicación geográfica	7
2.1.2. Historia, cultura y tradiciones	8
2.1.3. Demografía	9
2.1.4. Cobertura forestal	10
2.1.5. Amenaza y vulnerabilidad	11
2.1.6. Sistemas de información geográfica (SIG)	14
2.2. Software de los sistemas de información geográficas (SIG) ..	15
2.2.1. QGIS	15
2.2.2. gvGIS Desktop	16
2.2.3. SAGA GIS	16

2.2.4.	GRASS GIS.....	16
2.2.5.	MapWindow.....	17
2.2.6.	ILWIS.....	17
2.2.7.	Geo Da.....	18
2.2.8.	uDIG	18
2.2.9.	Open Jump.....	19
2.2.10.	Diva GIS	19
2.3.	Software de los sistemas de información geográficas (SIG) utilizados en el análisis de riesgo.....	20
2.3.1.	Mora-Vahrson.....	20
2.3.2.	SHALSTAB.....	21
2.4.	Aplicación de la herramienta SHALSTAB	22
2.5.	Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) y Plan Nacional de Desarrollo K'atun Nuestra Guatemala 2032 (PND).....	24
2.6.	Sistema Nacional de Planificación	25
2.7.	Planes de ordenamiento territorial	26
2.7.1.	Planes para el desarrollo de los municipios y ordenamiento de sus territorios	27
2.8.	Actores presentes en el municipio	28
2.9.	Código Municipal.....	29
3.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	33
3.1.	Características del estudio	33
3.1.1.	Diseño	33
3.1.2.	Enfoque	33
3.1.3.	Alcance.....	34
3.1.4.	Unidad de análisis	34
3.2.	Variables	34
3.3.	Fases del diseño de investigación	36

3.3.1.	Fase 1. Revisión bibliográfica	36
3.3.2.	Fase 2. Análisis de información	37
3.3.3.	Fase 3. Generación de resultados.....	37
3.3.4.	Fase 4: discusión de resultados	38
3.4.	Técnicas de análisis de información	38
3.5.	Instrumentos y técnica para la recolección de datos.....	39
3.5.1.	Encuesta.....	39
3.5.2.	Muestreo.....	40
4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	41
4.1.	Encuestas realizadas	41
4.2.	Generación del modelo a través de la extensión SHALSTAB del software ArcView.....	44
4.2.1.	Modelo de elevación digital (DEM)	44
4.2.2.	Mapa de pendientes	45
4.2.3.	Mapa de contribución	46
4.2.4.	Mapa ráster de áreas estables e inestables	47
4.3.	Traslado del modelo generado a través de la extensión SHASTAB de ArcView a formato vectorial.	48
4.3.1.	Entrega del modelo y los mapas generados.....	50
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	51
5.1.	Identificación de áreas susceptibles a deslizamientos y uso de herramientas SIG según las encuestas realizadas.	51
5.2.	¿Qué áreas susceptibles a deslizamientos se identificarán a través del modelo generado por la extensión SHALSTAB?	53
5.3.	¿Cómo el modelo de la extensión SHALSTAB se puede transformar a un formato vectorial para un mejor análisis en los programas SIG?	54

5.4.	¿Podrían ser incluidos los mapas generados a través del modelo de la extensión SHALSTAB y los formatos vectoriales como un apoyo en el análisis de los procesos de ordenamiento territorial que se realizan en el municipio de San Juan Atitán a través de los Planes de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial - PDMOT- de la metodología de la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia -SEGEPLAN-?.....	59
5.5.	¿Cómo el modelo de deslizamientos generado con la extensión SHALSTAB del software ArcView puede apoyar la administración del territorio y el ordenamiento territorial del municipio de San Juan Atitán?.....	60
CONCLUSIONES.....		63
RECOMENDACIONES		65
REFERENCIAS.....		67
APÉNDICES.....		73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Árbol de problemas	XVII
2.	Ubicación del municipio de San Juan Atitán Huehuetenango	8
3.	Fallas geológicas en Guatemala	12
4.	Amenaza por inundaciones y deslizamiento	13
5.	Mapa generado a través de la extensión SHALSTAB	23
6.	DEM del satélite ALOS.....	44
7.	Modelo de Elevación Digital	45
8.	Mapa de pendientes.....	46
9.	Mapa de contribución	47
10.	Mapa ráster de la extensión SHALSTAB.....	48
11.	Mapa en formato vectorial	49
12.	Mapa de áreas estables e inestables de la cabecera municipal.....	50
13.	Áreas estables e inestables en el municipio de San Juan Atitán.....	54
14.	Áreas estables e inestables presentes en el área rural del municipio	56
15.	Áreas estables e inestables en la cabecera municipal	58
16.	Áreas estables e inestables vistas desde Google Earth.....	59

TABLAS

I.	Definición teórica y operativa de la variable formato ráster.....	35
II.	Definición teórica y operativa de la variable formato vectorial	35
III.	Definición teórica y operativa de la variable mapas	36
IV.	Respuesta de encuesta a personal de la municipalidad e instituciones	42
V.	Respuesta de la encuesta a los EPOT	43
VI.	Respuesta de encuesta a instituciones con presencia en el municipio...	43

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°	Grados
Km²	Kilómetro cuadrado
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
'	Minutos
%	Porciento
"	Segundos

GLOSARIO

ArcView	Programa grafico para datos espaciales y mapas. Es un software del sistema de información geográfica para datos.
AGRIP	Análisis de Gestión del Riesgo en Proyectos de Inversión Pública.
CA-1	Carretera Panamericana o ruta Panamericana, sistema de carreteras que une los países del hemisferio occidental del continente americano.
CEPAL	Comisión Económica Para América Latina y el Caribe.
CODRED	Coordinadora Departamentales para la Reducción de Desastres
COLRED	Coordinadoras Locales para la Reducción de Desastres.
COMRED	Coordinadoras municipales para la Reducción de Desastres
CNCG	Clima Naturaleza y Comunidades en Guatemala
CONAP	Consejo Nacional de Áreas Protegidas.

CONRED	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres.
CORRED	Coordinadoras Regionales para la Reducción de Desastres
DEM	Modelo de Elevación Digital.
DMP	Dirección Municipal de Planificación.
Epopeya	En este caso hace referencia a una acción que se va a realizar en un programa informático.
EPOT	Especialistas en planificación y ordenamiento territorial
FUNCEDE	Fundación Centroamericana de Desarrollo
GIS	<i>Geographic Information System</i>
ICCA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
IGN	Instituto Geográfico Nacional
INAB	Instituto Nacional de Bosques.

INE	Instituto Nacional de Estadística Guatemala.
Mapas cartográficos	Es una representación que de forma gráfica y a escala se hace de algún lugar de la tierra.
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONG	Organización No Gubernamental
Plugins	Es un programa informático que complementa una función nueva muy específica de otro.
PCI	Project Concern International.
PDMOT	Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial.
PND	El Plan Nacional de Desarrollo K'atún Nuestra Guatemala 2032
SEGEPLAN	Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia.
SIG	Sistemas de Información Geográficas
SNP	Sistema Nacional de Planificación

SHALSTAB	Herramienta generada por el departamento de Geología y Geofísica de la universidad de California con la que se obtienen modelos para mapear el potencial de deslizamientos de tierra poco profundos.
SHAPEFILE	Es un archivo de los Sistemas de Información Geográfica que almacena información geométrica de puntos, líneas y polígonos.
URL	Universidad Rafael Landívar
USAID	<i>Agency for International Development</i>
UVG	Universidad del Valle de Guatemala

RESUMEN

El municipio de San Juan Atitán del departamento de Huehuetenango, ciudad de Guatemala, por su ubicación geográfica de este municipio en relación al ordenamiento territorial lo hace altamente susceptible a ser afectado por amenazas naturales y socio naturales, sin embargo existe poca información relacionada con los Sistemas de Información Geográfica -SIG- utilizados para identificar áreas en riesgo a deslizamientos y sobre todo, que estén disponibles para su implementación en las medidas de prevención y mitigación al momento de elaborar y poner en marcha proyectos enfocados a la infraestructura, fauna, flora y actividades sociales.

SHALSTAB es una extensión del programa ArcView que se ha hecho mejoras desde el año 1998, por sus creadores los investigadores William E. Dietrich de la universidad de California y David R. Montgoery de la universidad de Seattle, Washington; con la que se genera un modelo que es producto de la pendiente, del área de contribución, una relación hidrológica y una relación topográfica

La extensión SHALSTAB del programa ArcView fue la base sobre la cual se generó un modelo para el municipio de San Juan Atitán, donde se identificaron áreas estables e inestables a deslizamientos.

El modelo generado por la extensión SHALSTAB para el municipio en estudio, a través de un SIG gratuito se transformó a un formato vectorial para

realizar el análisis del área urbana y rural e identificar los diferentes medios de vida que están en riesgo a deslizamiento.

El modelo generado y los formatos vectoriales fueron puestos a disposición del gobierno local del municipio, para que a su vez la comparta con líderes comunitarios, instituciones públicas y privadas que laboran en ese territorio, con la intención que sean utilizados como una herramienta que apoye el ordenamiento territorial al hacer un buen uso del suelo durante la ocupación de los territorios en las áreas en riesgo a deslizamiento, a través de la implementación de las medidas de prevención y mitigación.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Contexto general

El municipio de San Juan Atitán, Huehuetenango, por su ubicación geográfica, su topografía y que es afectado la falla geológica Cuilco-Chixoy-Polochic; es susceptible a desastres naturales y socio naturales, sin embargo no existen suficientes herramientas enlazadas a los sistemas de información geográfica -SIG- que proporcionen los elementos necesarios para su prevención, a la vez no existe un plan de ordenamiento del territorio, donde estas herramientas puedan ser aplicadas para un mejor análisis de esas áreas y así minimizar el impacto al riesgo que están expuestos los diferentes medios de vida.

- Descripción del problema

Con el análisis de áreas que se encuentran en riesgos a deslizamientos al utilizar la extensión SHALSTAB de ArcView, que es específica para el análisis a deslizamientos, se van a fortalecer los procesos de ordenamiento territorial del municipio ya que estas áreas quedarán categorizadas como zonas de riesgo, lo que contribuirá a que la población con anticipación realice acciones que prevengan y minimicen los daños, si se llegaran a suscitar. Como pueden ser: la destrucción de cultivos, viviendas, carreteras o llegar a casos más extremos como lo es la pérdida de vidas humanas.

- Formulación del problema

A continuación, se describen la pregunta central con sus respectivas preguntas auxiliares.

- Pregunta central

¿Cómo el modelo de deslizamientos generado con la extensión SHALSTAB del software ArcView puede apoyar la administración del territorio y el ordenamiento territorial del municipio de San Juan Atitán?

- Preguntas auxiliares

Para darle respuesta a la pregunta anteriormente planteada, se deberá responder las preguntas auxiliares siguientes:

- ¿Qué áreas susceptibles a deslizamientos se identificarán a través del modelo generado por la extensión SHALSTAB?
- ¿Cómo el modelo de la extensión SHALSTAB se puede transformar a un formato vectorial para un mejor análisis en los programas SIG?
- ¿Podrían ser incluidos los mapas generados a través de la extensión SHALSTAB y los formatos vectoriales como un apoyo en el análisis de los procesos de ordenamiento territorial que se realizan en el municipio de San Juan Atitán a través de los Planes de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial -PDMOT- de la metodología de la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia -SEGEPLAN?

Figura 1. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia realizado con Microsoft Word.

- Delimitación del problema

Según la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (2010), se menciona que de acuerdo a un proceso participativo con representantes de las cuatro microrregiones del municipio de San Juan Atitán se identificó que este municipio se encuentra en un nivel medio de amenazas con una ocurrencia regularmente de 2 a 5 años en donde se han causado daños significativos como consecuencias de la pérdidas de vidas humanas, daños materiales severos y la vulnerabilidad se encuentra en el máximo nivel que es muy alto, lo que significa entre, otros elementos, que la infraestructura es precaria, mal construidas, asentadas en zonas no recomendables ya que se ubican muy cerca a una amenaza.

El municipio de San Juan Atitán con una extensión de 57.06 Km², dentro de sus límites pasa la falla Cuilco-Chixoy-Polochic con movimientos tectónicos donde no se llevan registros de la periodicidad de ocurrencia, sin embargo, sus efectos han sido más sensibles en el casco urbano de la cabecera municipal y en los centros poblados de Santa Isabel y Checoche, que como consecuencia se tienen viviendas con daños estructurales.

Con base al análisis de vulnerabilidad ante el cambio climático en el Altiplano Occidental de Guatemala (2014), elaborado con el apoyo de USAID a través del proyecto Clima Naturaleza y Comunidades en Guatemala, CNCN; el estudio estimó que para el municipio de San Juan Atitán el índice de vulnerabilidad climática para el año de medición se encontraba en un rango muy alto entre 0.7957-0.9813, la amenaza por peligro de erosión se encontraba en categoría muy alta y la amenaza por deslizamiento en categoría alta, lo cual ha provocado destrucción de casas, caminos obstruidos, daño en los cultivos, muerte de animales y perdida de bosques.

Lo descrito anteriormente hace relevante realizar una investigación en el municipio que nos dé información más específica sobre estas áreas que son susceptibles a los deslizamientos en cada centro poblado, de preferencia si se realiza con herramientas que utilicen los sistemas de información geográficas como la extensión SHALSTAB de ArcView, cuya eficiencia en estos análisis ha sido comprobada en otros países y con estos resultados se puedan tomar decisiones a futuro para contrarrestar los efectos del impacto negativo de estas amenazas, así como incluirlas en una de las categorías del ordenamiento territorial en donde a través de los reglamentos, que a la fecha no existen, se le puede dejar especificado que actividades se pueden realizar, otras con ciertas restricciones y las que definitivamente no conviene realizar.

OBJETIVOS

General

Identificar a través del modelo generado por la extensión SHALSTAB del software ArcView, áreas susceptibles a deslizamientos con fines de la administración del territorio y su respectivo ordenamiento territorial del municipio de San Juan Atitán, Huehuetenango.

Específicos

1. Establecer a través del modelo generado por la extensión SHALSTAB, áreas susceptibles a deslizamientos, en el municipio de San Juan Atitán, Huehuetenango.
2. Definir a través del modelo generado por la extensión SHALSTAB, una capa en formato vectorial, para ser utilizadas en los programas SIG en la identificación de los medios de vida que se encuentran en las áreas susceptibles a deslizamientos del municipio de San Juan Atitán, Huehuetenango.
3. Sugerir al Concejo Municipal de San Juan Atitán que la información del modelo de la extensión SHALSTAB y los formatos vectoriales sean incluidos para su análisis en la categoría de protección y uso especial del PDMOT de la metodología de la SEGEPLAN.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

La presente investigación pretende beneficiar a 19,418 habitantes que ocupan los 57.06 Km² del municipio de San Juan Atitán, Huehuetenango, ya que tiene como objeto que con la extensión SHALSTAB del software ArcView, se puedan identificar áreas propensas a deslizamientos, las cuales puedan minimizar los riesgos a las pérdidas de cultivos, bosque, infraestructura y sobre todo de vidas humanas; sin embargo identificarlas no es lo importante sino que se utilice en el análisis que se realiza en el ordenamiento territorial del municipio.

Para que se logre lo anterior se plantearon tres preguntas y se le dio respuesta al consultar toda la información bibliográfica disponible sobre las áreas susceptibles a deslizamientos, herramientas SIG y planes de ordenamiento territorial que existen en el país; se clasificó de mayor a menor importancia de acuerdo a lo relevante que se necesitaba en el presente estudio.

Posteriormente se utilizó la extensión SHALSTAB del software ArcView para generar el modelo de las áreas estables e inestables a deslizamientos del municipio en estudio, el cual fue transformado a una capa vectorial que al ser sobreposta sobre otras capas dan como resultado un mejor análisis de los medios de vida que se encuentran en las áreas en riesgo a deslizamientos.

Con los datos obtenidos de las encuestas que fueron respondidas por los tres segmentos seleccionados se efectuó un análisis del conocimiento que se tiene sobre las áreas propensas a deslizamientos en el municipio, así como en la utilización de herramientas SIG en el análisis de las áreas expuestas a desastres naturales en el área de estudio.

INTRODUCCIÓN

Los efectos del impacto que tiene el cambio climático a nivel internacional es un tema ambiental relevante en la que las Organización de las Naciones Unidas-ONU- tiene dentro de su agenda reducir los gases de efecto invernadero con lo que se propone limitar el aumento de la temperatura global a no más de 1.5 °C para tener un clima habitable en el mundo.

El municipio de San Juan Atitán ubicado en el departamento de Huehuetenango, del país de Guatemala, no escapa a estos efectos que provoca el cambio climático y por su ubicación geográfica es susceptible a amenazas naturales y socio naturales, como lo son: deslizamientos o derrumbes, heladas, vientos fuertes incendios forestales y sequias.

Para lograr los objetivos planteados se realizó una revisión bibliográfica sustentada en libros, tesis, bibliotecas virtuales, entre otros, para conocer si existen en el municipio áreas en riesgos y qué herramientas SIG se han utilizado para identificarlas y analizarlas; para lo cual se hizo un análisis de la información encontrada para posteriormente describir las áreas que se encuentran en riesgo y de los softwares de los sistemas de información geográficas -SIG- que están disponibles para realizar estos procesos, aunque en el municipio de estudio no se estén utilicen.

Se obtuvo gratuitamente del satélite ALOS el Modelo Digital de Elevación-DEM- del municipio de San Juan Atitán, que el cual sirvió de base para generar

los mapas de pendientes y áreas de contribución en la extensión SHALSTAB del programa ArcView.

La extensión SHALSTAB del programa ArcView es una herramienta utilizada en países como Estados Unidos y Colombia porque ha sido efectiva en identificar, analizar y evaluar áreas susceptibles a deslizamientos la cual han sido de utilidad en los procesos de planificación y ordenamiento de sus territorios, sin embargo, en nuestro país esta herramienta es poca conocida por lo que no ha sido aplicada en análisis de las áreas en riesgo.

Se generó modelo en formato ráster de las áreas estables e inestables del municipio en estudio, el que a su vez a través de un SIG libre se transformó a un formato vectorial para profundizar en el análisis de las áreas urbanas y rurales que se encuentra en riesgo a deslizamiento en el municipio de San Juan Atitán.

El presente estudio, a través del modelo y los mapas vectoriales generados, pretende contribuir con las organizaciones comunitarias, los gobiernos locales, instituciones públicas y privadas como una herramienta de toma de decisiones en la identificación de áreas estables e inestables que son propensas a deslizarse o derrumbarse en el municipio, para implementar medidas de mitigación a tiempo y así prevenir la perdida de infraestructura, cultivos agrícolas, bosques, animales y vidas humanas.

1. MARCO REFERENCIAL

En este apartado se plasmó la investigación que se hizo de estudios previos y antecedentes, los cuales fueron de gran utilidad para justificar la presente investigación.

1.1. Estudios previos

En nuestro país no se encontraron trabajos de investigación sobre los procesos de planificación que incluyan en el análisis de amenazas y riesgos a la extensión SHALSTAB del software ArcView, sin embargo, esta herramienta ha sido utilizada en otros países para la identificación de áreas susceptibles a deslizamientos; área que pueden incluirse dentro de las categorías de los planes que se utilizan para el ordenamiento de los territorios, es por ello de su importancia en poderlo aplicar en estos procesos. A continuación, se describen algunos investigadores que aportan información relacionado con este tema:

En la investigación para el análisis del riesgo a deslizamientos utilizaron el modelo físico de SHALSTAB, que les sirvió para calcular el riesgo a las que están expuestas las vidas humanas que habitan ocho viviendas en la autopista Medellín-Bogotá y concluyen que “La metodología que se implementó para analizar y evaluar el riesgo de deslizamientos superficiales representa una herramienta que puede ser útil en planes de ordenamiento territorial y gestión de riesgos de movimientos en masa”. (Marín, Marín-Londoño y Mattos, 2020, p. 170)

En esta investigación uno de los métodos que sirvió para el análisis del movimiento de masas fue el SHALSTAB, donde el autor hace mención que un “un

6 % del área de la cuenca pertenece tanto a zonas inestables por el método SHALSTAB como una zona de muy alta y alta susceptibilidad" (Mendoza y Aristizábal, 2017, p. 196).

Este apartado sustenta que el método empleado ha sido efectivo en la identificación de áreas susceptibles a deslizamientos, por lo tanto, se podrá utilizar en la presente investigación.

El modelo SHALSTAB, al ser combinado con métodos heurísticos y estadísticos, ha sido de gran apoyo en la determinación de áreas propensas a movimiento de masas, con resultados que han contribuido a la prevención de amenazas en proyectos lineales, es decir en construcción de tramos carreteros, tal como lo describe en su estudio Mendoza y Aristizábal (2017), "Los resultados arrojan un adecuado desempeño de los modelos implementados, y la obtención de valiosa información necesaria previa a la construcción del proyecto y operación, lo que va a permitir definir sectores críticos" (p. 1).

1.2. Antecedentes

Según Obregón y Lara (2013), "los resultados del mapa de susceptibilidad de manera general, nos presentan información geocientífica que contribuirá con el ordenamiento territorial (OT)" (p. 1).

Vemos como los mapas donde se han identificado deslizamientos apoyan a los procesos de ordenamiento de los territorios, que es lo que también se pretende con esta investigación.

En cuanto al modelo SHALSTAB, Salgado y Bonola (2012) concluyeron que dentro de sus ventajas modelar topografías irregulares, donde se involucró

no solo a pendientes sino también aquellos parámetros que provocan una resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, y que este método ha sido aplicado con mucho éxito en los Estados Unidos, así como en el país que él es originario ya que es de libre acceso y fácil de aplicar. Esta conclusión da un gran aporte a la investigación ya que sustenta que el modelo SHALSTAB puede ser aplicado en topografías irregulares y que además por ser de libre acceso se puede utilizar sin restricciones en las investigaciones que se pretendan realizar.

En relación a la utilización de las herramientas SIG, El Ministerio de Obras Públicas de Chile (2012) describe que la utilización para la identificación de áreas de riesgos se dio en un periodo de 20 años con anterioridad e identificar los puntos más críticos que puedan afectar la red vial; uno de sus objetivos era tener una base de datos con información georreferenciada de las áreas de riesgos de la red vial en estudio. Actualmente el uso de herramientas SIG, permiten identificar áreas donde no se debe de hacer una inversión por la inestabilidad natural que presentan esos suelos.

En cuanto hacer el análisis de las áreas susceptibles a movimiento de masas, Montilla y Ríos (2012) hicieron uso de un SIG, lo que dio como resultados datos geográficos espaciales y temáticos, donde los mapas fueron procesados bajo la plataforma mapInfo profesional y del módulo Mapper. Con lo anterior, nuevamente nos damos cuenta la utilidad de los sistemas SIG en análisis de áreas susceptibles a deslizamiento.

En el artículo escrito por Aristizábal, Martínez y Vélez (2010), da a conocer que existen diferentes modelos para la evaluación de las amenazas y pronósticos de movimientos en masas detonados por lluvias como lo son: 1) métodos heurísticos basados en el entendimiento de procesos geomorfológicos que

actúan sobre el terreno, 2) métodos estadísticos basados en predicciones estadísticas y 3) métodos determinantes basados en modelos de estabilidad.

Nos damos cuenta que los movimientos de masas pueden ser analizadas con diferentes modelos y si estos se sistematizan en una herramienta SIG facilitan su análisis y el impacto negativo que pueda ocasionar.

Al construir su modelo para estimar las amenazas al deslizamiento superficial, en su análisis hacen uso del modelo SHALSTAB y describen que “se pudo encontrar ciertas zonas inestables de la cuenca, en las cuales puede producirse deslizamientos en los primeros momentos de un evento de precipitación muy fuerte” (Vélez, Álvarez, Alarcón y Quintero, 2004, p. 9).

Una vez más vemos como con el auxilio de este modelo se hace un análisis en áreas de deslizamientos provocadas por la lluvia, que pueden ser incluidas en las categorías de ordenamiento territorial.

Los movimientos de masas (deslizamientos) son eventos que ponen en riesgo la vida de las personas, es por ello que existen varios estudios que los han clasificado de acuerdo a la forma, estructura y tipo de material del cual están compuestos.

Almaguer y Guardado (2006), agrupa los deslizamientos de la siguiente manera: “mecanismos relacionados con la caída libre de la roca (desprendimientos y vuelcos), mecanismos de deslizamientos a través de una superficie de fallo definida (deslizamientos, translacionales, rotacionales, en forma de cuña y combinados) y mecanismo de movimientos de masas de manera desorganizada” (p 1).

Es por ello la importancia de la presente investigación sobre los deslizamientos en el área de estudio.

2. MARCO TEÓRICO

A continuación, se describe el marco teórico para la presente investigación

2.1. Información general del municipio de San Juan Atitán

En los siguientes enunciados se hace una descripción del municipio de San Juan Atitán, del departamento de Huehuetenango.

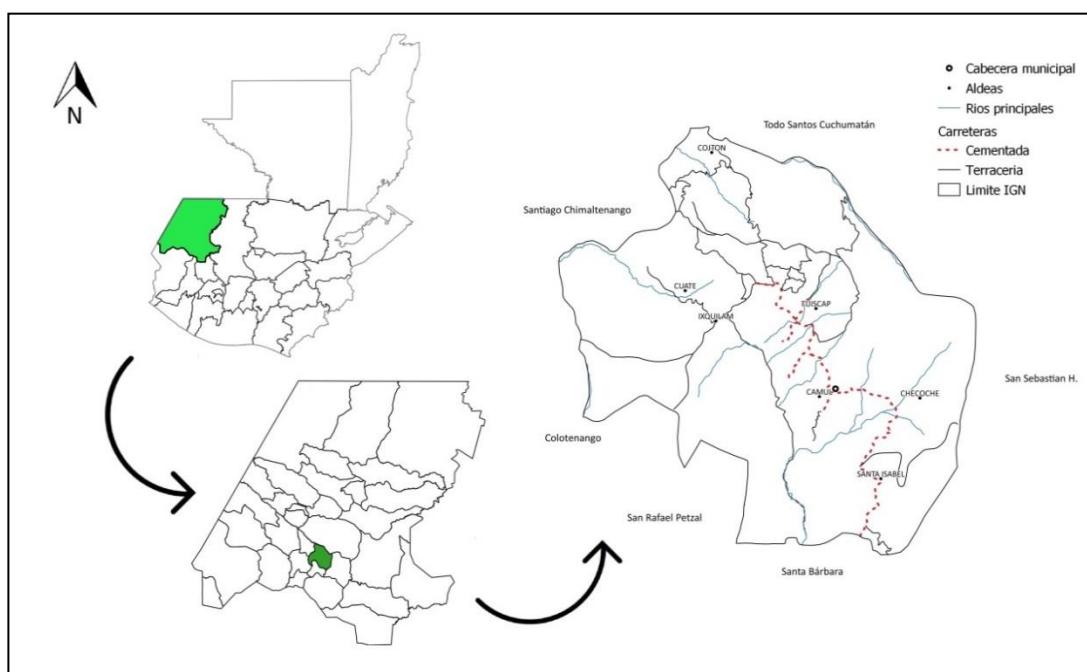
2.1.1. Ubicación geográfica

San Juan Atitán, se ubica en el país de Guatemala, en la parte sur-occidental del departamento de Huehuetenango, en las coordenadas 15° 26' 15" de latitud norte y 91° 41' 01" de longitud oeste. Tiene una extensión territorial de 57.06 Km² y se encuentra a 2,440 msnm en promedio.

La distancia de la cabecera municipal a la ciudad capital (vía occidente) es de 287 kilómetros, el acceso se realiza por carretera interamericana CA-1 Occidente; al recorrer 125 kilómetros se llega a Los Encuentros, jurisdicción del departamento de Sololá, se recorren 61 km se pasa por Cuatro Caminos del departamento de Totonicapán, al recorrer 73 kilómetros se llega a la bifurcación denominada Las Vegas del municipio de Huehuetenango, se sigue sobre la carretera interamericana en el kilómetro 277 se desvía a la derecha por carretera cementada en dirección a la finca Sechul del municipio de San Rafael Petzal, Huehuetenango y al recorren 10 kilómetros se llega al casco urbano de San Juan Atitán.

El municipio de San Juan Atitán limita con los siguientes municipios: Norte: con el municipio de Todo Santos Cuchumatán. Sur: con el municipio de Santa Bárbara. En la parte del oriente: con el municipio de San Sebastián Huehuetenango. Poniente: con los municipios de San Rafael Petzal, Colotenango y Santiago Chimaltenango.

Figura 2. Ubicación del municipio de San Juan Atitán Huehuetenango



Fuente: elaboración propia, realizado con Qgis y la base cartográfica del IGN.

2.1.2. Historia, cultura y tradiciones

El municipio de San Juan Atitán se originó antes de la conquista de los españoles, sin embargo, fueron los españoles que le pusieron el nombre que actualmente tiene. Su significado es cerca el agua.

Según la Fundación Centroamericana de Desarrollo (1996), “La cabecera de San Juan Atitán ha sido afectada por dos fenómenos geológicos, en septiembre del año 1692 y en octubre del año 1,970, repentinamente existe hundimientos de tierras en forma de profundos surcos, sin que mediara ningún movimiento sísmico” (p.7).

El traje que usan las mujeres es un güipil blanco con adornos rojos, el corte es de color azul que lleva una faja muy colorida que se pone en la cintura y el cabello se le hace trenzas donde lleva listones de varios colores. El traje del hombre es una camisa que tiene las mangas largas bordada con el color rojo, pantalón de tela de manta colorado y rallado, capixay que es corto de color negro, lleva una faja en la cintura, sombrero hecho de petate con listón rojo que tiene caída en la parte de trasera, morral que contiene bordados con colores vistosos y caites o sandalias hechas a mano de puro cuero.

La feria en honor al patrono San Juan se celebra en el mes de junio, donde se realizan actividades deportivas, sociales y culturales.

2.1.3. Demografía

Según el Instituto Nacional de Estadística (2019), “La población del municipio de San Juan Atitán es de 19,418 habitantes, de los cuales 8,892 son hombres y 10,526 son mujeres y 19,348 son del pueblo maya”. (p 90, 99 y 130).

La densidad poblacional del municipio para el año 2,018 es de 303 habitantes por km², dato superior a la densidad del departamento que es de 179 habitantes por km². El 98% del total de la población en el municipio, que es la mayoría, se encuentra en el área rural.

2.1.4. Cobertura forestal

Según el Instituto Nacional de Bosques, Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Universidad del Valle de Guatemala y Universidad Rafael Landivar (2019), para Guatemala la cobertura forestal fue de 3,574,244 hectáreas en el año 2016 y para el año 2010 fue de 3,675,786 hectáreas del área boscosa; durante el análisis del año 2001 al 2006 se dio una pérdida neta de bosques de 53,066 ha/año, para el segundo periodo que va del año 2006 al 2010 fue de 34,600 ha/año y para el tercer periodo (2010-2016) de 18,350 ha/año. Por lo tanto, como se puede observar, se mantiene la pérdida del bosque en nuestro territorio nacional.

Con los datos anteriormente vistos nos damos cuenta que en el país se sigue con la pérdida de cobertura forestal ya que del año 2010 al último año de medición se han perdido 101,542 hectáreas de bosque, esto es derivado de la tala inmoderada de árboles sin ningún manejo forestal de esas áreas.

Según el Instituto Nacional de Bosques, et al. (2019) para el municipio en estudio al año 2,010 se tenía una cobertura forestal de 3,668 hectáreas y para el 2016 la cobertura era de 3,897, es decir que en este municipio en ese periodo de tiempo se ha recuperado 229 hectáreas de bosque, esto es debido a que muchas familias han sido beneficiadas con los programas de incentivos forestales del Instituto Nacional de Bosques.

La cobertura forestal en las áreas propensas a los deslizamientos tiene un efecto directo en su impacto, ya que al haber más cobertura forestal estas áreas son menos afectadas por estas amenazas.

2.1.5. Amenaza y vulnerabilidad

Por su topografía escarpada con altas pendientes el municipio está expuesto a amenazas naturales como lo son: deslizamientos, heladas, vientos fuertes y socio naturales como es la contaminación por desechos sólidos y líquidos; así como es afectado por la falla geológica Cuilco-Chixoy Polochic.

Según el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (1994), sobre la cuenca del Rio Cuilco, dice que “la tectonización de la cuenca está definido principalmente por el sistema de afallamiento del Cuilco-Chixoy-Polochic. Es un afallamiento lateral de oriente Este/Oeste. Este sistema tectónico afecta a los subsistemas hidrográficos ubicados en la cuenca media y baja del río Cuilco” (p.71).

Figura 3. Fallas geológicas en Guatemala



Fuente. Guatemala.com. *Mapa de fallas geológicas en Guatemala*. Consultado el 9 de noviembre de 2022. Recuperado de <https://aprende.guatemala.com/historia/geografia/fallas-geologicas-de-guatemala/>.

En cuanto a los niveles de ejecución la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) (2015), dice que para un mejor control administrativo y eficaz en la centralización normativa y descentralización ejecutiva, contara con los siguientes niveles de ejecución: Coordinadoras regionales para la Reducción de Desastres (CORRED), Coordinadoras departamentales para la Reducción de Desastres (CODRED), Coordinadoras municipales para la Reducción de Desastres (COMRED) y Coordinadoras Locales para la Reducción de Desastres (COLRED).

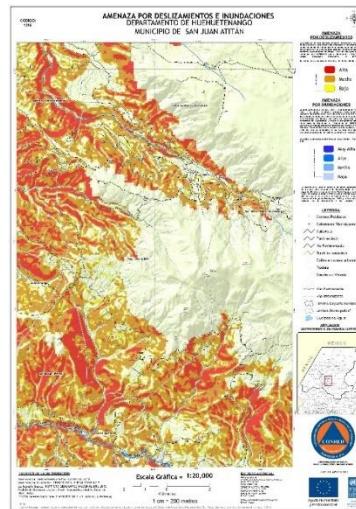
Las CORRED son las que a nivel regional coordinan y supervisan el manejo de las emergencias y desastres en todas sus etapas, la preside el Director (a) Regional del Consejo de Desarrollo, las CODRED lo hacen a nivel departamental, la preside el Gobernador (a) Departamental, las COMRED a nivel municipal, la preside el alcalde o alcaldesa y las COLRED lo realiza en una

determinada comunidad: aldea, cantón, caserío, colonia y otros, la preside el alcalde o alcaldesa auxiliar o un líder o lideresa reconocido de la comunidad.

En el municipio de San Juan Atitán la COMRED se activó en el año 2020, según el Director Municipal de Planificación de la municipalidad.

Según la página digital de la CONRED (2022), para la elaboración del mapa de las áreas de amenaza por inundaciones la CONRED utilizó la metodología TerraView 4.2.2. y su plugin Terraydro (S. Rossini) en donde la amenaza por inundaciones para este municipio se encuentra en el término baja, mientras que para los mapas de las áreas con amenazas por deslizamientos utiliza la metodología Mora-Varson y se encuentra entre el término media y alta, es decir que si se tienen varias áreas expuestas a los deslizamientos.

Figura 4. **Amenaza por inundaciones y deslizamiento**



Fuente. Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres. *Mapa de amenazadas por deslizamientos e inundaciones en el municipio de San Juan Atitán Huehuetenango*. Consultado el 8 de noviembre de 2022. Recuperado de <https://conred.gob.gt/mapas-municipales-amenaza-deslizamientos-e-indundaciones/>.

Las altas pendientes, textura de los suelos y las fuertes lluvias, propician las condiciones ideales para que se den los deslizamientos o derrumbes en varios centros poblados, es por ello que se necesita tener una herramienta como la extensión SHALSTAB que proporcione información de esas áreas expuestas a deslizamiento, para que las autoridades locales y población con suficiente antelación realicen actividades para mitigar esa amenaza.

2.1.6. Sistemas de información geográfica (SIG)

La utilización de los sistemas de información geográficos ha venido a revolucionar todos los análisis que se realizan en diferentes áreas como: la construcción de carreteras, zonas de expansión urbana, agrícola y forestal, amenaza a riesgos naturales, planes de ordenamiento territorial, entre otros

Sobre la utilización de los SIG en análisis de riesgo, Maskrey (1998) explica que una primera técnica consiste en construir índices de probabilidades de riesgo a través de la combinación de diferentes capas con temas que van a representar diferentes variables y donde se van a describir características espaciales, temporales y topología de una variable que va asociada con el riesgo. Esto va a permitir encontrar las pérdidas que podrían darse en el caso de manifestarse una amenaza de una magnitud determinada.

De los sistemas de información geográficos, Venegas (2017) dice que es un conjunto de herramientas hardware, software, métodos y datos geográficos que están elaborados para coordinar de una forma lógica la captura, análisis, almacenamiento trasformación y manipulación de la información que se tiene que georeferenciar gráficamente.

En cuanto a los sistemas de información geográfica a existen dos tipos: modelo vectorial: que son datos que se representa por puntos, líneas y polígonos que tienen una coordenada para referenciarlos en un eje cartesiano (x/y), mientras que el modelo ráster se representa por celdillas o pixeles (Venegas, 2017)

2.2. Software de los sistemas de información geográficas (SIG)

Existen varios softwares que en la actualidad se están en uso en los sistemas de información geográfica-SIG- para analizar aquellas áreas en riesgo a las amenazas a deslizamientos e inundaciones. Se tienen softwares libres y de paga, entre los de libre utilización tenemos alrededor de 30 pero los más utilizados son: QGIS, gvGIS, SAGAGIS, GRASSGIS, MapWindow, ILWIS, Geoda, uDig, OpenJump, Diva GIS; mientras que dentro de los que se tienen que pagar para su utilización, el más utilizado, es el ArcGIS. También se tiene algunos más específicos para el análisis de los deslizamientos como el método Mora-Vahrson y la extensión SHALSTAB de ArcView.

2.2.1. QGIS

Este software anteriormente se le llamaba Quantum GIS, el cual se actualiza año con año y se ha convertido en la herramienta GIS más utilizado en la generación de mapas cartográficos, ya que es un software gratuito.

Según Gabri (2019) sobre este software dice que “los plugins impulsan este software de mapeo a un estado epopeya. Si la herramienta no existe busque un plugin desarrolladas por la comunidad QGIS”. (<https://acolita.com/las-13-opciones-de-software-libre-sig/>)

2.2.2. gvGIS Desktop

Es otro software libre que fue impulsado en el año 2004 por España el cual es de libre uso.

GvSIG asociación (2014) en su página de su sitio web dice que con este software se podrán trabajar con una diversidad de formatos bien sean estos vectoriales y ráster, así como de una base de datos con archivos y servicios remotos, lo que hace que se disponga cualquier tipo de herramientas para analizar y gestionar tu información geográfica. Está diseñado para ser fácilmente usarlo, lo que permitirá una mejor continúa de la aplicación y el desarrollo de soluciones a mediano plazo. <http://www.gvsig.com/es/productos/gvsig-desktop>.

2.2.3. SAGA GIS

Es otro de los softwares libres cuyas siglas en inglés significan *System for Automated Geoscientific Analysis* que es de fácil uso en la aplicación y generación de mapas de algún terreno analizado.

Gabri (2019) dice que “Habilita múltiples ventanas para presentar todos tus análisis (mapa, histograma, gráficos de dispersión, atributos, entre otros). Proporciona una interfaz gráfica de usuario y una API fácil de usar” (<https://acolita.com/las-13-opciones-de-software-libre-sig/>).

2.2.4. GRASS GIS

El *Geographic Resources Analysis Support System* por sus siglas en inglés es un software que se utiliza para procesar las imágenes vectoriales y de rásters.

Es un software GIS bajo licencia GNU General Public License (GPL), puede aguantar información que provenga tanto ráster como vectorial y posee herramientas que procesan las imágenes digitalmente las imágenes. En el año de 1982 fue creado con el objetivo de realizar investigaciones de ingeniería enfocado a la construcción y también para supervisar y gestionar aspectos medioambientales en los territorios que el ejército tenía bajo su administración. Alonso (2016), <https://mappinggis.com/2016/05/puedo-grass-gis-7/>.

2.2.5. MapWindow

Es una herramienta muy utilizada para generar mapas de cuencas hidrográficas que ha evolucionado con el tiempo ya que comienza con *MapWindow V4.x*, luego en el año 2015 sale la *MapWindow5* como una versión mejorada.

Es un sistema de información geográfica (SIG) extensible gratuito y de código abierto, para distribuir datos a otros, o para desarrollar y distribuir herramientas de análisis de datos espaciales personalizados. La aplicación incluye características estandarizadas de visualización de datos SIG, así como edición de tablas de atributos DBF, edición de archivos de capa y convertidores de datos. Este programa admite docenas de formatos GIS estándar, incluidos archivos de capa (*Shapefiles*), GeoTIFF, ArcInfo ASCII y cuadrículas binarias. (Ames (2016), https://filehippo.com/es/download_mapwindow_gis/.

2.2.6. ILWIS

Aunque es un software antiguo que en sus inicios nace como un SIG comercial, pero que posteriormente se convirtió en su SIG de uso libre.

Gabri (2019) sobre esta herramienta dice que sirve “para planificadores, biólogos, administradores de agua y usuarios geoespaciales. ILWIS es bueno en lo básico- digitalizar, editar y mostrar datos geográficos. Además, también se utiliza para la teledetección con herramientas de clasificación de imágenes, mejora y manipulación de bandas espectrales”. (<https://acolita.com/las-13-opciones-de-software-libre-sig/>).

2.2.7. Geo Da

Rodríguez (2017), dice que este software es de libre acceso, con el cual se pueden hacer análisis exploratorio de datos, con lo que se facilita el análisis de asociación espacial de los datos a través de indicadores de auto correlación espacial, que permite la identificar patrones de agrupamiento o dispersión en los datos que se asumiría como patrones de comportamiento de los datos en el espacio, soporta una gran variedad de formatos de entrada de información, como el formato capas y conexiones con otras bases de datos.

Con esta herramienta se tiene la facilidad de hacer análisis geoespaciales, a la vez se pueden utilizar con facilidad los shapes que se tienen generados y hacer diferentes análisis en otros programas de GIS.
<https://risharkygis.com/2017/03/23/software-de-analisis-geoestadistico-geoda/>.

2.2.8. uDIG

Según, Gabri (2019):

Dice que uDIG es un acrónimo para ayudar a comprender mejor de que se trata este software SIG gratuito:

U es sinónimo de una interfaz muy amigable, fácil de usar.

D significa escritorio (*desktop*, en *Windows*, *Mac* o *Linux*). Puedes ejecutar uDIG en un Mac.

I representa el estándar de consumo orientado a internet (WMS, WFS o WPS)

G significa GIS-listo para capacidades analíticas complejas.
<https://acolita.com/las-13-opciones-de-software-libre-sig/>.

2.2.9. Open Jump

La página web de *OpenJump* (2008) describe a esta herramienta con un SIG libre, escrito en el lenguaje de programación Java. La versión que actualmente se tiene puede leer y escribir *shapefiles* simples otros formatos vectoriales a través de extensiones, soporta imágenes y para servicios web (como pueden ser los WFS y WMS), <http://www.openjump.org/>.

2.2.10. Diva GIS

Es una herramienta que ha servido de gran apoyo a biólogos para el estudio de la biodiversidad de diferentes especies.

Según la página DIVA-GIS (2010) describe esta herramienta como “un programa informático gratuito para mapeo y análisis de datos geográficos (un sistema de información geográfica (GIS)”, <https://www.diva-gis.org/node>. Con este programa se puede hacer mapas tanto del tamaño del globo terrestre, como

de aéreas pequeña, se utiliza, por ejemplo, límites estatales, límite de ríos, una imagen satélite y las ubicaciones de los sitios donde se observaron animales.

2.3. Software de los sistemas de información geográficas (SIG) utilizados en el análisis de riesgo

A continuación se describen algunos SIG utilizados en el análisis de riesgos:

2.3.1. Mora-Vahrson

Esta herramienta es utilizada por la CONRED para realizar los análisis de las áreas de deslizamientos en nuestro país, a un nivel de detalle de 1 kilómetro, con una combinación de datos sobre la litología, la humedad del suelo, pendiente y pronósticos de tiempo en este caso precipitación acumulada de CATHALAC generada diariamente a través del modelo mesoscale PSU/NCAR, el MM5, que estima la amenaza en términos de baja, media y alta.

En cuanto a la metodología Mora-Vahrson, Jaramillo (2014) lo resume a través de dar a conocer su aplicabilidad mediante la combinación de los parámetros que se obtienen de la observación y medición de indicadores que son capaces de modelar la forma de la superficie terrestre y su distribución espacial. Los parámetros anteriormente mencionados reflejan aquellos factores que llevan a la inestabilidad de la ladera, la humedad que está contenida en el suelo y la pendiente de la ladera; con estos parámetros lo que hacen es determinar un grado de susceptibilidad que está dado por elementos pasivos.

Según Barrantes, Barrantes y Nuñez (2011) la metodología de Mora-Vahrson puede ser utilizada en el ordenamiento de un territorio de la siguiente

manera; “La mayor ventaja de esta metodología es su aporte en la toma de decisiones en proceso de planificación del uso del terreno, planificación urbana y líneas vitales” (p. 148).

Con lo anteriormente descrito se confirma que esta metodología es muy efectiva al hacer el análisis de la inestabilidad en laderas especialmente al ser expuestas a intensas lluvias, con la facilidad que se puede analizar a través de los SIG.

2.3.2. SHALSTAB

Es una extensión del programa ArcView y es una de las herramientas más utilizada en el país de Colombia para la ubicación de áreas susceptibles a deslizamientos, con fines de protección de esas áreas, para construcción de carreteras y ubicar áreas de viviendas expuesta a este riesgo.

El modelo generado es producto de la pendiente, del área de contribución, una relación hidrológica y una relación topográfica.

Según Dietrich y Montomery (1998):

Describen que el valor de aplicar este modelo es que: 1) se puede aplicar en diversos entornos sin costosos intentos de parametrización-por lo tanto, es completamente trasportable, a diferencia de los enfoques empíricos correlacionales (ver revisión en Montgomery y Dietrich, 1994); 2) los resultados de diferentes sitios se pueden comparar directamente; 3) se necesita poca capacitación espacial par uso del modelo (...) puede ser utilizado en un programa de seguridad al identificar áreas de alto riesgo,

asignar prácticas forestales para la inestabilidad de laderas y para evitar el diseño de carreteras en áreas de alto riesgo. (pp. 26-27)

Con lo anterior nos damos cuenta que es un modelo muy versátil y fácil de implementarlo para las áreas susceptibles a deslizamientos, las cuales posteriormente se pueden categorizar en un proceso de planificación territorial, específicamente en el ordenamiento de territorios urbanos y rurales.

Según Dietrich y Montomery (1998):

Concluyen que este modelo puede usarse como un modelo sin parámetros en el que la única decisión es como clasifica el patrón mapeado de estabilidad relativa en categorías con el propósito práctico de prescribir alguna práctica de gestión de la tierra. (...) Finalmente, SHALSTAB está disponible gratuitamente para todos los que deseen utilizarlo. (pp. 29-31)

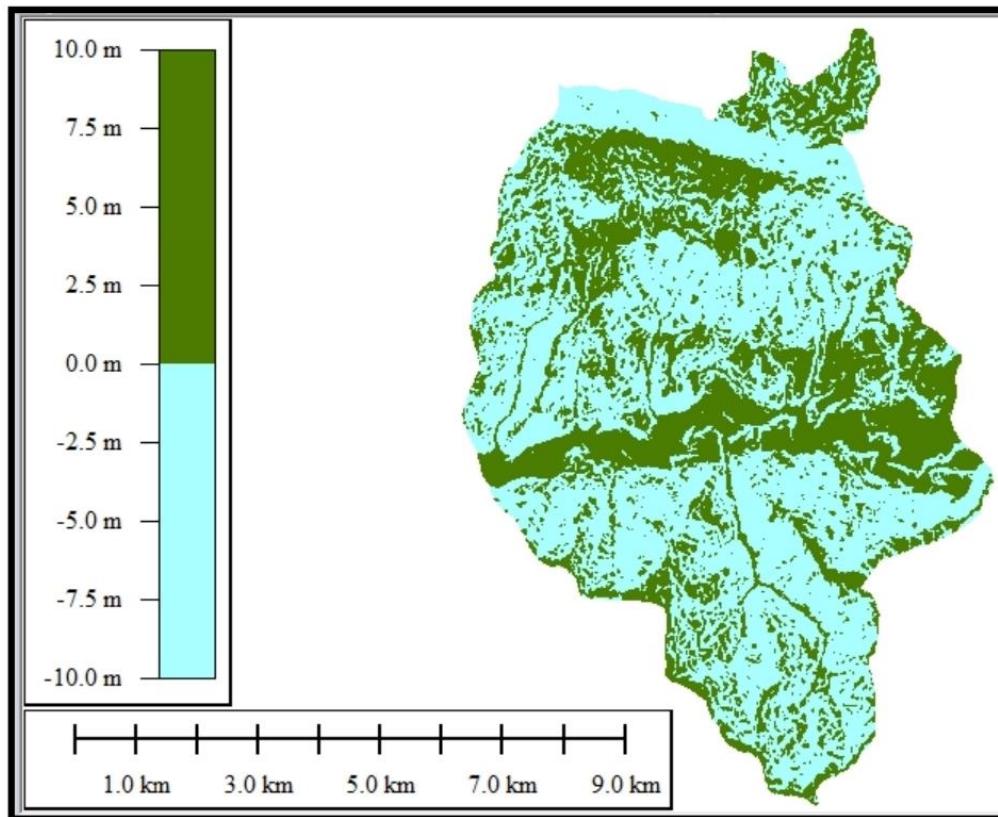
2.4. Aplicación de la herramienta SHALSTAB

La ONG denominada por sus siglas en inglés Project *Concern International PCI/Global Communities*, en el año 2021 por los desastres ocasionados por las tormentas Eta e Iota, a través del proyecto: Respuesta a la Tormenta para Mayor Resiliencia-RETOMAR-, ubica áreas susceptibles a inundaciones y deslizamiento en 5 municipios del departamento de Huehuetenango.

En cuanto a los mapas de las áreas susceptibles a inundaciones, el *Project Concern International* (2021), expone que fueron generados con el programa SAGA GIS; mientras que al utilizar la extensión SHALSTAB se identificaron áreas susceptibles a deslizamientos y se generó mapas que identifican esas áreas.

A continuación, se presenta uno de los mapas generados sobre la estabilidad del suelo en la microcuenca del Río Cuilco.

Figura 5. **Mapa generado a través de la extensión SHALSTAB**



Fuente: Proyecto RETOMAR de PCI / Global Communities (2021). *Áreas estables e inestables del municipio de Cuilco, Huehuetenango.*

Como se puede observar en el mapa anterior, se identifica con el color verde las áreas que presentan mayor estabilidad de suelo que va en una escala de 0 m a 10 m en comparación con las áreas de color azul que presenta mayor inestabilidad propensa a deslizamientos que va en una escala de -0 m a -10 m.

2.5. Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) y Plan Nacional de Desarrollo K'atun Nuestra Guatemala 2032 (PND)

En lo que se refiera a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN) (2018) explica que es una agenda a nivel mundial que da seguimiento y amplia los objetivos plasmados en los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) que tiene como objeto reducir la pobreza, proteger a la tierra, garantizar la prosperidad y paz en este mundo, a través de darle cumplimiento a los 17 objetivos, 169 metas y 241 indicadores, los cuales se pretenden alcanzar a año 2030.

En cuanto al Plan Nacional de Desarrollo K'atun Nuestra Guatemala 2032 (PND), nace a la vida en el seno del Consejo Nacional de Desarrollo Urbano y Rural-CONADUR- según Punto Resolutivo No. 03-2014, el cual contiene 5 ejes, 36 prioridades, 80 metas, 123 resultados y 730 lineamientos al que hay que darle cumplimiento como país. (SEGEPLAN, 2014)

Según SEGEPLAN (2014), el PND es una herramienta que “institucionalizará las acciones y procesos para el desarrollo, con una visión de largo plazo y permitirá dar seguimiento, así como evaluar las acciones de política y los impactos, para reorientar o replantearlas, según sea la calidad de su ejecución” (p. 7).

En relación a que el país pudiera dar respuesta a las metas planteadas en los ODS y PND, SEGEPLAN (2018) expone que con el acompañamiento metodológico de la Comisión Económica Para América Latina y el Caribe-CEPAL- identificaron 10 prioridades nacionales y 16 metas estratégicas a los cuales Guatemala debe de dar respuesta para lograr los objetivos planteados en los ODS y el K'atun.

Dentro de las 10 prioridades nacionales se encuentra la de ordenamiento territorial que es donde el modelo generado a través de la extensión SHALTAB es útil para ordenar y reglamentar áreas susceptibles a deslizamientos en el municipio de San Juan Atitán, Huehuetenango.

2.6. Sistema Nacional de Planificación

Los procesos de la inversión pública en Guatemala, tiene que ser armonizado en el Sistema Nacional de Planificación (SNP) el cual debe llegar a través de los diferentes niveles que se tienen para dar respuesta de las necesidades comunitarias y las mismas se materialice en obras que lleven el desarrollo a las personas más necesitadas.

El Sistema Nacional de Planificación es la encargada de la “territorialización de la política pública y la orientación de la inversión, lograr con esto la articulación de las políticas de Estado con las prioridades gubernamentales, para administrar los recursos públicos en la perspectiva de alcanzar el desarrollo sostenible”. (SEGEPLAN, 2020, p. 5).

Dentro de los instrumentos que orientan la inversión pública se tienen los planes de desarrollo municipal y los planes de ordenamiento territorial, que es donde la presente investigación aporta a través de identificar áreas en riesgo propensas a deslizamientos, específicamente en la tercera fase de la metodología que utiliza SEGEPLAN para realizar los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDMOT).

2.7. Planes de ordenamiento territorial

En diferentes países de Latinoamérica se han llevado procesos de ordenamientos territorial desde hace años, los cuales se van a renovar con el transcurrir del tiempo.

Según Paruelo, Jobbág, Laterra, Hernandez, García y Panizz (2014):

El proceso de planificación puede ordenarse en una serie de etapas y actividades principales, que no necesariamente deben implementarse en forma estrictamente secuencial. En la práctica, estas etapas se desarrollan en forma interativa y se va a producir ajustes en función del aprendizaje y de la nueva información del sistema y su contexto, y del capital social acumulado en el proceso. El avance en el proceso de planificación depende del cumplimiento de los objetivos de cada etapa y de las actividades planteadas de cada una de ellas (p.75).

Sobre el beneficio de ordenar el territorio, La Dirección General de Ordenamiento y Desarrollo Territorial de República Dominicana (2016) dice que se permite un uso más eficiente de los suelos, con lo que se va a prevenir el riesgo a los desastres, por la vulnerabilidad al cambio de nuestro clima y degradación del medio ambiente, con lo que se evitará el conflicto que se puede dar por el uso no adecuado del suelo pero para ello debe de haber una participación social y llegar a un punto de acuerdo entre los actores implicados, con la intención de fundar las bases para el que la población llegue a ese bienestar deseado y obtener con ello el que su crecimiento económico sea sostenible a lo largo de los años (p. 14).

En el concepto anterior ordenar un territorio tiene varios beneficios que va desde la prevención a desastres, prevención de conflictos y la participación de diferentes actores en un territorio.

Resalta la importancia de la prevención a las amenazas, que es lo que esta investigación trata de fortalecer en los procesos de ordenamiento territorial a través de ofrecer una herramienta como SHALSTAB que apoye la categoría urbana y rural de amenazas a riesgos y la subcategorización que se pueda incluir.

2.7.1. Planes para el desarrollo de los municipios y ordenamiento de sus territorios

La SEGEPLAN como el encargado de llevar todos los procesos de planificación en nuestro país ha dado la asistencia metodológica y técnica en los para que las municipalidades puedan actualizar sus planes de desarrollo municipal que fueron elaborados entre el año 2010 y 2011 y paralelo a ello se está introducido el que ordenen sus territorios, por lo que se les da el nombre de Planes de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial (PDMOT), para lo cual se ha hecho una guía metodológica donde se dan los lineamientos para realizar este proceso.

Según SEGEPLAN (2018) “el ordenamiento territorial se concibe común un proceso de diálogo y concertación ciudadana entre diferentes actores con intereses particulares conviven en el territorio el cual requiere de una buena relación de responsabilidades entre sociedad y gobierno municipal” (p16).

Como se percibe el concepto anterior sobre el ordenamiento territorial vemos que no es solo la categorización de los suelos, ya que se también se refiere a ese dialogo que se debe tener con varios y diferentes actores, para ir en

la búsqueda de ese bien común con los avances que se dan con el transcurrir del tiempo, es decir que los diferentes actores deben de llegar a acuerdos con un objetivo en común que es desarrollar su territorio.

La metodología del PDMOT de SEGEPLAN tienen cuatro fases; el ordenamiento territorial se describe en la tercera: “Es la fase de toma de decisiones del municipio en términos de planificación y ordenamiento territorial; donde se define los resultados y productos estratégicos de desarrollo y las directrices y lineamientos normativos de ordenamiento territorial, con base en escenarios futuros del territorio, la organización, usos y la visión de desarrollo”.

La metodología de SEGEPLAN delimita cuatro categorías que son: Urbana, expansión urbana, rural y protección o uso especial, en esta parte es donde entra la herramienta SHALSTAB ya que es diseñada para identificar áreas que están en riesgo por deslizamiento, se pretende hacer las investigaciones para ver si la misma puede servir como un auxiliar en algunas subcategorías de las cuatro categorías y lograr a futuro minimizar el impacto que afecta los medios de vida, pero sobre todo la vida humana.

2.8. Actores presentes en el municipio

Para realizar los procesos de ordenamiento y administración del municipio de San Juan Atitán, Huehuetenango, se requieren que existan actores claves tanto a nivel de instituciones gubernamentales como no gubernamentales para que realicen este proceso liderado por el alcalde y su concejo municipal.

Según información proporcionada por la Dirección Municipal de Planificación en el municipio están presentes las siguientes instituciones gubernamentales: Ministerio de Salud Pública, Ministerio de Educación,

Ministerio de Agricultura y Ganadería, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional, Registro Nacional de las Personas, Policía Nacional Civil, Tribunal Supremo Electoral, Comité Nacional de Alfabetización, Ministerio de Desarrollo Social, Consejo Nacional de Áreas Protegidas y Ministerio Público.

Con estas instituciones presentes en el municipio, el Concejo Municipal, el Director Municipal de Planificación y la Comisión de Infraestructura, Urbanismo y Ordenamiento Territorial se tiene un gran potencial para hacer uso del modelo SHALSTAB en los procesos de planificación y ordenamiento territorial.

2.9. Código Municipal

El código municipal fue creado según Decreto Número 12-2022 del congreso de la república de Guatemala que tiene como objetivo la organización, administración y funcionamiento de los municipios.

Dicho decreto establece en su artículo 3 sobre el ejercicio de su autonomía dice que: “elige sus autoridades y ejerce por medio de ellas, el gobierno y administración de sus intereses..., atiende los servicios públicos locales, el ordenamiento territorial de su jurisdicción, su fortalecimiento económico y la emisión de ordenanzas y reglamentos” (Decreto número 12-2002. Código Municipal, 2002, p. 2).

En su artículo 4, se describe que “El municipio podrá dividirse en las siguientes formas de ordenamiento territorial: cabecera municipal, aldea, caserío, paraje, cantón, barrio, zona, colonia, lotificación, parcelamiento urbano o agrario, microregión, finca, las formas propias de ordenamiento territorial de los pueblos indígenas..” (Decreto número 12-2002. Código Municipal, 2002, p. 2).

En su artículo 35 se resalta como atribuciones generales del Concejo Municipal los siguientes “inciso b) el ordenamiento territorial y control urbanístico de la circunscripción municipal; inciso e) El establecimiento, planificación, reglamentación, programación, control y evaluación de los servicios públicos municipales... y en su inciso x) la elaboración y el mantenimiento del catastro...”. (Decreto número 12-2002. Código Municipal, 2002, p. 9).

En el artículo 36 del Código Municipal se reasalta la comisión de Servicios, infraestructura, ordenamiento territorial, urbanismo y vivienda, como el enlace técnico que en conjunto con la DMP son los encargados que todos los procesos de ordenamiento territorial puedan ponerse en marcha dentro del municipio en estudio.

En su artículo 95, dice que “El Concejo Municipal tendrá una Dirección Municipal de Planificación que coordinará y consolidará los diagnósticos, planes, programas y proyectos de desarrollo del municipio.” (Decreto número 12-2002. Código Municipal, 2002, p. 28).

En su artículo 98, sobre la Administración Financiera Integrada Municipal, describe que “...la recaudación y administración de los ingresos municipales, la gestión de financiamiento, la ejecución presupuestaria y control de los bienes comunales y patrimoniales del municipio, cada municipalidad deberá contar con la Administración Financiera integrada Municipal” (Decreto número 12-2002. Código Municipal, 2002, p. 29).

En el municipio de San Juan Atitán por ser un municipio pequeño en extensión y por no contar con los ingresos suficientes para la apertura de nuevas oficinas, existen las oficinas técnicas reguladas en el artículo 4 del Código Municipal como lo es la DMP, DAAFIM y DMM; mientras que las que no se

regulan en este artículo esta la Oficina Forestal con las que en conjunto con la DMP son las encargadas de impulsar todos los procesos de los planes municipales de desarrollo y de ordenamiento territorial.

El municipio no cuenta con un reglamento de construcción y los que actualmente se tienen ya no están vigentes.

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo de la investigación se realizó de acuerdo a las características del estudio, las variables utilizadas, las diferentes fases de la investigación, las técnicas de análisis, los instrumentos y técnicas para la recolección de los datos, como se describen a continuación.

3.1. Características del estudio

A continuación, se presentan las características del presente estudio; iniciando con el diseño, enfoque, alcance entre otras características que se detallan en los subtítulos:

3.1.1. Diseño

Su diseño es no experimental porque a través de la extensión SHALSTAB de ArcView se generó el modelo de deslizamientos para poderlo aplicar en la categorización del ordenamiento territorial del municipio en estudio.

3.1.2. Enfoque

Esta investigación es de tipo mixto, ya que se utilizaron variables cualitativas y cuantitativas en la identificación de áreas susceptibles a deslizamiento, en el municipio de San Juan Atitán del departamento de Huehuetenango.

3.1.3. Alcance

El alcance de la presente investigación es descriptivo ya que con los mapas generados se describieron tanto en la parte rural como en la cabecera urbana del municipio los medios de vida que se encuentran en riesgos a deslaves o deslizamiento.

3.1.4. Unidad de análisis

La presente investigación se realizó en el municipio de San Juan Atitán, del departamento de Huehuetenango, que beneficiará a una población de 19,418 habitantes, de las cuales 8,892 son hombres y 10,526 son mujeres; 19,348 son mayas, 52 ladinos, 15 garífunas y 3 afrodescendientes. (INE, 2018)

El municipio tiene una extensión territorial de 57.06 Km², lo que representa el 0.78 % del departamento de Huehuetenango (SEGEPLAN, 2010).

Del modelo generado a través de la extensión SHALSTAB considero para su análisis tanto el área urbana como a la rural del municipio.

3.2. Variables

Las variables en estudio se describen a continuación, para cada una de las diferentes preguntas

¿Qué áreas susceptibles a deslizamiento se identificarán a través del modelo SHALSTAB?

Tabla I. Definición teórica y operativa de la variable formato ráster

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Formato Ráster	Es una imagen aérea digital o satelital con la cual se representa una parte de la tierra.	A través de la extensión SHALSTAB del software ArcView se generó un mapa con información de áreas estables e inestables del municipio de San Juan Atitán, Huehuetenango.

Fuente: elaboración propia

¿Cómo el modelo de la extensión SHALSTAB se puede transformar a un formato vectorial para un mejor análisis en los programas SIG?

Tabla II. Definición teórica y operativa de la variable formato vectorial

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Formato vectorial	Es un archivo donde se almacenan líneas, puntos o polígonos y cada vértice lleva una coordenada georreferenciada.	Los mapas generados a través de la extensión SHALSTAB se transformaron a una capa en formato vectorial para su incorporación en los planes de ordenamiento territorial del municipio.

Fuente: elaboración propia

¿Podrían ser incluidos los mapas generados a través del modelo de la extensión SHALSTAB y los formatos vectoriales como un apoyo en el análisis de

los procesos de ordenamiento territorial que se realizan en el municipio de San Juan Atitán a través de los Planes de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial -PDMOT- de la metodología de la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia -SEGEPLAN?

Tabla III. Definición teórica y operativa de la variable mapas

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Mapas	Es la representación geográfica de la tierra o una parte de ella a una escala determinada.	Se generaron los mapas de áreas susceptibles a deslizamiento a través de la extensión SHALSTAB, para su análisis en el PDMOT del municipio en estudio.

Fuente: elaboración propia

3.3. Fases del diseño de investigación

A continuación, se describen las fases que se abordaron para generar la información necesaria que le dio respuesta a la presente investigación

3.3.1. Fase 1. Revisión bibliográfica

En esta primera fase se realizó la búsqueda y consulta de toda la información bibliográfica referida al tema de investigación, con el objetivo de enriquecer los conocimientos sobre áreas susceptibles a deslizamientos, herramientas SIG y planes de ordenamiento territorial.

3.3.2. Fase 2. Análisis de información

Con la información bibliográfica se hizo el análisis y se clasificó de mayor a menor importancia la información más relevante para el presente estudio.

En primera instancia se tomaron en cuenta aquellos estudios, revistas, libros y páginas web que contenían información reciente sobre el municipio de San Juan Atitán especialmente en lo relacionado a la pendiente, textura de los suelos, hidrología y áreas susceptibles a deslizamientos, también sobre herramientas SIG que se utilizan para realizar el análisis a deslizamientos y las investigaciones que se tienen tanto en nuestro país como en otros sobre la extensión SHALSTAB de ArcView.

3.3.3. Fase 3. Generación de resultados

Para generar los resultados en la presente investigación, se adquirieron sin ningún costo las capas del límite del municipio de San Juan Atitán que fueron generadas por en el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el Modelo de Elevación Digital (DEM).

Se obtuvo de páginas oficiales el software ArcView que ya contiene la extensión SHALSTAB y que es de uso gratuito.

Con la información anteriormente mencionada en el software ArcView se cargó extensión SHALSTAB y se generaron los mapas con la información de áreas susceptibles a deslizamientos de lo urbano y rural del municipio de San Juan Atitán, Huehuetenango.

Con el mapa generado, se transformó a una capa vectorial (shape), que servirá para apoyar en el análisis de la categoría de protección y usos especiales del PDMOT que SEGEPLAN promueve en el municipio de estudio.

3.3.4. Fase 4: discusión de resultados

Con los mapas generados y las capas vectoriales obtenidas, se procedió a hacer la discusión, enfocadas al uso de la extensión SHALSTAB en el análisis de áreas susceptibles a deslizamientos y la utilidad que esta investigación tendrá para el municipio de San Juan Atitán, del departamento de Huehuetenango, en su proceso de ordenamiento territorial.

3.4. Técnicas de análisis de información

Con los datos obtenidos en el presente estudio se procedió a su análisis con información estadística para su interpretación y factibilidad de la extensión SHALSTAB de ArcView en la identificación de áreas susceptibles a deslizamiento en el municipio de San Juan Atitán.

Para el análisis de las variables se utilizaron las siguientes herramientas: Encuestas: se realizaron encuestas de forma física y en línea, a personal de la municipalidad e instituciones presentes en el municipio de San Juan Atitán para saber si conocen las áreas susceptibles a deslizamientos del municipio en estudio, si conocen herramientas GIS así como la extensión SHALSTAB para su análisis, mientras que a los especialistas en planificación y ordenamiento territorial de SEGEPLAN se le consultó si utilizan herramientas SIG y el modelo SHALSTAB en el análisis de las áreas susceptibles a deslizamientos en los procesos de los planes de desarrollo municipal y ordenamiento territorial .

Mapas ráster: a través de la extensión SHALSTAB se generó un mapa donde se identificaron las áreas estables e inestables a los deslizamientos dentro del municipio.

Con la herramienta gratuita de QGIS se generaron capas con información de áreas estables e inestables de lo rural y urbano del municipio en estudio.

Se elaboraron tablas con información de áreas y medios de vidas en riesgo dentro de esas áreas inestables, (población urbana y rural, cultivos e infraestructura).

La herramienta estadística a utilizada para el análisis de los instrumentos de las encuestas fue tablas dinámicas con las que se realizó la discusión de las mismas.

3.5. Instrumentos y técnica para la recolección de datos.

Para la recolección de datos se utilizó encuestas aplicadas a tres estratos.

3.5.1. Encuesta

El instrumento de la encuesta se utilizó para la recolección de datos, con la cual se pudo determinar si en el municipio de San Juan Atitán conocen las áreas que son susceptibles a deslizarse y que herramientas SIG se han utilizado para identificarlas, la técnica a utilizar fue través de preguntas dirigidas a las personas a través de un enlace que se les envió a su teléfono celular.

La encuesta tuvo preguntas cerradas y abiertas ya que la información a recolectar se requiere que por un lado el entrevistado pueda responder de forma

directa y en otros casos que su respuesta sea más amplia y no esté sujeto a responder en una misma línea.

3.5.2. Muestreo

El muestreo utilizado fue el probabilístico estratificado. El estrato estuvo conformado por: colaboradores de las oficinas municipales, los especialistas en planificación y ordenamiento territorial (EPOT) de SEGEPLAN y las instituciones que tienen presencia en el municipio.

El universo de la investigación lo constituyeron 23 planificadores de SEGEPLAN, 12 instituciones con presencia en el municipio y 10 colaboradores de las oficinas municipales, que en total suman 45 personas entrevistadas.

Para determinar el tamaño de la muestra se aplicó la fórmula de muestreo siguiente:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * (1-p)}{(N-1) * e^2 + Z^2 * p * (1-p)}$$

En la que:

n = Muestra que se quiere calcular.

N = Es el tamaño de la población.

Z = La desviación del valor que se acepta para lograr el nivel de confianza.

e = Es el margen de error máximo admitido,

p = Probabilidad de que ocurra el evento (éxito).

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados que dan respuestas a las preguntas planteadas se describen a continuación:

4.1. Encuestas realizadas

Al aplicar el muestreo probabilístico estratificado, la muestra obtenida fue de 41 personas a quienes se les pasara la encuesta en los 3 estratos. Estas quedaron distribuidas de la siguiente manera: 21 Especialistas en Planificación y Ordenamiento Territorial (EPOT) de SEGEPLAN, 11 representantes de las instituciones con presencia en el municipio y 9 colaboradores de las oficinas municipales.

Las encuestas fueron dirigidas con la intención de saber si se tenía conocimiento en el municipio sobre aquellas áreas que son propensas a deslizamientos, su impacto y las medidas de mitigación implementadas, por otro lado, que tanto conocen y utilizan los SIG para identificar estas áreas, si conocen y han utilizado la extensión SHALSTAB, de ArcView en el análisis para mitigar el impacto provocado por estos fenómenos naturales.

En el caso de los colaboradores de la municipalidad de San Juan Atitán la mayoría de preguntas fueron dirigidas a conocer las áreas que se encuentran propensas a deslizamientos, si tienen algún instrumento para mitigar el impacto en las áreas de riesgos y si cuentan con presupuesto para atender las áreas

afectadas; lo mismo se preguntó en un apartado a las instituciones presentes en el municipio, cuyas respuestas se resumen a continuación:

Tabla IV. Respuesta de encuesta a personal de la municipalidad e instituciones

Pregunta	Municipalidad	Instituciones
Que riesgos naturales existen en el municipio	Deslizamientos o derrumbes, Heladas e inundaciones	Deslizamientos o derrumbes, Heladas, vientos fuertes, incendios y sequias
Que comunidades tiene áreas con derrumbes	Aldea Camul, Casco urbano, Sacchimaj, tuishin cementerio	Aldea Checoche, Caserío Camál, Casco urbano
Que medios de vida han dañado los derrumbes	Carreteras y bosques	Casas, carreteras, cultivos agrícolas, animales, escuelas, puentes, bosques
Intensidad del daño ocasionado	Moderado y severo	Leve, moderado y severo
Implementa medidas que ayuden a reducir los efectos ocasionados en las áreas afectadas por derrumbes	Limpieza de los mismos, habilitación de las áreas afectadas, apoya con materiales para sostener el derrumbe, reconstrucción y construcción de muros.	Ninguna
Tiene presupuesto para apoyar a mitigar el impacto en las áreas en riesgo	Si	No
Se tiene algún manual, acuerdo o reglamento para apoyar a mitigar las áreas de riesgo	Partida presupuestaria para cubrir los gastos que se occasionen	La mayoría no tiene, solo SECONRED dijo que si
Que instituciones están trabajado en el municipio, sobre temas de deslizamientos o derrumbes	CONRED	SECONRED

Fuente: elaboración propia

Del conocimiento que tienen los encuestados sobre la extensión SHALSTAB de ArcView, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla V. Respuesta de la encuesta a los EPOT

Conoce usted el modelo SHALSTAB		Ha aplicado el modelo SHALSTAB		Integrantes de la mesa técnica del PDMOT conocen el modelo SHALSTAB		Instituciones hacen uso del modelo SHALSTAB		Las municipalidades de su departamento hacen uso del modelo SHALSTAB		Las instituciones y los gobiernos locales deberían de invertir en capacitar a su personal en programas SIG	
Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
0	21	0	21	1	20	0	21	0	20	21	0

Fuente: elaboración propia

Tabla VI. Respuesta de encuesta a instituciones con presencia en el municipio

Ha participado en cursos sobre herramientas GIS enfocadas al análisis de riegos		Conoce usted el modelo SHALSTAB del software arcview 3.2, para el análisis de áreas en riesgos		Ha aplicado el modelo SHALSTAB del software arcview 3.2, en el análisis de deslizamientos o derrumbes en el municipio de San Juan Atitán		Conoce que otras instituciones con presencia en el municipio hacen uso del modelo SHALSTAB del software arcview 3.2, en el análisis de deslizamientos o derrumbes	
Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
3	8	1	10	0	11	0	11

Fuente: elaboración propia

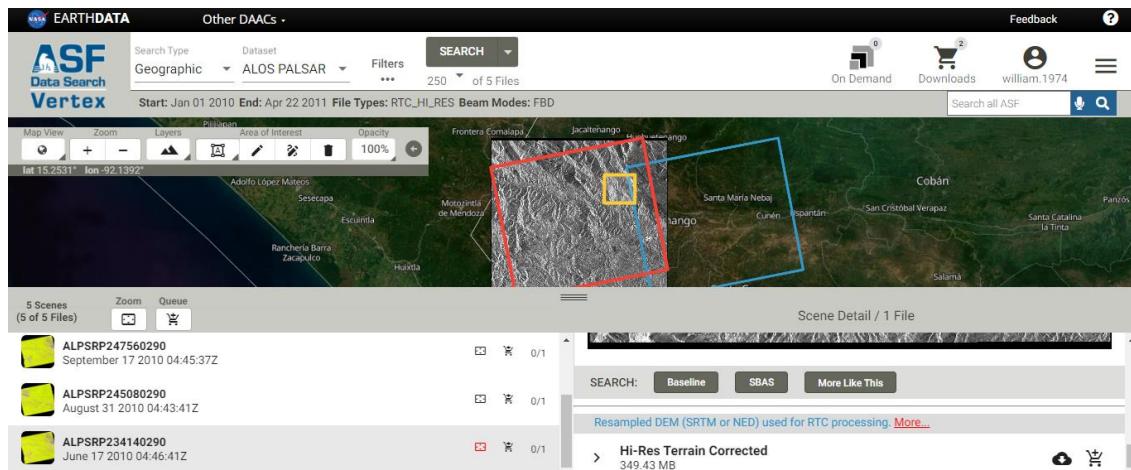
4.2. Generación del modelo a través de la extensión SHALSTAB del software ArcView

Para generar el modelo de la extensión SHALSTAB, se utilizaron diferentes recursos que a continuación se detallan:

4.2.1. Modelo de elevación digital (DEM)

El DEM que se utilizó en el software ArcView para generar el modelo, se obtuvo gratuitamente del satélite ALOS de la agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial, del año 2010 al 2011.

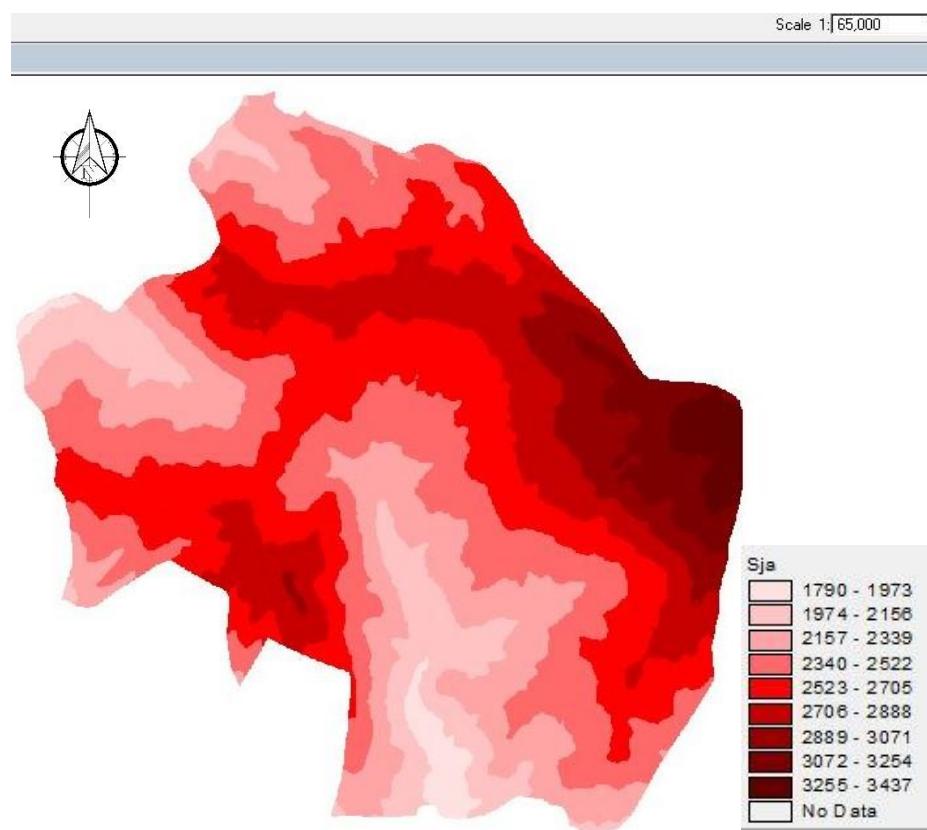
Figura 6. DEM del satélite ALOS



Fuente: *satélite ALOS de EARTHDATA, ASF Data Vertex (2022)*. Recuperado de <https://search.asf.alaska.edu/#/>.

El DEM fue cargado en el Software ArcView que fue la base sobre la cual se generó el modelo que dio como resultado un mapa ráster.

Figura 7. Modelo de Elevación Digital



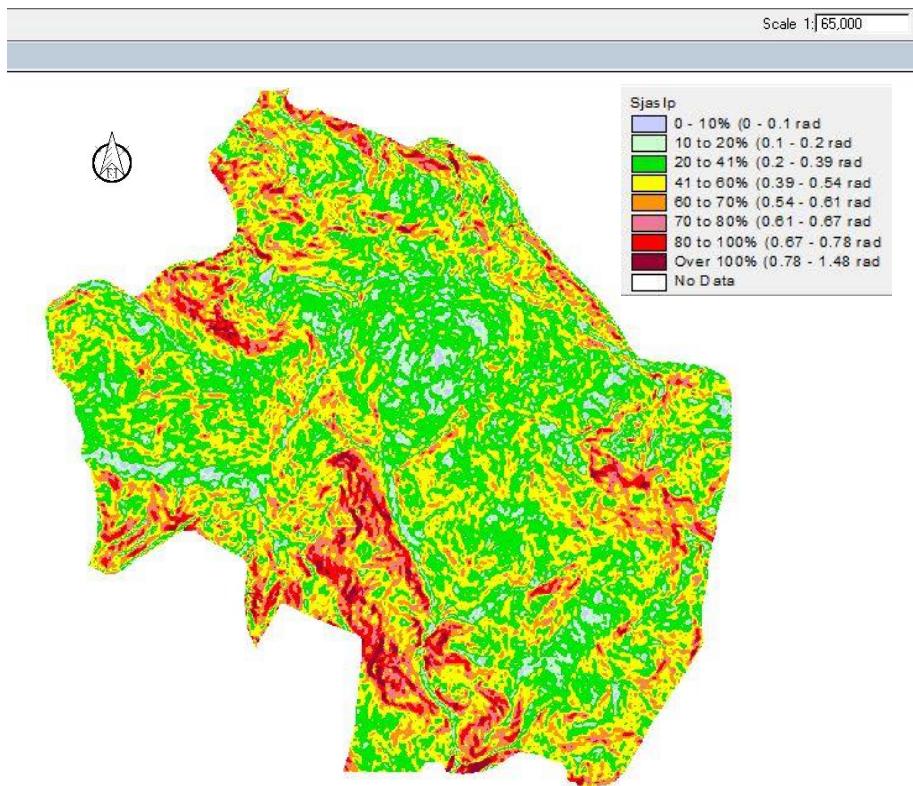
Fuente: elaboración propia, realizado con la extensión SHALSTAB de ArcView, base cartográfica del IGN y utilizando el DEM del satélite ALOS.

4.2.2. Mapa de pendientes

En el Software ArcView se activa la extensión SHALSTAB y en SHALtopo se genera el mapa de pendientes, donde se puede observar que la mayoría de

pendientes en el municipio se encuentran entre los rangos de 20% y 40%, seguida de pendientes entre de 41 % a 60 %.

Figura 8. **Mapa de pendientes**



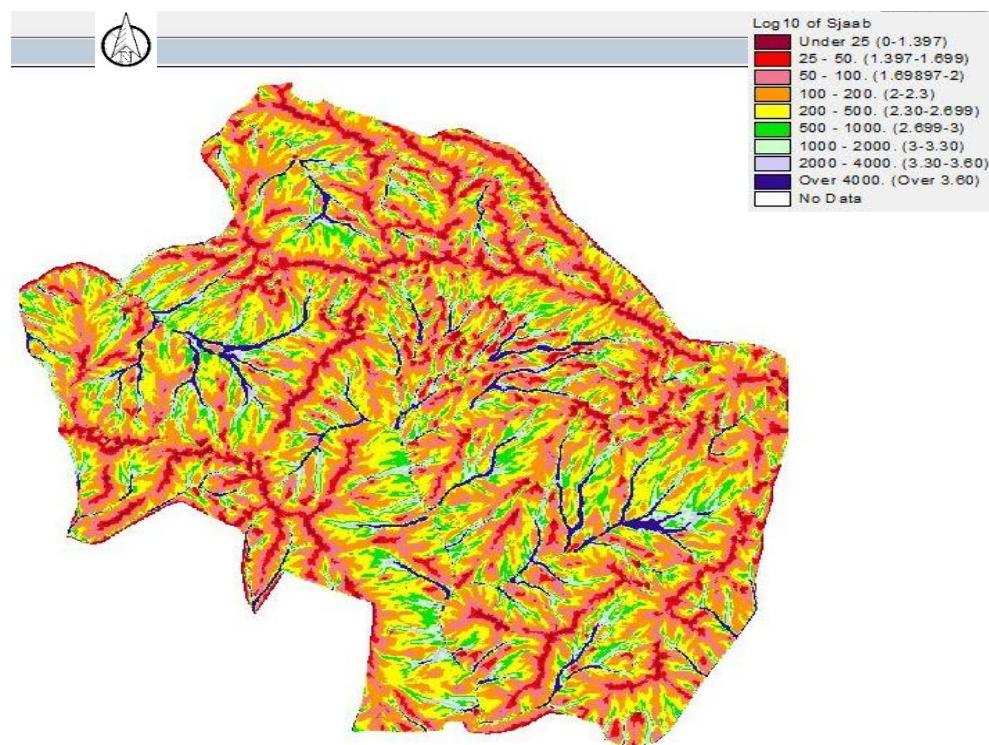
Fuente: elaboración propia, realizado con la extensión SHALSTAB de ArcView.

4.2.3. **Mapa de contribución**

Se procedió a sacar las áreas hacia donde tiende el deslizamiento a fluir de acuerdo a las pendientes existentes en el lugar. Se tomaron los parámetros que ya están generados por el modelo de acuerdo a la textura y fricción interna del suelo. Para estas áreas el ángulo de fricción es de 45 grados y densidad del

suelo es de $1,700 \text{ kg/m}^3$. Como resultado de lo anterior se obtiene el mapa de contribución:

Figura 9. **Mapa de contribución**

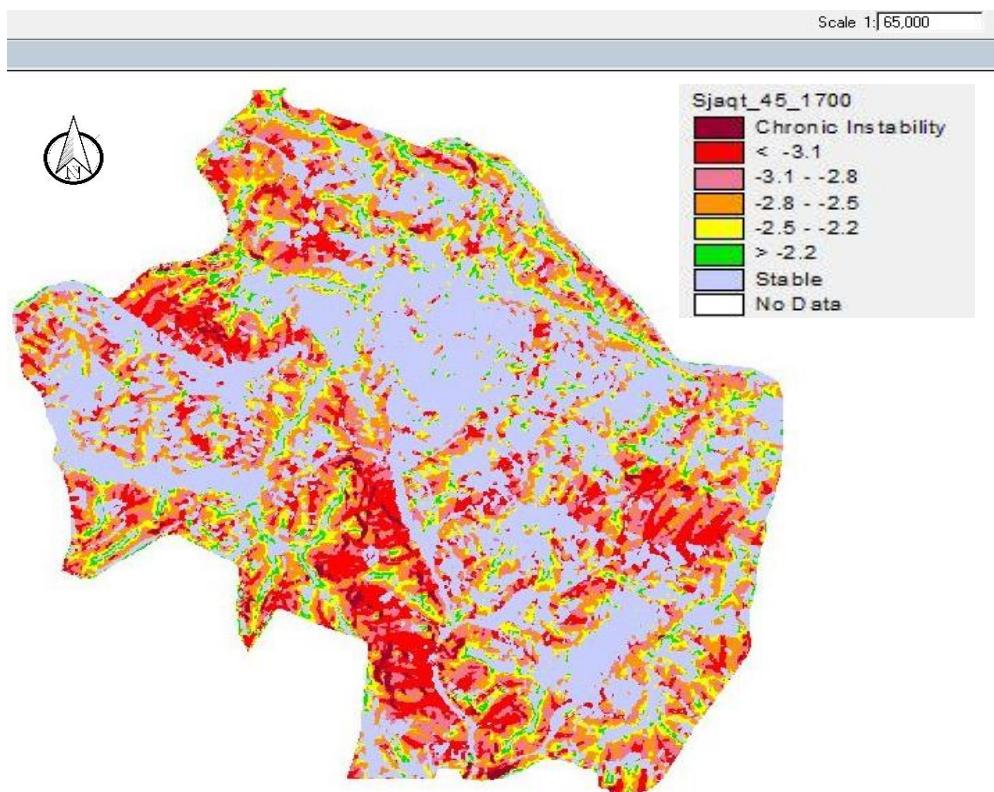


Fuente: elaboración propia, realizado con la extensión SHALSTAB de ArcView.

4.2.4. **Mapa ráster de áreas estables e inestables**

Con la información generada anteriormente, se logra obtener como resultado final el modelo en formato ráster de las áreas susceptibles a deslizamientos.

Figura 10. **Mapa ráster de la extensión SHALSTAB**

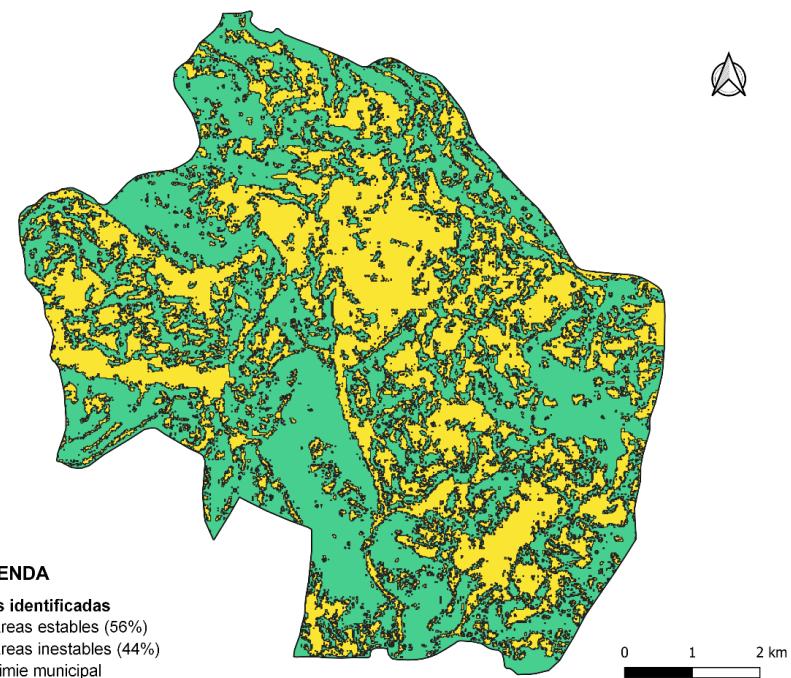


Fuente: elaboración propia, realizado con la extensión SHALSTAB de ArcView.

4.3. Traslado del modelo generado a través de la extensión SHASTAB de ArcView a formato vectorial.

Para realizar este proceso se utilizó el software de QGIS, que es un sistema de información geográfico gratuito de código abierto para plataformas como *windows*, de donde se generó una capa (*shape*) que dio origen al siguiente mapa:

Figura 11. **Mapa en formato vectorial**

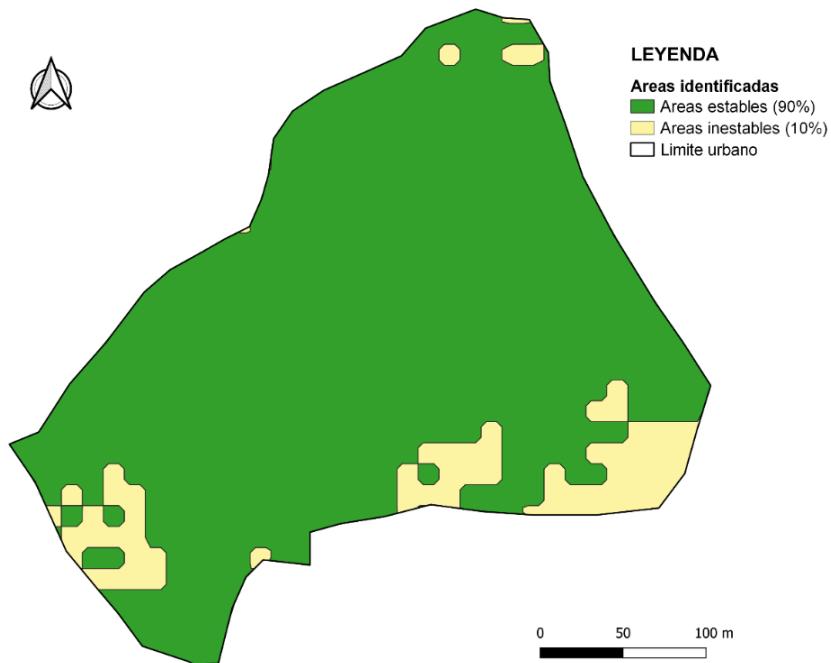


Fuente: elaboración propia, generado a través del programa Qgis, tomando como base el mapa ráster que se obtuvo de la extensión SHALSTAB de ArcView

En este mapa al transparentarlo y montarlo sobre una ortofoto, se puede identificar aquellos medios de vida que están en riesgo, tanto del área urbana como de la rural y comenzar a tomar decisiones de las medidas a realizar para minimizar el impacto.

También se generó la capa para el área urbana (cabecera municipal) donde se generó un mapa que al realizar el proceso anteriormente mencionado se pueden observar las áreas inestables y estable.

Figura 12. **Mapa de áreas estables e inestables de la cabecera municipal**



Fuente: elaboración propia, generado a través del programa Qgis, tomando como base el mapa ráster que se obtuvo de la extensión SHALSTAB de ArcView.

4.3.1. **Entrega del modelo y los mapas generados**

Fue entregado el modelo generado en formato ráster y vectorial al gobierno local del municipio de San Juan Atitán a través de una nota que explica dónde y para qué puedan ser utilizados en el municipio y así trabajar en la prevención de los efectos que puedan causar los deslizamientos.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la presente investigación se discuten de la siguiente manera:

5.1. Identificación de áreas susceptibles a deslizamientos y uso de herramientas SIG según las encuestas realizadas.

De las encuestas que fueron pasadas a personal que labora en las municipalidades e instituciones que están presente en el municipio de San Juan Atitán se pudo determinar según tabla IV, que existen riesgos naturales en el municipio a: deslizamientos o derrumbes por la inestabilidad y topografía del terreno, heladas y vientos fuertes debido a la altura en que se encuentra el municipio, en época de verano se dan en algunas áreas las sequias y los incendios forestales, aunque estos son eventuales tienen un efecto directo en la pérdida de la flora y fauna del lugar

Los centros poblados que son afectados por los deslizamientos o derrumbes son Aldeas: Checoche y Camul; Caseríos: Cementerio, Camul y Sacchimaj; Cantón Tuixin y el casco urbano del municipio.

Los daños que han causado los deslizamientos han sido en infraestructura como: casas, carreteras, puentes y escuelas; cultivos agrícolas como maíz y frijol, pérdida de bosque y animales silvestres; ninguno de los encuestados respondió que se hayan tenido pérdidas de vidas humanas. Los daños ocasionados van desde leves hasta severos.

La municipalidad cuenta con una partida presupuestaria no de prevención, sino para atender los eventos para mitigación y compensar el efecto de los daños ocasionados a través de apoyar a las familias afectadas, habilitación de las áreas deslizadas al realizar limpieza y construcción de muros de contención para evitar su caída.

En el caso de las instituciones: a) la mayoría no cuentan con un presupuesto para mitigar estos efectos, b) no cuentan con un manual de procedimiento para prevenir el impacto ocasionado y c) solamente la CONRED tiene su manual de procedimiento para la prevención y atención de desastres, es con quien la municipalidad coordina el monitoreo de las áreas dañadas.

De las respuestas recibidas por los EPOT en los procesos de asesoramiento durante elaboración de los PDMOT en su departamento de cobertura: a) el 61 % utiliza la herramienta de QGis para el análisis de áreas de deslizamiento, b) el 10 % utiliza ArcGis, d) el 19 % utiliza ambas herramientas y e) el 10 % no utiliza ninguna herramienta.

Según la tabla V, sobre el uso y aplicación de la extensión SHALSTAB: a) el 100 % no conoce ni ha aplicado el modelo SHALSTAB en la identificación de áreas propensas a deslizamientos, b) ninguna institución y personal de la municipalidad lo han utilizado y c) solamente el 5 % de los que integraron la mesa técnica en el proceso de elaboración de los PDMOT lo conocen; por lo que tanto las instituciones como los gobiernos locales deben de invertir en capacitar a su personal en programas SIG orientadas al análisis de los riesgos naturales y socio naturales.

En las respuestas proporcionadas por personal de las instituciones con presencia en el municipio, de acuerdo al cuadro No. 6, podemos observar que:

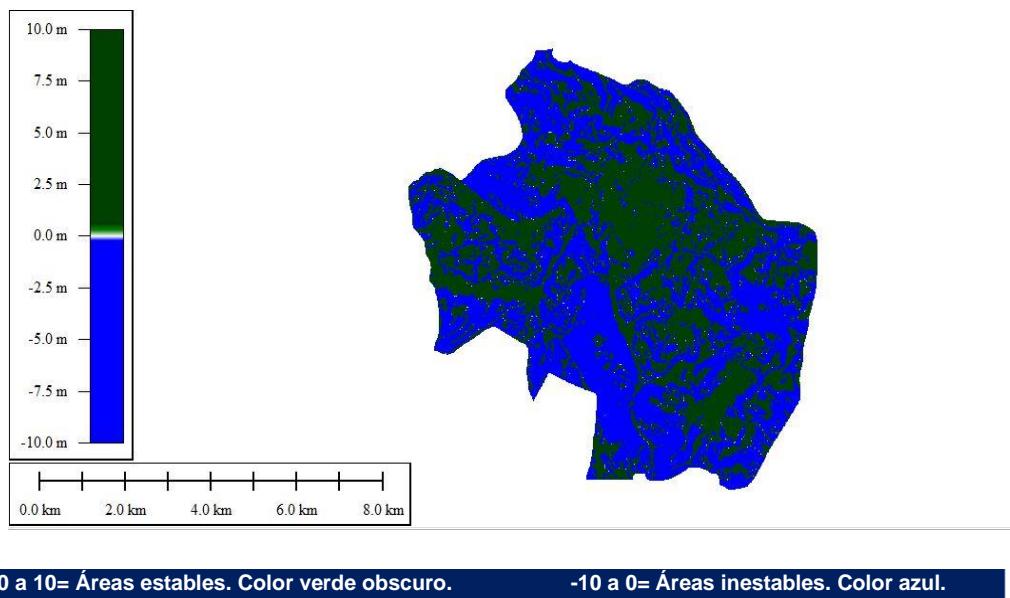
a) el 27 % de los entrevistados ha tenido acceso a participar en cursos de herramientas SIG enfocadas al análisis de riesgos, b) solo el 9 % conoce el modelo SHALSTAB, del software ArcView y c) el 100 % no la ha aplicado, ni tampoco conocen que otras instituciones en el municipio la utilicen.

5.2. ¿Qué áreas susceptibles a deslizamientos se identificarán a través del modelo generado por la extensión SHALSTAB?

Como se puede observar en la figura 10, a través de la extensión SHALSTAB de ArcView se pudo obtener el modelo representado en formato ráster donde se pueden identificar las áreas en color rojo intenso que son las que más probabilidad a deslizarse tienen, con una inestabilidad crónica, conforme se hace más claro el color las áreas se hacen menos inestables, hasta llegar a las áreas estables que se identifican con el color gris.

Para tener una mejor visualización de las áreas estables e inestables, se le dio un rango que se identificó con dos colores, donde de 0 a 10 son las áreas estables y se visualiza con el color verde oscuro y de -10 a 0 de color azul son las áreas inestables.

Figura 13. Áreas estables e inestables en el municipio de San Juan Atitán



Fuente: elaboración propia, realizado con la extensión SHALSTAB de ArcView y ejecutado en el software de Global Mapper para su representación en dos colores y dos escalas.

En este mapa se puede observar que la mayoría de áreas inestables se ubican en del área rural del municipio y pocas en el casco urbano de San Juan Atitán.

5.3. ¿Cómo el modelo de la extensión SHALSTAB se puede transformar a un formato vectorial para un mejor análisis en los programas SIG?

Al tener el modelo en formato ráster originado por la extensión SHALSTAB, se procedió a transformarlo en un formato vectorial, donde al transparentarlo y sobreponerlo en una ortofoto se puede determinar con mayor

detalle los lugares poblados y los medios de vida que están en riesgo a deslizamiento, así como las áreas que son más estables.

La figura 14. Se genera con la información de la figura 11; se le sobrepusieron las capas de centros poblados, ríos, carreteras y una ortofoto, las cuales facilitaron la identificación de algunos de los centros poblados que fueron descritos en las encuestas en donde actualmente han sucedido deslizamientos y como podemos observar también se ubican en las áreas inestables que generó el modelo, sin embargo, hay otros más que también lo están, como: Cojton, La Vega o Rancho Cuate, Tuischib, Ixquilam, Tuismache, Tujtzaj, Sector El Bosque, Pueblo Nuevo Chevac y Tuniguas.

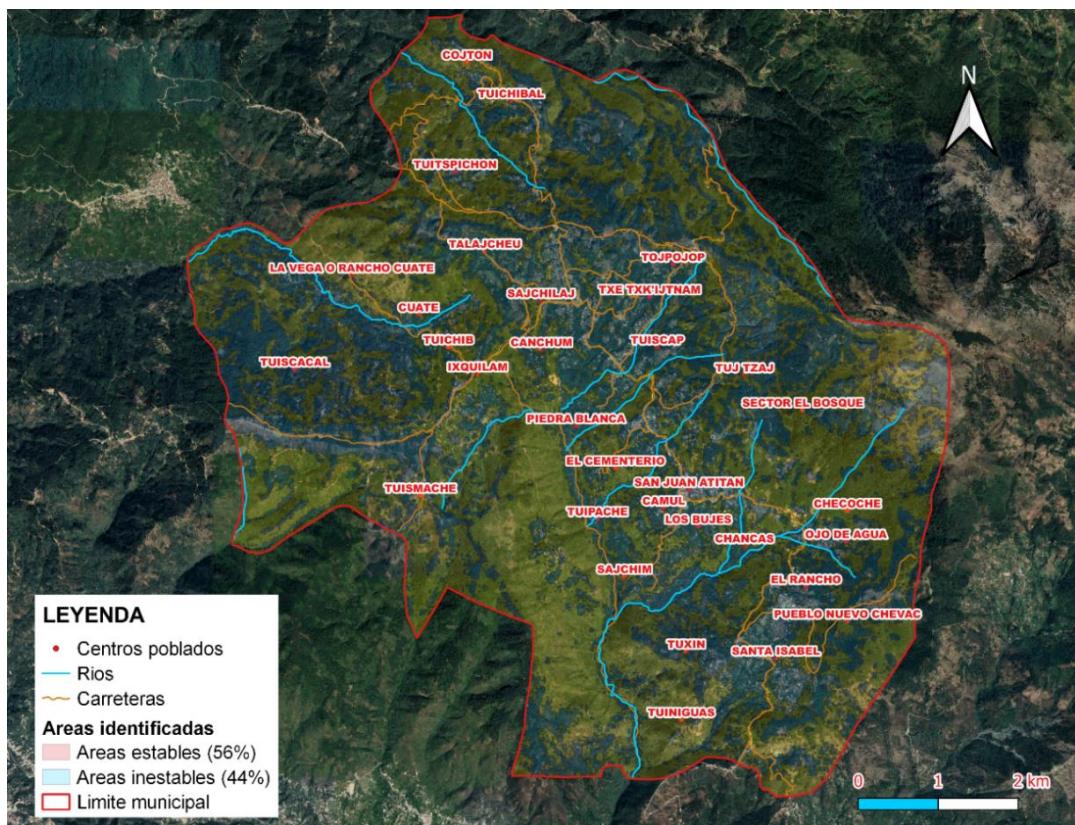
Se puede observar que la mayoría de carreteras que llegan a los centros poblados, pasan por áreas inestables las cuales pueden quedar incomunicados si sucede algún deslizamiento y si no se implementan medidas de mitigación y/o corrección.

Muchas de las viviendas que están ubicadas en la comunidad de Cojón se encuentran en áreas inestables, lo cual representa un riesgo para las familias que las habitan, sin embargo, la mayoría de viviendas de las comunidades de Tojpojop, TxeTxk'ijtnam, Tuiscap, Sajchilaj y Talajcheu se encuentran construidas en áreas estables.

Las áreas cultivadas que se tienen en La Vega o Rancho Cuate, Tuismache, el Cementerio y Tuniguas se encuentran en áreas inestables propensas a deslizamientos, por lo que los agricultores deben de implementar estructuras de conservación de suelos para mitigar el impacto que puedan tener al momento de un deslizamiento.

En el año 2016, según el INAB, el municipio registra una cobertura forestal del 51.20%, que equivalen a 3,897 hectáreas; parte de esta cobertura ubicada en los centros poblados de Tuischib, Ixquilam, Tujtzaj, Sector El Bosque, Pueblo Nuevo Chevac y Tuniguas se encuentran en riesgos por estar en áreas inestables a deslizamiento.

Figura 14. Áreas estables e inestables presentes en el área rural del municipio



Fuente: elaboración propia, generado a través del software Qgis, Google Satellite y la base cartográfica del IGN e INE.

A través de este formato vectorial (shape) se pudo establecer que el 56 % del total del área en el municipio se encuentra en área estable y el 44 % en área

inestable que pueden ocasionar deslizamientos y es donde se deben de implementar las medidas de prevención para que no ocurran desastres que repercutan en la perdida de infraestructura, flora, fauna y vidas humanas.

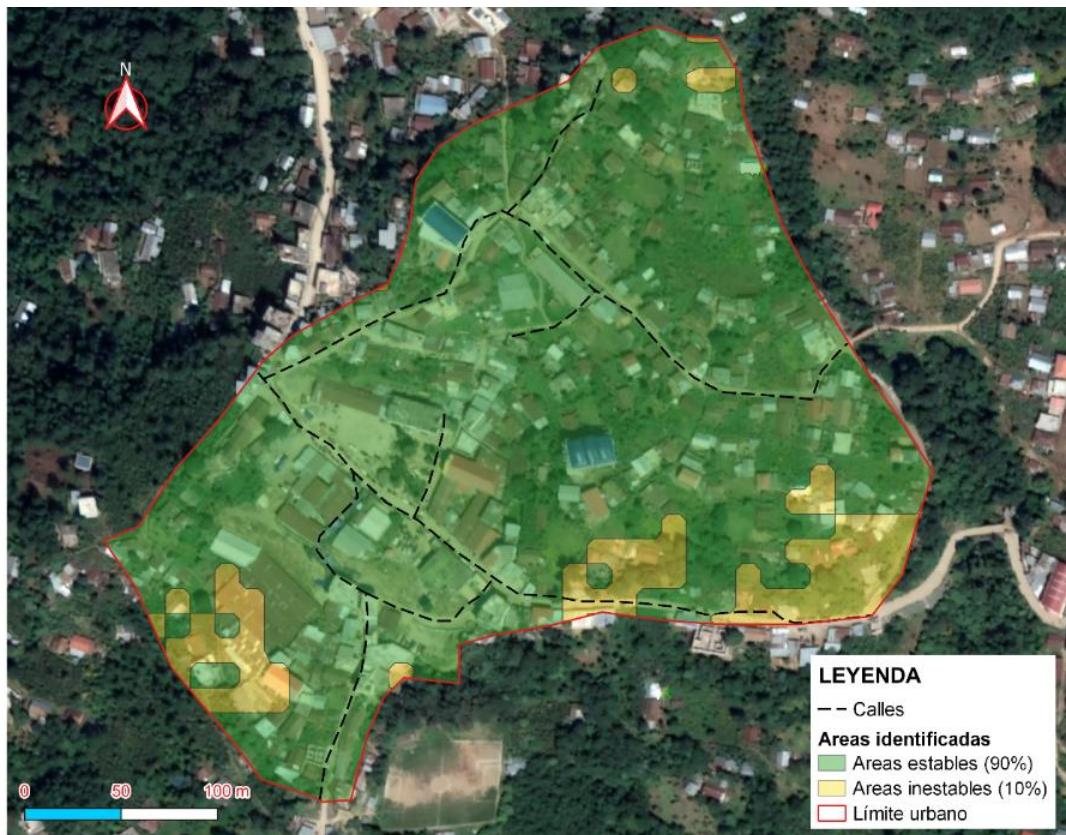
Con estos shapes o capas también se puede profundizar en el análisis de área que puede ser afectado por deslizamientos en el casco urbano de la cabecera municipal de San Juan Atitán.

La mayoría de las viviendas y equipamiento urbano se encuentran ubicadas dentro del área estable de la cabecera municipal; solamente una parte del mercado está dentro del área inestable que pueda deslizarse.

Al igual que el área rural, también con estas capas se pudo determinar que el 90% del total del área de la cabecera municipal se encuentra en área estable y el 10% en área inestable, por lo que es recomendable hacer una investigación *in situ* para determinar qué factores son determinantes para que esta herramienta las ubique en una zona riesgo.

Lo anterior se puede observar en la siguiente figura:

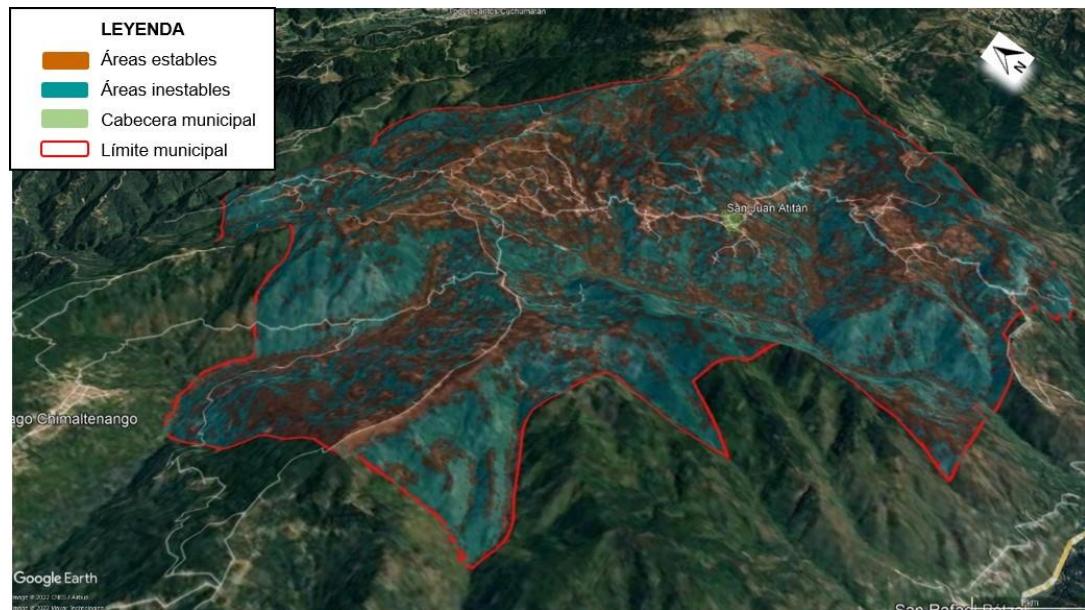
Figura 15. Áreas estables e inestables en la cabecera municipal



Fuente: elaboración propia, generado a través del software Qgis, y Google Satellite.

Con información de la figura 14, las capas se transforman a un archivo KML, luego se sobreponen en Google Earth y desde allí también se puede hacer el análisis de que medios de vida pueden ser afectados por un deslizamiento, lo que se considera una herramienta que puede ser de mucha utilidad para los gobiernos municipales, instituciones públicas y privadas, al momento de planificar cualquier proyecto sean estos agrícolas, pecuarios, forestales, de infraestructura, entre otros, como se puede observar en la siguiente figura:

Figura 16. Áreas estables e inestables vistas desde Google Earth



Fuente: elaboración propia, elaborado a través del software Qgis, Google Earth, sobre la base cartográfica del IGN.

5.4. ¿Podrían ser incluidos los mapas generados a través del modelo de la extensión SHALSTAB y los formatos vectoriales como un apoyo en el análisis de los procesos de ordenamiento territorial que se realizan en el municipio de San Juan Atitán a través de los Planes de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial -PDMOT- de la metodología de la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia -SEGEPLAN-?

Para dar respuesta a esta interrogante se entregó el modelo generado a través de la extensión SHALSTAB en formatos ráster, así como el formato vectorial en digital, al presidente del Concejo Municipal acompañado con una nota (ver apéndice 5) donde se explica la utilidad que tendrán estos al ser incluidos en el análisis de la categoría de protección y uso especial de la

metodología que SEGEPLAN esta propone en el municipio al momento de actualizar el Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial.

La misma debe de ser compartido en las reuniones del Consejo Municipal de Desarrollo-COMUDE-, con las instituciones públicas y privadas que están presentes en el municipio, así como la sociedad civil, que servirá como una herramienta de consulta y toma de decisiones en la prevención de deslaves o derrumbes dentro del municipio.

Estas herramientas se constituyen de gran utilidad no solo en la toma de decisiones al momento de realizar proyectos de impacto en el municipio, sino como una herramienta que contribuya a prevenir que en el municipio se puedan dar deslaves en áreas donde actualmente están construidas viviendas, lo que puede hacer posible que con anticipación se implementen medidas de mitigación para minimizar su impacto y sobre todo para salvar vidas humanas.

5.5. ¿Cómo el modelo de deslizamientos generado con la extensión SHALSTAB del software ArcView puede apoyar la administración del territorio y el ordenamiento territorial del municipio de San Juan Atitán?

El modelo de deslizamientos generado con la extensión SHALSTAB puede apoyar el ordenamiento territorial del municipio de San Juan Atitán con las acciones que fueron evidenciadas en las secciones anteriores, para ello es necesario que el gobierno municipal se empodere de esta herramienta y la utilice como un insumo de análisis en su proceso de ordenamiento del municipio, a través de la actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial con metodología SEGEPLAN.

Su uso no solo se limita al análisis de áreas de riesgo en los PDMOT, sino también puede ser utilizada en como un apoyo para medir la calidad de la obra pública en el proceso de la preinversión a través de la boleta para el Análisis y la Gestión del Riesgo -AGRIP- y minimizar su impacto negativo en la identificación de áreas donde se pretenden construir infraestructura con fondos del CODEDE.

Se debe de socializar con las instituciones presentes en el municipio para que la puedan utilizar de forma eficiente dentro su competencia, de tal manera que dentro de la propuesta de sus proyectos a nivel municipal estos no se ubiquen en áreas inestables susceptibles a los deslizamientos.

El modelo propuesto para este municipio es una herramienta actualizada, ya que se podrá utilizar al usar de los Sistemas de Información Geográfica-SIG- lo que vendrá a incorporarse como un instrumento de toma de decisión en áreas de riesgos dentro del municipio de San Juan Atitán del departamento de Huehuetenango.

CONCLUSIONES

1. El modelo generado a través de la extensión SHALSTAB, proporciona información en una escala de 0 a 10 donde se identifican las áreas estables y de 0 a -10 las áreas inestables susceptibles a deslizamientos dentro del municipio, constituyéndose como una herramienta que se puede enlazar a los Sistemas de Información Geográfica.
2. Los formatos vectoriales generados, al sobreponerse con otras capas GIS, proporcionan valiosa información al realizar un análisis a mayor profundidad en la identificación de medios de vida que se encuentran en áreas inestables del municipio de San Juan Atitán.
3. El modelo generado a través de la extensión SHALSTAB fue entregado al presidente del Concejo Municipal de San Juan Atitán, para que se constituya como una herramienta de apoyo en los talleres de la tercera fase en la identificación de los linamientos normativos de ordenamiento territorial de la subcategoría de protección y uso especial del PDMOT de la metodología SEGEPLAN.
4. Con el modelo generado a través de la extensión SHALSTAB del software ArcView fueron identificadas áreas inestables susceptibles a deslizamientos, el cual se constituye como una herramienta que oriente la administración y el ordenamiento territorial del municipio de San Juan Atitán, del departamento de Huehuetenango.

RECOMENDACIONES

1. Considerar el modelo generado a través de la extensión SHALSTAB del software ArcView para el municipio San Juan Atitán Huehuetenango como una herramienta de consulta que viene a contribuir en la identificación de áreas inestables que están propensas a deslizarse en el municipio de San Juan Atitán del departamento de Huehuetenango.
2. Sobreponer los formatos vectoriales generados con capas SIG de mapas base, infraestructura, hidrología, riesgos, físico naturales y capas con información social, para un análisis más profundo de los riesgos a deslizamientos a que están expuestos los diferentes medios de vida y a la infraestructura que a futuro se pretenda construir dentro del municipio en estudio.
3. Implementar una Oficina Municipal de Ordenamiento Territorial en el municipio San Juan Atitán, Huehuetenango, para que se de el correcto uso al modelo y mapas generados y así fortalecer los procesos de planificación y ordenamiento territorial enmarcados en la metodología SEGEPLAN.
4. Utilizar el modelo generado a través de la extensión SHALSTAB del software ArcView, en la administración del municipio de San Juan Atitán, Huehuetenango, para categorizar áreas en riesgo a deslizamiento e incluirlas en los reglamentos de ordenamiento territorial.

REFERENCIAS

1. Almaguer, Y. y Guardado, R. (Enero-marzo, 2006). Tipología de movimientos de masas desarrollados en el territorio de Moa, Cuba. *Minería y Geología*, 22 (1),1-17.
2. Alonso, D. (19 de Mayo de 2016). Mapping GIS [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://mappinggis.com/2016/05/puedo-grass-gis-7/>
3. Ames, D. (30 de Marzo, 2016). MapWindow GIS para Windows [Mensaje en un blog]. Recuperado de https://filehippo.com/es/download_mapwindow_gis/
4. Aristizábal, E., Martínez, H. y Vélez, J. (2010). Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias. *Revista academia colombiana de ciencias exáctas, físicas y naturales*, 34 (131), 209-227.
5. Barrentes, G., Barrentes, O. y Núñez, O. (Julio-diciembre, 2011). Efectividad de la metología Mora-Vahrson modificada en el caso de los deslizamientos provocados por el terremoto de Cichona, Costa Rica. *Revista geográfica de América Central*, 2 (47), 141-162.
6. Biota, S. A. y The Nature Concervancy (2014). *Análisis de la vulnerabilidad ante el cambio climático en el altiplano de occidente de Guatemala*. Guatemala: Autores.

7. Concejo Municipal de Desarrollo de San Juan Atitán y Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (2010). Plan de desarrollo San Juan Atitán, Huehuetenango. Guatemala. Autor.
8. Decreto número 12-2002. Código Municipal. Guatemala. 02 de abril de 2002.
9. Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres. (2015). *Manual para la organización de coordinadoras para la reducción de desastres*. Guatemala. Autor.
10. Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres. (2022). Mapas municipales amenaza deslizamientos e inundaciones. Guatemala. Recuperado de <https://conred.gob.gt/mapas-municipales-amenaza-deslizamientos-e-indundaciones/>
11. Dietrich, W. y Montgomery, D. (1998). *SHALSTAB. Un modelo de terreno digital para mapear el potencial de deslizamiento de tierra pocos profundos*. Estados Unidos. Recuperado de <http://calm.geo.berkeley.edu/geomorph/shalstab/index.htm>.
12. Dirección General de Ordenamiento y Desarrollo Territorial de República Dominicana. (2016). *Guía metodológica para la formulación del plan municipal de ordenamiento territorial*. República Dominicana. Autor.
13. DIVA-GIS. (15 de Abril, 2010). DIVA-GIS [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.diva-gis.org/node>.

14. Fundación Centroamericana de Desarrollo. (1996). *Diagnostic del Municipio de San Juan Atitán*. Guatemala. Autor.
15. Gabri. (17 de Julio, 2019). ArcGeek [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://acolita.com/las->
16. gvSIG asociación. (11 de Mayo, 2014). gvSIG asociación [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://www.gvsig.com/es/productos/gvsig-desktop>
17. Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura. (1994). *Cuencas Fronterizas Guatemala-México. Cuencas de los ríos Suchiate, Coatán, Cuijco, Selegua y Nentón*. Costa Rica. Autor.
18. Instituto Nacional de Bosques, Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Universidad del Valle de Guatemala y Universidad Rafael Landívar. (2019). *Cobertura Forestal de Guatemala 2016 y Dinámica de Cobertura Forestal 2010-2016*. Guatemala: Autor.
19. Instituto Nacional de estadística. (2019). *XII censo nacional de población y VII de vivienda, resultados censo 2018*. Guatemala: Autor.
20. Jaramillo, C. (2014). *Determinación de la probabilidad de ocurrencia de deslizamiento aplicando lógica fuzzy vr Mora Vahrson, en el área Monjas-Itchimbia-Panecillo, del distrito metropolitano de Quito, (DMQ) y simulación en 3D*. (Tesis de licenciatura). Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8471>.

21. Marín, R., Marín-Londoño, J. y Mattos, Á. (2020). Análisis y evaluación del riesgo de deslizamientos superficiales en un terreno montañoso topical: Implementación de modelos físicos simples. *Scientia et Tecnica*, 25 (1), 164-171. Recuperado de <https://doi.org/10.22517/23447214.22171>.
22. Maskrey, A. (1998). *Navegando entre brumas. La aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgos en América Latina*. Perú: La Red.
23. Mendoza, J. y Aristizábal, E. (Julio-diciembre 2017). Metodología para la zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa en proyectos lineales. Estudio de caso en el acueducto del municipio de Fredonia, Antioquia. *Ingiería y Ciencia*, 13 (26), 173-206.
24. Ministerio de Obras Públicas. Dirección de Viabilidad. Subdirección de Desarrollo. (2012). *Estudio geo-referenciado de riesgos y peligro natural de la red vial*. Chile: Autor.
25. Montilla, A. y Ríos, S. (enero-abril, 2012). Análisis de la distribución espacial de la susceptibilidad a los movimientos de remoción en masa, empleando sistema de información geográfica (SIG), en la cuenca del río San Julia, estado Vargas, Venezuela. *Revista de investigación*, 36 (75), 67-88.
26. Obregón, C. y Lara, J. (Octubre, 2013). El mapa de susceptibilidad a movimientos en masa: una herramienta para la gestión sostenible del territorio. *Espacio y Desarrollo*, (25), 49-64. Recuperado de <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioydesarrollo/article/view/10622>.

27. Open Jump. (25 de abril, 2008). Open Jump [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://www.openjump.org/>
28. Paruelo, J., Jobbág, E., Laterra, P., Hernandez, D, García, M. y Panizz, A. (2014). *Ordenamiento territorial rural. Conceptos, métodos y experiencias.* Buenos Aires, Argentina. DOI:10.13140/2.1.4004.4320
29. Project Concern International. (2021). *Atlas de áreas susceptibles a deslizamientos e inundaciones. Municipio de Cuielco, departamento de Huehuetenango.* Guatemala: Autor.
30. Rodríguez, R. (23 de marzo de 2017). Blog de sistemas de información geográfico. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://risharkygis.com/2017/03/23/software-de-analisis-geoestadistico-geoda>
31. Salgado, G. y Bonola, I. (Noviembre, 2012). Modelación numérica para el análisis de deslizamientos y flujos de lodos y escombros en cuencas. *XXVI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica.* Runión llevada a cabo en Cancun, Quintana Roo, México.
32. Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia. (2014). *Política Nacional de Desarrollo K'atun Nuestra Guatemala 2032.* Guatemala. Autor.
33. Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia. (2020). *Sistema Nacional de Planificación.* Guatemala. Autor.

34. Secretaria de Planificación y Progrmación de la Presidencia. (2018). *Guia metodologica para la elaboracion de los planes de desarrollo municipal y ordenamiento territorial en Guatemala*: Autor.
35. Vanegas, C. (agosto, 2017). *Gestión del riesgo en sistemas de información geográfica* (Trabajo de grado). Universidad Piloto de Colombia, Colombia. Recuperado de <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00004072.pdf>
36. Vélez, J., Álvaez, O., Alarcón, J. y Quintero, F. (2004). Modelo distribuido hidrológico y geotécnico para determinar la amenaza de deslizamiento superficial. *I Congreso Colombiano de Hidrología*. Congreso llevado a cabo en Medellín, Colombia.

APÉNDICES

Apéndice 1. Cálculo de la muestra

La fórmula aplicada quedaría de la siguiente manera:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * (1-p)}{(N-1) * e^2 + Z^2 * p * (1-p)}$$

$n = ?$

$p = 0.5$

$Z^2 = 3.8416$

$Z = 1.96$

$N = 45$

$1-p = (1-0.5) = 0.5$

$E (95\%) = 0.05$

$e^2 = 0.0025$

$N-1 = (45-1) = 44$

$$n = \frac{45 * 3.8416 * 0.5 * 0.5}{(44 * 0.0025) + (3.8416 * 0.5 * 0.5)}.$$

$$n = \frac{43.218}{1.0704} = 40.37 \approx 40$$

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Muestreo aleatorio estratificado

Muestra	Numero	fi	mi
EPOT de SEGEPLAN	23	$fi=23/45=0.51$	$m1=40*0.51=21$
Instituciones	12	$F2=12/45=0.27$	$m2=40*0.27=11$
Colaboradores de las oficinas municipales	10	$F4=10/45=0.22$	$m4=40*0.22= 9$
Total	45	1	41

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Matriz de coherencia

Título de la Investigación	Planteamiento del problema de Investigación	Preguntas de Investigación	Objetivos
<p>Modelo de deslizamientos mediante la extensión SHALSTAB (ArcView) en apoyo al ordenamiento territorial del municipio de San Juan Atitán, Huehuetenango.</p> <p>El municipio de San Juan Atitán, Huehuetenango por su ubicación geográfica, su topografía y que es afectado por una falla geológica, es susceptible a amenazas naturales y socio naturales, lo que pone en riesgo a los diferentes medios de vida en ese municipio.</p> <p>Es por ello que se hace necesario apoyarse de herramientas SIG que coadyuven al ordenamiento y administración del territorio con fines de prevenir y reducir esas amenazas a las que está expuesto el municipio.</p>	<p>El municipio de San Juan Atitán, Huehuetenango por su ubicación geográfica, su topografía y que es afectado por una falla geológica, es susceptible a amenazas naturales y socio naturales, lo que pone en riesgo a los diferentes medios de vida en ese municipio.</p> <p>Es por ello que se hace necesario apoyarse de herramientas SIG que coadyuven al ordenamiento y administración del territorio con fines de prevenir y reducir esas amenazas a las que está expuesto el municipio.</p>	<p>Central:</p> <p>¿Cómo el modelo de deslizamientos generado con la herramienta SHALSTAB puede apoyar la administración del territorio y el ordenamiento territorial del municipio de San Juan Atitán?</p> <p>Auxiliares:</p> <p>¿Qué áreas susceptibles a deslizamientos se identificarán a través del modelo generado por la extensión SHALSTAB?</p> <p>¿Cómo el modelo de la extensión SHALSTAB se puede transformar a un formato vectorial para un mejor análisis en los programas SIG?</p> <p>¿Podrían ser incluidos los mapas generados a través de la extensión SHALSTAB y los formatos vectoriales como un apoyo en el análisis de los procesos de ordenamiento territorial que se realizan en el municipio de San Juan Atitán a través de los Planes de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial -PDMOT- de la metodología de la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia -SEGEPLAN?</p>	<p>General:</p> <p>Identificar a través del modelo generado por la extensión SHALSTAB del software ArcView, áreas susceptibles a deslizamientos con fines de la administración del territorio y su respectivo ordenamiento territorial del municipio de San Juan Atitán, Huehuetenango.</p> <p>Específicos:</p> <p>Establecer a través del modelo generado por la extensión SHALSTAB, áreas susceptibles a deslizamientos, en el municipio de San Juan Atitán, Huehuetenango.</p> <p>Definir a través del modelo generado por la extensión SHALSTAB, una capa en formato vectorial, para ser utilizadas en los programas SIG en la identificación de los medios de vida que se encuentran en las áreas susceptibles a deslizamientos del municipio de San Juan Atitán, Huehuetenango.</p> <p>Sugerir al Concejo Municipal de San Juan Atitán que la información del modelo de la extensión SHALSTAB y los formatos vectoriales sean incluidos para su análisis en la categoría de protección y uso especial del PDMOT de la metodología de la SEGEPLAN.</p>

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Cuestionarios

1. CUESTIONARIO PARA INSTITUCIONES PRESENTES EN EL MUNICIPIO DE SAN JUAN ATITAN.

INSTRUCCIONES: En el siguiente cuestionario encontrara preguntas las cuales tendrá que marcar la respuesta que considere correcta y en otras habrá espacio para que describa lo que se le solicita.

Unidad o dirección a la que pertenece: _____

1) Conoce si existen áreas en riesgos en su municipio a: Deslizamientos o derrumbes _ Inundaciones_ Vientos fuertes_ Heladas_ Incendios _ Sequías_ Otros: _

2) Conoce si existen áreas propensas o que ya están con derrumbes en su municipio.

Si____ No ____ En que comunidades se encuentran esas áreas _____

3) Que daños han causado derrumbes en su municipio.

Infraestructura: Casas____ Carreteras____ Escuelas____ Puentes ____Otros_____

Medios de vida: Cultivos agrícolas ____ Bosques____ Personas_____ Animales____

4) Como considera que ha sido la intensidad del daño ocasionado por los derrumbes en su municipio. Leve _____ Moderado _____ Severo_____

5) La municipalidad ha realizado medidas que ayuden a mitigar los efectos ocasionados en las áreas afectadas por derrumbes. No ____Si____ Cuales ____

6) Existen instituciones que estén trabajado en su municipio, sobre deslizamientos o derrumbes. No ____Si____ Cuales _____

7) Ha coordinado la municipalidad con alguna institución para trabajar el tema de deslizamientos o derrumbes. Si ____No____

8) ¿La municipalidad tiene presupuesto para atender las emergencias provocados por los derrumbes?: No ____Si____

9) ¿La municipalidad tiene un manual de procedimiento o cualquier otro instrumento que le sirva para darle atención a los desastres naturales en el municipio? Si_ No_. Cual_

10) La municipalidad ha utilizado algún programa de los Sistemas de Información Geográfica-SIG- en la identificación de las áreas de deslizamientos o derrumbes.

No ____Si____ Cuales

Continuación del Apéndice 4

- 11) La municipalidad en sus procesos de planificación y ordenamiento de su municipio ha utilizado el modelo SHALSTAB del software arcview 3.2? Si No

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Cuestionarios**

2. CUESTIONARIO PARA INSTITUCIONES PRESENTES EN EL MUNICIPIO DE SAN JUAN ATITAN, HUEHUETENANGO

INSTRUCCIONES: En el siguiente cuestionario encontrará preguntas las cuales tendrá que marcar con una X la respuesta que considere correcta y en otras habrá espacio para que describa lo que se le solicita.

Institución a la que pertenece: _____

- 1) Conoce si existen áreas que estén en riesgos el municipio de San Juan Atitán a:
Deslizamientos o derrumbes Inundaciones Vientos fuertes Heladas Incendios
 Sequías Otros: _____
- 2) En que comunidades del municipio de San Juan Atitán se tienen áreas con deslizamientos o derrumbes. _____
- 3) Tiene su institución un presupuesto para apoyar a mitigar el impacto en las áreas en riesgo en el municipio de San Juan Atitán: No Si
- 4) ¿Tiene algún manual, acuerdo o reglamento su institución para apoyar a mitigar las áreas de riesgo? No Si
- 5) Su institución ha realizado medidas que ayuden a mitigar los efectos ocasionados en las áreas afectadas por derrumbes en el municipio de San Juan Atitán. No Si
Cuales _____
- 6) ¿Ha participado en cursos sobre herramientas GIS enfocadas al análisis de riegos?
No Si
- 7) Ha utilizado algún programa de los Sistemas de Información Geográfica -SIG- para la identificación de las áreas de deslizamientos o derrumbes. No Si Cuales _____

Continuación del Apéndice 5.

- 8) Conoce usted el modelo SHALSTAB del software arcview 3.2, para el análisis de áreas en riesgos. No ____ Si ____
- 9) Ha aplicado el modelo SHALSTAB del software arcview 3.2, en el análisis de deslizamientos o derrumbes en el municipio de San Juan Atitán. No ____ Si ____
- 10) Conoce si algunas otras instituciones con presencia en el municipio de San Juan Atitán están hace uso del modelo SHALSTAB del software arcview 3.2, en el análisis de deslizamientos o derrumbes. No ____ Si ____
Cuales _____

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Cuestionarios**

3. CUESTIONARIO PARA ESPECIALISTAS EN PLANIFICACION DE SEGEPLAN

INSTRUCCIONES: En el siguiente cuestionario encontrara preguntas las cuales tendrá que marcar con una X la respuesta que considere correcta y en otras habrá espacio para que describa lo que se le solicita.

Departamento al que pertenece: _____

- 1) En los planes de desarrollo que fueron asistidos por su persona se identificaron áreas propensas a deslizamientos o derrumbes. No ____ Si ____
- 2) Que metodología utilizó o como identificaron las áreas de deslizamientos o derrumbes en los Planes de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial-PDMOT- que asistió en su departamento____
- 3) Ha utilizado algún programa de los Sistemas de Información Geográfica-SIG- para la identificación de las áreas de deslizamientos o derrumbes No ____ Si ____ Cuales ____
- 4) Conoce usted el modelo SHALSTAB del software arcview 3.2, para el análisis de áreas en riesgos. No ____ Si ____
- 5) Ha aplicado el modelo SHALSTAB del software arcview 3.2, en el análisis de deslizamientos o derrumbes en los PDMOT. No ____ Si ____

Continuación del Apéndice 6.

- 6) Sabe usted si alguno de los de que integraron la mesa técnica en la elaboración de los PDMOT de los diferentes municipios que asistió, conocen el modelo SHALSTAB del software arcview 3.2, en el análisis de deslizamientos o derrumbes en los PDMOT.
No Si_____
- 7) Conoce usted que instituciones hace uso del modelo SHALSTAB del software arcview 3.2, en el análisis de deslizamientos o derrumbes en su departamento. No Si_____
Cuales_____
- 8) Conoce usted si alguna de las municipalidades de su departamento están hace uso del modelo SHALSTAB del software arcview 3.2, en el análisis de deslizamientos o derrumbes. No Si_____ Cual_____
- 9) Conoce usted si se han realizado medidas que ayuden a mitigar el impacto en las áreas afectadas por deslizamientos o derrumbes, identificadas en los PDMOT: No Si_____ Cuales _____
- 10) Estaría interesado en una capacitación técnica sobre el uso y manejos del modelo SHALSTAB del software arcview 3.2, para la identificación de áreas de riesgo. No Si_____

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. Nota de entrega al alcalde municipal de San Juan Atitán, Huehuetenango, de las herramientas generadas.

Señor Santos Hernández Godínez
Alcalde Municipal
Municipalidad de San Juan Atitán

Me es grato dirigirme a usted con un atento y cordial saludo, deseándole éxitos al frente de sus labores.

Como parte de mi trabajo de graduación de la **Maestría en Gestión de la Planificación para el Desarrollo** que actualmente estoy cursando en la Facultad de Ingeniería, Escuela de Estudio de Postgrado de la Universidad de San Carlos de Guatemala; se realizó la investigación titulada: **MODELO DE DESLIZAMIENTOS MEDIANTE LA EXTENSIÓN SHALSTAB (ARCVIEW) EN APOYO AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE SAN JUAN ATITÁN, HUEHUETENANGO.**

Como resultado de la investigación anteriormente mencionado se generó un modelo de áreas estables e inestables susceptibles a deslizamientos a través de la extensión SHALSTAB, del programa Arc View, que quedó plasmado en un formato ráster, del cual también derivaron mapas en formato vectorial, los cuales el día de hoy le hago entrega de forma digital para que sirva como una herramienta de análisis en la categoría de protección y uso especial de la metodología que SEGEPLAN está impulsando en el municipio al momento de actualizar el Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial.

Su uso no solo se limita al análisis de áreas de riesgo en los PDMOT, sino también puede ser utilizada por la DMP para medir la calidad de la obra pública en el proceso de la preinversión a través de la boleta para el Análisis y la Gestión del Riesgo -AGRIP- como una herramienta para identificar áreas inestables en riesgo y así proponer medidas de mitigación donde se pretende ejecutar proyectos de infraestructura con fondos del CODEDE antes, durante y posterior a su ejecución.

Estas herramientas se constituyen de gran utilidad no solo en la toma de decisiones al momento de realizar proyectos de impacto, sino como una herramienta que contribuye a prevenir que en el municipio se puedan dar deslizamientos en áreas donde actualmente existe infraestructura, cultivos, bosques, flora y fauna, lo que puede hacer posible que con anticipación se implementen medidas para minimizar su impacto y sobre todo para salvar vidas humanas.

Se recomienda socializarla con las instituciones presentes en el municipio para que la puedan utilizar de forma eficiente dentro su competencia, de tal manera que dentro de la propuesta de sus proyectos a nivel municipal estos no se ubiquen en áreas inestables susceptibles a los deslizamientos o se propongan las medidas de mitigación correspondientes.

El modelo propuesto para este municipio es una herramienta actualizada, ya que se podrá utilizar haciendo uso de los Sistemas de Información Geográfica-SIG- lo que vendrá a incorporarse como un instrumento de toma de decisión en áreas de riesgos en lo urbano y rural del municipio.

Deberentemente,

Mtro. Ing. William Rolando Sánchez Pérez



Fuente: elaboración propia.