Geología, y Movimientos de Laderas en el Área de la Subcuenca Hidrográfica de Río Mayales (Chontales, Nicaragua) a Escala 1/50,000

Proyecto desarrollado en el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales de Nicaragua (Ineter)

Autor

TUPAK ERNESTO OBANDO RIVERA
Departamento de Geología Aplicada
Dirección General de Geofísica, Ineter, Managua
tupac.obando@gf.ineter.gob.ni

Colaboradores técnicos

ALEX CASTELLÓN
Departamento de SIG-Georiesgos
Dirección General de Geofísica, Ineter, Managua
alex.castellon@gf.ineter.gob.ni

EVELING ESPINOZA JAIME
Departamento de Vulcanología
Dirección General de Geofísica, Ineter, Managua
eveling.espinoza@gf.ineter.gob.ni

MARISOL ECHAVERRY
Departamento de Geología Aplicada
Dirección General de Geofísica, Ineter, Managua
marisol.echaverry@gf.ineter.gob.ni

Coordinadores del grupo

JOSÉ ANTONIO ALVÁREZ CASTILLO
Departamento de Geología Aplicada
Dirección General de Geofísica, Ineter, Managua
antonio.alvarez@gf.ineter.gob.ni

ANGÉLICA MUÑOZ
Dirección General de Geofísica, Ineter, Managua
angelica.munoz@gf.ineter.gob.ni
http://www.ineter.gob.ni

Contenido

Objetivos

Resultados obtenidos

I).Contenido de los Mapas Realizados

I.1.- Mapa de Geología Superficial a escala 1:50,000

I.1.1- Descripción de Unidades litológicas

I.1.2- Descripción de las Fallas tectónicas

I.1.3. Sobre el Buzamiento de Capas litológicas cartografiadas

I.1.4. Sobre los afloramientos geológicos

I.1.5- Descripción de Materiales para la Construcción

I.2.- Mapa de Geomorfología, y Unidades geomorfológicos a escala 1:50,000

I.2.1.-Descripción de las Unidades Geomorfológicas

I.2.1.1.- Formas de Origen Estructural

I.2.1.2.- Formas de Origen Volcánico:

I.2.1.3.- Formas de Origen Denudatorio

I.2.1.4.- Formas de Origen Fluvial

I.3.- Mapa de Movimientos de Laderas a escala 1:50,000

I.3.1.-Descripción de los Procesos

I.3.2.- La Estabilidad de Taludes en la zona

I.3.3.-Descripción de las Formas

II).Metodología desarrollada

2.1.- Mapa de Geología Superficial

2.2.- Mapa Geomorfológico, y de Unidades Geomorfológicas

2.2.1.- Sobre el Método de Van Zuidam

2.3.- Mapa de Inestabilidad de Laderas

2.4.- Cartografía Automática

2.4.1- Representación de datos

2.4.2.- Obtención de datos

III).Consideraciones generales

IV).Conclusiones y Recomendaciones

Mapas

- Geología Superficial. Escala 1/50,000
- Geomorfología, y Unidades geomorfológicas. Escala 1/50,000
- Inestabilidad de Laderas. Escala 1/50,000

Objetivos

General

Caracterizar el medio biofísico en el territorio de la sub-cuenca del río Mayales, a través del conocimiento de los procesos de intervención que la sociedad ha realizado sobre el mismo, que permita identificar sus potencialidades, problemas y restricciones, como base natural que sustente los procesos de planificación para el ordenamiento y desarrollo del territorio en los municipios que la integran: Juigalpa, San Francisco de Cuapa y Comalapa, destinados a mejorar las condiciones ambientales existentes, el desarrollo socioeconómico, la diversificación productiva y la seguridad alimentaria.

Específicos:

- Identificar los componentes del medio biofísico más relevantes del territorio de la subcuenca hidrográfica, utilizando la información disponible de gabinete y de campo sobre la geología, geomorfología, clima, recursos hídricos, suelos, biodiversidad y amenazas.

- Relacionar los temas y componentes del medio biofísico en forma integral, que permita su caracterización, identificando sus potenciales, problemas y restricciones, como base natural para la elaboración de los planes de Ordenamiento y Desarrollo Territorial de los municipios que integran la sub-cuenca hidrográfica

Resultados obtenidos

Mapas de Geología Superficial, Geomorfología e Inestabilidad de Ladera de los Municipios de Juigalpa, Comalapa y San Francisco de Cuapa. Escala 1/50,000. Un total de 9 mapas temáticos.

Mosaico de Mapas temáticos obtenidos que cubren 1,648 km2, superficie del polígono de Estudio, englobando los municipios antes mencionados. Escala 1/50,000. Un total de 3 mapas temáticos (geología superficial, geomorfología e inestabilidad de laderas).

Los productos cartográficos ofrecen serie de información actualizada de provecho para la planificación física y ordenamientos de territorios en el área de Sub-cuenca Hidrográfica del Río Mayales (Chontales, Nicaragua).

Los trabajos se realizan en el marco de Convenio Inter-institucional entre el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (Ineter) y el Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal (INIFOM), contando con el auspicio de la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI, Sede Managua).

I).Contenido de los Mapas Realizados

El presente informe constituye memoria explicativa del contenido, y de metodología desarrollada para la elaboración de mapas temáticos dentro del Proyecto en lo concerniente con el Componente de **Geología, y Movimientos de Laderas**. Para ello, se elaboraron tres mapas temáticos a escala regional, que comprende los municipios de Juigalpa, Comalapa y San Francisco de Cuapa, los cuales se mencionan a continuación:

1) Mapa de Geología Superficial
2) Mapa Geomorfológico, y de Unidades Geomorfológicas
3) Mapa de Inestabilidad de Laderas

A continuación se describe aspectos relacionados con el contenido de las cartografías resultantes:

I.1.- Mapa de Geología Superficial a escala 1:50,000

La cartografía preparada engloba atributos vinculantes con el tema de geología propiamente dicho, entre los que destacan la naturaleza, composición, y condición física de los materiales superficiales encontrados (fracturación, meteorización y alteración), textura y estructura de suelos y rocas, identificación de grietas y diaclasas.

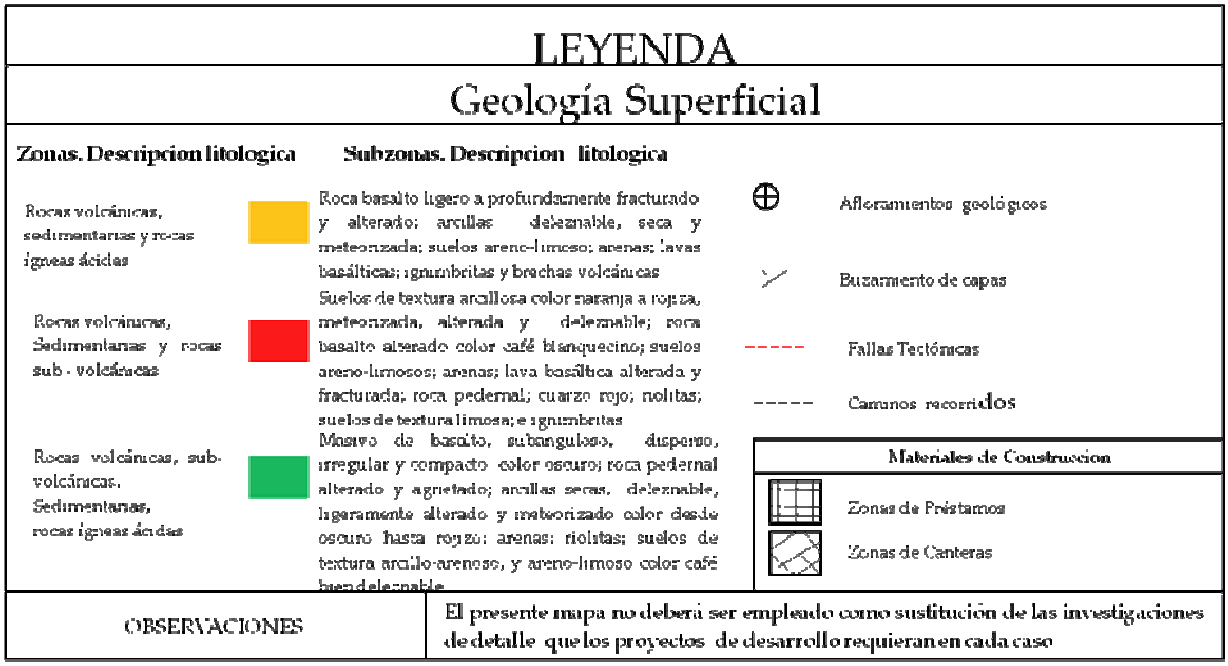
Las unidades geológicas y su distribución espacial se establecen a partir de la litología, origen y características geológicas de los materiales, de observaciones y medidas de campo. Según la escala del mapa y los datos disponibles, éstas se definen con distinto grado de homogeneidad.

A su vez, se presentan datos relativos con las fallas tectónicas encontradas en la región, su ubicación espacial y cartográfica, dimensiones, zonas geográficas afectadas, orientación y dirección del movimiento, su actividad y otros.

Igualmente, se muestra información relacionada con zona de explotación de material para fines constructivos, en que se delimitan y cartografían las áreas destinadas como bancos de préstamos, y aquellas zonas que reúnen características de ser canteras antiguas y recientes (es decir, sitios de excavación y extracción de material en corte de camino), ubicación espacial (datos de coordenadas y altitudes), dimensiones, áreas que ocupan, sus características y geografías afectadas.

Todos los datos referidos fueron reunidos de exposiciones rocosas naturales como cortes de caminos de penetración y carretera principal dentro y fuera de los municipios en cuestión; terrazas fluviales en afluente principal y ramificaciones del Río Mayales, así como, afloramientos de materiales en superficie, ilustrado a través de fotos en aquellos terrenos de interés geológico.

En el Cuadro No 1, se presentan las convenciones usadas, como tramas, símbolos y nomenclatura técnica.



LEYENDA			
Geología Superficial			
Zonas. Descripcion litologica		**Subzonas. Descripcion litologica**	
Rocas volcánicas, sedimentarias y rocas ígneas ácidas		Roca basalto ligero a profundamente fracturado y alterado; arcillas deleznable, seca y meteorizada; suelos areno-limoso; arenas; lavas basálticas; ignimbritas y brechas volcánicas	
Rocas volcánicas, Sedimentarias y rocas sub - volcánicas		Suelos de textura arcillosa color naranja a rojiza, meteorizada, alterada y deleznable; roca basalto alterado color café blanquecino; suelos areno-limosos; arenas; lava basáltica alterada y fracturada; roca pedernal; cuarzo rojo; nolitas; suelos de textura limosa; e ignimbritas	
Rocas volcánicas, sub-volcánicas. Sedimentarias, rocas ígneas ácidas		Macizo de basalto, subangulosos, disperso, irregular y compacto color oscuro; roca pedernal alterado y agrietado; arcillas secas, deleznable, ligeramente alterado y meteorizado color desde oscuro hasta rojizo; arenas; riolitas; suelos de textura arcillo-arenoso, y areno-limoso color café bien deleznable	
			Afloramientos geológicos
			Buzamiento de capas
			Fallas Tectónicas
			Caminos recorridos
		Materiales de Construccion	
			Zonas de Préstamos
			Zonas de Canteras
OBSERVACIONES	El presente mapa no deberá ser empleado como sustitución de las investigaciones de detalle que los proyectos de desarrollo requieran en cada caso		

Cuadro No 1. Mostrando convenciones usadas en Mapa de Geología del Área. Escala 1:50,000.

Cabe mencionar, que el **Mapa de Geología Superficial**, adjunto al presente documento, muestra los nombres geográfico, coordenadas y altitudes correspondiente a cada unidad litológica que aflora en el terreno. En función de la distribución superficial,

y área que ocupan las unidades litológica, se estima en el **Mapa,** en kilómetros cuadrados, el desarrollo predominante entre una y otra unidad litológica para Juigalpa, Comalapa y San Francisco de Cuapa.

I.1.1- Descripción de Unidades litológicas

- Rocas volcánicas, sedimentarias y rocas ígneas ácidas

Se presentan rocas basalto desde ligero a profundamente meteorizados, alterado y fracturado color oscuro, acompañado de arcillas seca, deleznable y meteorizada de color oscuro a rojizo.

Foto No 1. Basaltos sub angulosos meteorizados y fracturados

A su vez, se observan suelos de textura areno-limoso, y arenoso sueltos, color oscuro a café de espesor discontinuo.

Por último, se observan rocas ignimbritas y brechas volcánicas, las primeras se presentan como roca compacta desde ligero a profundamente alterado, se observa con frecuencia la presencia de fragmentos de obsidiana, más o menos alterados y aplastados, de forma alargada que se denominan flamas. Las segundas, se encuentra constituida por derrubios de rocas volcánicas con forma angular.

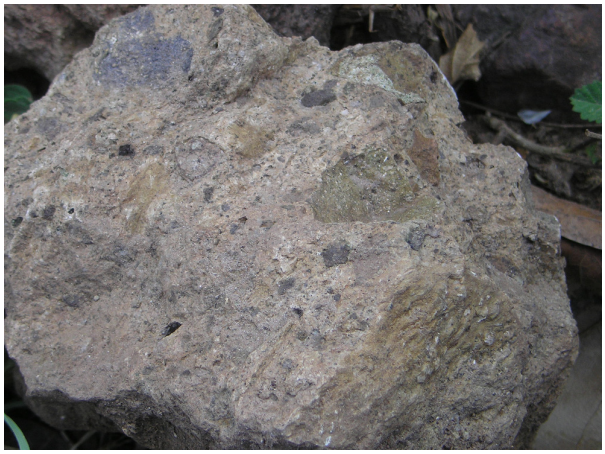


Foto No 2. Brecha volcánica encontrada en Comalapa.

- Rocas volcánicas, sedimentarias y rocas sub-volcánicas

Foto No 3. Alternancia de materiales rocosos con diferente composición y estructura en un talud de un macizo volcánico en Comalapa, que se manifiesta en distinto grados de alteración, resistencia y comportamiento mecánico.

Se presentan suelos de textura arcillosa color naranja a rojizo, meteorizado, alterado y deleznable de espesor discontinuo, así como, roca de basalto alterado color café blanquecido compacto; suelos de textura areno-limosas, y arenosas; lavas basálticas alteradas y fracturada; suelos de textura limosa, ignimbritas y riolitas. Estas últimas tienen textura vítrea mostrando cristales de grano fino acompañado de cuarzo, feldespato y mica en muestra de mano.

Por último, se observan rocas de pedernal con forma de nódulos de color amarillo y rojizo con fractura concoidea acompañado de cuarzo rosa ligeramente fracturado y deleznable.

Foto No 4. Pedernal muy alterado y fracturado.

- Rocas volcánicas, sub-volcánicas , sedimentarias y rocas ígneas ácidas

Encontramos, los bloques de basalto sub-angulosos, disperso, irregulares y compacto color oscuro; rocas pedernal alterado y fracturado; arcillas secas, deleznables, ligeramente alterado y meteorizado color oscuro a rojizo; suelos de textura arenosa; rocas riolitas ligeramente meteorizada y fracturadas; suelos de textura arcillo-arenosa y areno-limosa color café bien deleznable.

Foto No 5. Arcillas café deleznables y fracturada acompañada de material volcánico fragmentario.

I.1.2- Descripción de las Fallas tectónicas

Es bien conocido el concepto de fallas tectónicas como aquellas roturas del terreno con desplazamientos, siendo desde menos un metro hasta centenares de kilómetros. En nuestro caso, las fallas tectónicas se hacen notorias en muchas paredes de corte de caminos y afloramientos rocosos del área de estudio.

Esto ocurren por la baja resistencia mecánica de los materiales a causa de incidencia de esfuerzos tectónicos regionales resultantes de la interacción de la bien conocida, placas tectónica Cocos y Caribe.

Entre los criterios notorios empleados para el reconocimiento de fallas tectónicas locales están:

- **La discontinuidad de estructuras.** La interrupción brusca de estratos indicando la presencia de fallas; pueden terminar de pronto, y las partes desplazadas, reaparecen al otro lado de la línea que marca la interrupción brusca.

- **Rasgos característicos de los planos de fallas.** Se observan la fragmentación y pulverización del material desplazado, dando origen a brechas de fallas, el cual están formadas por fragmentos angulosos de diferentes tamaños, en forma desordenada y caótica.

- **Estrías y espejos de fallas.** La superficie pulimentada originada por desplazamiento de la falla, resulta una superficie estriada o áspera semejante a pequeños dientecillos conocido como espejo de fricción, indicando el sentido del movimiento relativo de la falla.

- **Criterios fisiográficos.** Entre estos se observan colinas desplazadas; escarpes de falla; y truncamiento de estructuras. Todas estas expresiones topográficas, son afectadas por procesos de erosión que denudan las rocas blandas, exponiendo las más resistentes en superficie. En particular, el truncamiento de estructura, ocurre debido a que la cordillera o cadena de montañas termina abruptamente en una planicie, indicando una alineación que sugiere la presencia de fallas.

Foto No 6. Falla normal atravesando materiales Terciarios. San Francisco de Cuapa (Chontales). (Foto T. Obando)

En la ilustración que sigue (**Foto No 7**), se presenta superficie de estrías en el plano de falla debido a su movimiento relativo en la región.

Foto No 7. Plano de Falla en material rocoso meteorizado y alterado. San Francisco de Cuapa (Chontales). (Foto T. Obando)

I.1.3. Sobre el Buzamiento de Capas litológicas cartografiadas

Como bien es sabido, El buzamiento es el sentido u orientación de la inclinación de los estratos o capas de rocas en un relieve. O bien, algunos experto, consideran la definición de Buzamiento como el ángulo que forma el plano a medir con respecto a un plano horizontal, y debe ir acompañado por el sentido en el que el plano buza o baja.

Efectivamente, el buzamiento de un plano corresponde al ángulo que forma una de sus rectas de máxima pendiente con respecto a un plano horizontal, y el sentido de buzamiento, a su vez, es el mismo que poseen estas rectas.

En nuestro trabajo, la medición del buzamiento se realiza en aquellas superficies planas expuestas en el terreno, de modo que nos permitiese establecer las posiciones espaciales de los estratos, y fallas tectónicas.

Cómo medimos los buzamientos de capas

- Se levantó la tapa de la brújula, verificó el funcionamiento de la misma y efectuó la corrección de la declinación magnética.

- Se determinó la recta de máxima pendiente, del plano a medir (por medio de observación visual, dejando que un cuerpo cualquiera se deslice o ruede sobre él, la trayectoria del cuerpo corresponderá a una línea de máxima pendiente) si la medición no puede hacerse directamente sobre el plano de interés, se colocó la libreta de campo paralela al plano y se realizó sobre ella las mediciones.

- Se ubicó la brújula en contacto con el plano, tal que la línea definida por la pínula y la línea axial del espejo sea perpendicular a la recta de máxima pendiente.

- Se movió lentamente la brújula hasta que la caja se encuentre en posición horizontal, para lo cual debe verificamos que la burbuja del nivel circular esté convenientemente centrada.

- Se hizo la lectura del rumbo, utilizando para ello aquel extremo de la brújula que se encuentre en el cuadrante norte, del limbo graduado. Haciendo caso omiso en relación con dicho extremo, está o no pintado de blanco, (la aguja)

- Para el buzamiento, se colocó la brújula en forma de canto sobre el plano a medir, de manera que la línea definida por la pínula y la línea axial coincida o sea paralela con la recta de máxima pendiente.

- Se giró la palanca ubicada en la base de la caja de la brújula hasta que la burbuja del nivel del clinómetro esté centrada o inmóvil.

- Se tomó la lectura del buzamiento utilizando para ello la indicación en el arco del clinómetro y la escala graduada entre 0° y 90°.

- Para determinar el sentido del buzamiento, se colocó la brújula en posición horizontal y se hizo coincidir con el extremo blanco de la aguja inmantada con el Norte del limbo graduado;

- Se colocó la libreta de campo paralela al plano medido, de tal manera que pase por el punto de rotación de la aguja magnética. Una vez hecho esto, sólo se viró el extremo Norte o el extremo Sur de la aguja; aquel que se vea corresponderá al sentido en el cual el plano buza o baja el estrato o capa en medición.

Foto No8. Mostrando buzamiento de capas de roca que componen el relieve superficial de la región de Comalapa; obsérvese los estratos inclinados, buzando unos 45 grados con respecto la horizontal. Comalapa, Chontales. (Foto T. Obando)

Foto No 9. Superficies de estratificación horizontales de importante continuidad en macizo rocoso volcánico. Comalapa, Chontales. (Foto T. Obando)

I.1.4. Sobre los afloramientos geológicos

Los afloramientos son exposiciones de material rocoso que asoma en superficie a través de la cubierta de suelo y material meteorizado.

En el territorio investigado, a causa de la precipitaciones importantes, el suelo y la vegetación enmascaran la roca subyacente y únicamente una pequeña porción de la superficie puede aflorar. No obstante, en otras zonas del área no se presenta volúmenes considerables de suelos, o bien, son muy delgados y la cubierta vegetal es discontinua, las rocas se asoman mucho más extensamente.

Foto No 10. Vista de un afloramiento de materiales rocosos volcánicos fracturados, meteorizados y alterados. San Francisco de Cuapa, Chontales. (Foto T. Obando)

En la foto que sigue, se presenta la exposición natural de rocas estratificadas y meteorizadas con espesor discontinuo y grietas poco espaciadas.

Foto No 11. Superficies de estratificación en ígnimbritas. San Francisco de Cuapa, Chontales.

(Foto T. Obando)

I.1.5- Descripción de Materiales para la Construcción

En la zona geográfica considerada, son notorias área de préstamos de material y canteras superficial de extracción de los mismos.

El dato referido sobre banco de materiales es importante para la construcción de obras de ingeniería como por ejemplo, camino en construcción entre Las Lajitas y San Francisco de Cuapa que solicito volúmenes considerables de material.

Para el reconocimiento de zonas de aprovechamiento de materiales se debe reunir los siguientes requisitos:

- Volumen apropiado a la magnitud de la obra de ingeniería
- Calidad adecuada a los distintos fines
- Distancia operativa
- Facilidad de extracción (son preferibles zonas de alta fracturación, si se trata de materiales para emplear carreteras, en vista que aminora costos de trituración y pulverización de la roca)
- Condiciones medioambientales aceptables para su explotación.

En los trabajos de cartografía geológicas, se procuró localizar las posibles áreas de préstamos y de canteras para su utilización como material de construcción. La cartografía incluye, datos de coordenadas y altitudes, área que ocupan, su ubicación cartográfica y geográfica, y dimensiones.

Foto No 12. Zona de extracción de material para construcción: San Francisco de Cuapa (Chontales). (Foto T. Obando)

a)

b)

Foto No 13. a) Zona de préstamos de material para construcción de vía de acceso entre Las Lajitas y San Francisco de Cuapa. b) Zona de Cantera superficial a cielo abierto: San Francisco de Cuapa (Chontales). (Foto T. Obando)

a)

b)

Foto No14. a) Cantera antigua en materiales volcánicos del Terciario. b) Macizo rocoso volcánico con bloques de regular tamaño fracturado, alterado y meteorizado acompañado de suelos de textura limosa y arenosa color naranja, sueltos y deleznable: Juigalpa (Chontales). (Foto T. Obando)

Foto No15. Banco superficial de material arenoso para fines constructivo con volúmenes tímidos de extracción. Juigalpa (Chontales). (Foto T. Obando)

I.2.- Mapa de Geomorfología, y Unidades geomorfológicos a escala 1:50,000

En la cartografía se presenta descripción detallada de aspectos relacionados con los tipos de relieves superficiales, su relación con estructuras geológicas locales ò puntuales como fallas tectònicas, y la geología apoyado de la interpretación de la forma de la curvas de nivel, sistema de drenaje y análisis del relieve.

La información relacionada con las condiciones y procesos geomorfológicos de interés para su aplicación geológica incluye la topografía, elementos del relieve (valles, terrazas, laderas, escarpes, etc), su relación con la geología, origen de los elementos geomorfológicos, y predicciones de procesos de movimientos de laderas.

Asimismo, se plasma datos relativos con las unidades geomorfológicas predominante en la región, entre estas tenemos cuatro unidades superficiales importantes mencionados a continuación, cuyos orígenes son diversos, sea por actividad eólica, tectónica, volcánica, y aluvial.

Las formas del terreno mapeadas en su distribución espacial se especifican y clasifican desde punto de vista geomorfológico considerando su modo de formación, morfología y morfogénesis.

En mapas obtenidos, las formas, de hecho, son representadas en función de origen y desarrollo claramente reconocible en el campo.

Por su posición en el mas alto nivel del sistema de mapeo geomorfológico desarrollado y de la leyenda, los símbolos areales coloreados, el mejor estudio de expresión cartográfica, son reservados para las unidades morfogenéticas. Éstas son agrupadas en nuestro trabajo, en 4 grandes clases, tal como se especifica abajo, junto a los colores preferentes para su empleo.

1) Formas de origen Estructural (púrpura)
2) Formas de origen Volcánico (rojo)
3) Formas de origen Denudatorio (marrón)
4) Formas de origen Fluvial (verde)

Por último, las cartografías geomorfológicas obtenidas, presentan la zonación de los territorios basado en la Clasificación de **Van Zuidam** (método de análisis de terrenos), con la cual se muestra división de terrenos en seis sub unidades que a continuación se mencionan:

- Topografía ondulante con suave pendiente (púrpura, **S4**)
- Mesa Estructural (púrpura, **S5**)
- Lomo de Cerdo (púrpura, **S7**)
- Cerros Volcánicos denudacionales (rojo, **V14**)
- Pendientes y Colinas erosionales (marrón, **D1**)
- Peneplanicie (marrón, **D5**)

- Escarpes del Terreno (marrón, **D9**)
- Terrazas Fluviales (verde, **F6**)

En breve se muestra sistemas de tramas, símbolos y nomenclaturas empleadas en la clasificación geomorfológicas de las características a través de sub unidades de terreno tal como se presenta en el Cuadro No 2.

LEYENDA	
Geomorfología Aplicada	
Unidades Geomorfológicas	**Zonación del territorio según Método Van Zuidam**
Formas de Origen Estructural	**S4:** Topografia ondulante con suave pendiente **S5:** Mesa Estructural **S7:** Lomo de Cerdo
Formas de Origen Volcanico	**V14:** Cerro Volcanicos denudacionales
Formas de Origen Denudatorio	**D1:** Pendiente y Colinas erosionales **D5:** Peneplanicie **D9:** Escarpes del Terreno
Formas de Origen Fluvial	**F6:** Terrazas Fluviales
OBSERVACIONES	El presente mapa no deberá ser empleado como sustitución de las investigaciones de detalle que los proyectos de desarrollo requieran en cada caso

Cuadro No 2. Mostrando convenciones usadas para Mapa Geomorfológico del Área. Escala 1:50,000.

Por últimos, es preciso mencionar que todos los datos geomorfológicos aquí presentados resultan de los trabajos de cartografía en el terreno, accediendo por aquellas rutas de buena accesibilidad, y estado físico.

Cabe mencionar, que el **Mapa Geomorfológico**, adjunto al presente documento, muestra los nombres geográfico, coordenadas y altitud correspondiente a cada unidad geomorfológica antes mencionada. En función de la distribución superficial, y área que ocupan las unidades geomorfológicas cartografiadas, se estima en el **Mapa,** en

kilómetros cuadrados, el desarrollo predominante entre una y otra unidad geomorfológica para Juigalpa, Comalapa y San Francisco de Cuapa.

I.2.1.-Descripción de las Unidades Geomorfológicas

I.2.1.1.- Formas de Origen Estructural

- Topografía ondulante con suave pendiente, **S4 (Foto No 16)**

Se presentan como alineaciones montañosas de pendiente suave ligeramente erosionadas, cuya formación se asocia a esfuerzos tectónicos que ocasiona deformación de los materiales que le componen y la geometría sub superficial de las mismas.

Buenos ejemplares son la peña de Tumbe, la punta Moropotente, picos el Bálsamo, y otros sitios localizados en sectores, Noroeste y Suroeste del Municipio de Juigalpa (Chontales).

Foto No 16. Morfología ondulante con suave pendiente. Comalapa, Chontales. (Foto T. Obando)

- Mesa Estructural, **S5 (Foto No 17)**

Se presenta topografías de regiones planas cuya superficie coincide con rocas resistentes a procesos de erosión y desgaste, con extensión local y abundante en zonas con estratificaciones horizontales.

Las mesas estructurales presentes en el entorno geográfico considerado se originaron por fuerzas tectónicas aplicadas a estratos horizontales del terreno, que al encontrar fallas propicias producen la elevación de una zona que mantiene la horizontalidad pero a un nivel superior que el entorno.

Buenos ejemplares son las Mesas de Hato Grande en Juigalpa; La Rincona, El Tule y Santa Juana al Suroeste de San Francisco de Cuapa; y Monte Fresco en Comalapa.

Foto No 17. Meseta estructural de materiales rocosos fracturados con zonas de diferentes grados de alteración y meteorización. Juigalpa, Chontales. (Foto T. Obando)

- Lomo de Cerdo, **S7 (Foto No 18)**

Ocurren debido al buzamiento de las capas del terreno, siendo superior de los 45 grados de inclinación, la loma presenta dos laderas con la misma inclinación. La parte superior de la loma es angosta y afilada en correspondencia con capas resistente del terreno. Tiene área limitada aunque su longitud es considerable.

Algunos ejemplos son Loma El Rodeo, Lomas Cotas, Loma Tamanes, Las Lomitas, Lomas El Portillo, Lomas Las Tetillas, sitios ubicados en Juigalpa. O bien, la Loma de los Coyotes, Loma Mina de Piedra, Loma El Socorro y San Pedro en Comalapa; y Lomas el Nancite, Loma Mogate, Loma El Canelo, entre otros., sitios ubicados en San Francisco de Cuapa.

Foto No 18. Lomo de Cerdo en laderas arcillosas del relieve. Juigalpa, Chontales. (Foto T. Obando)

I.2.1.2.- Formas de Origen Volcánico:

Cerros Volcánicos Denudacionales, **V14 (Foto No 19)**

Se presentan como cerros aislados dentro zonas llanas del terreno, constituye relieve residual esculpido por la erosión, compuesto por capas de rocas duras y blandas dispuestas horizontalmente en las que la erosión ha esculpido paisajes también horizontales.

Al aumentar la erosión producida por los ríos en las capas blandas se van formando colinas, y si la altiplanicie es atacada por la erosión por todos lados aparecen los cerros denudacionales con las cumbres planas.

Por mencionar algunos ejemplos tenemos el área de Juigalpa, los cerros Guastepel, Cerro Pastatule, Cerro Las Mesas, Cerro Campana, así como, encontramos más y variadas formas en Comalapa y San Francisco de Cuapa.

Foto No 19. Cerros volcánicos denudacionales y meteorizados con litologías de diferente competencia y sin estratificación con densas fracturación tectónica. Juigalpa, Chontales. (Foto T. Obando)

I.2.1.3.- Formas de Origen Denudatorio

- Pendientes y Colinas erosionales, **D1 (Foto No 20)**

Se presenta como terreno bajos y planos acompañado de colinas onduladas de baja altura desde ligera a profundamente meteorizadas y alterada a causa de las lluvias superficiales y aguas que circulan en el interior del terreno erosionando y modelando el subsuelo hasta alcanzar la forma actual. Los materiales que componen esta estructura morfológica son arcillas rojizas y limos, bien deleznable y suelto.

Foto No 20. Las características litológicas y estructurales y las condiciones ambientales determinan la gran variabilidad de las propiedades físicas y mecánica de los materiales geológicos. En la foto se observa frente de ladera arcillosa deleznable y meteorizada en relieve erosionado cuya inestabilidad es controlada por la baja resistencia de las materiales. Juigalpa, Chontales. (Foto T. Obando)

- Peneplanicies, **D5** (Foto No 21)

Se presenta como extensión de terreno de topografía plana, casi horizontal, adyacente a uno o varios ríos, compuesta por rellenos de aluvión cuyo espesor es variable así como su composición textural y litológica. La peneplanicie está sujeta a inundaciones periódicas, razón por la cual, también reciben el nombre de llanuras de inundación.

Foto No 21. Relieve bajo y plano compuesto de material blando, meteorizado y suelto, limo y arcillas, con algunas zonas encharcadas del suelo. Comalapa, Chontales. (Foto T. Obando)

- Escarpes del Terreno, **D9** (**Foto No 22**)

Se presenta como vertiente de roca que corta el terreno abruptamente, siendo su pendiente mayor a 45º, adoptando la forma de una cornisa con extensión más o menos larga, aunque conservando una altitud sensiblemente constante. Podemos observarles en el terreno como un tipo de salto que interrumpe la continuidad del paisaje.

Foto No 22. Escarpe de terreno y grieta de tracción; obsérvese corona semi circular irregular de dimensiones discontinuas formada en materiales arcillosos de lo alto del terreno. San Francisco de Cuapa, Chontales. (Foto T. Obando)

I.2.1.4.- Formas de Origen Fluvial

Terrazas Fluviales, **F6 (Foto No 24)**

Se presentan como escalones paralelos a la longitud de ríos del área, muy próximo a éste o bastante separado. La altura sobre el nivel actual del nivel de los ríos visitados es variable. Las terrazas son formadas más por erosión que por depositación.

En la mayor parte de las terrazas observadas, estas se encuentran formadas de rellenos de aluvión, por lo cual se les considera como una forma de depositación. La cantidad de terrazas visitadas revela la cantidad de ciclos de erosión que ha experimentado el río. A esto se debe que las terrazas recientes se destaquen mejor en el relieve que las antiguas.

Las terrazas fluviales se muestran como mesas construidas en valle fluvial por sus propios sedimentos fluviales que se depositan a los lados del cauce, especialmente, en lugares en los que la pendiente del mismo se hace menor, con lo que su capacidad de arrastre también se hace menor.

Un río, al entallar el terreno, discurre por un lecho cada vez más bajo. Abandona así capas de aluviones en forma de terrazas escalonadas que ya no son cubiertas por las aguas de las mayores avenidas. En este caso, el río entalla la roca subyacente y ésta aflora entre los escalones. Si, por el contrario, el lecho del río ahonda un terreno que ya consta de aluviones anteriores, no se ve la roca del sustrato y se trata de terrazas encajonadas.

a)

b)

Foto No 24. a) Terraza fluvial en materiales volcánicos fracturados y meteorizados del Terciario. b) Cauce fluvial en material rocoso fracturado y meteorizado color café. Juigalpa, y Comalapa, Chontales. (Foto T. Obando)

I.3.- Mapa de Movimientos de Laderas a escala 1:50,000

En la cartografía referida, se presenta la localización de sitios afectados, indicios y señales de inestabilidad de laderas, su naturaleza, características y tipologìa; su distribución espacial, densidad, zonas afectadas y dirección del movimiento; las unidades litológica afectada por la inestabilidad del terreno, su actividad y otros.

A su vez, se muestra en mapa, datos relativos sobre a la identificación de áreas potenciales y reales de ocurrencia de movimientos de laderas, su posición espacial (datos de coordenadas y altitudes) y cartográficas; distribución y densidad de zonas propensas a movimientos, factores influyente en la inestabilidad (en particular, la geología y la geomorfología).

Los datos obtenidos resultan de trabajos realizados en parte altas del terreno, en donde se aprecian afloramientos y exposiciones de materiales geológicos que componen el relieve superficial en donde tienen ocurrencia deslizamientos, derrumbes de rocas, y flujos de lodos.

En el cuadro No 3, se presenta los distintas tramas, símbolos y nombres empleados para tratar los movimientos de laderas.

LEYENDA	
Inestabilidad de Laderas	
Procesos y Formas	
Desprendimientos de rocas	Dirección del Movimiento
Deslizamientos	Escarpes y grietas de tracción
Coladas de barro	Conos de derrubios
Movimientos complejos	Puntos de observacion y medición
Áreas inestables	Caminos recorridos
OBSERVACIONES	El presente mapa no deberá ser empleado como sustitución de las investigaciones de detalle que los proyectos de desarrollo requieran en cada caso

Cuadro No 3. Mostrando convenciones usadas para Mapa de Inestabilidad de Laderas en el Área. Escala 1:50,000.

En **Mapa de Inestabilidad de Laderas**, adjunto al presente documento, se presentan las zonas geográficas juntos con sus coordenadas y altitudes con afectación por movimientos de laderas locales, entre lo que encontramos, deslizamientos, derrumbes, coladas de barro, o bien, movimientos complejos (especialmente, la combinación de derrumbes de rocas y coladas de barro). Estos últimos se ubican las comunidades de los Los Pretiles, y Cerro Grande, en sector Norte del Municipio de Comalapa.

Del Mapa, podemos determinar, en kilómetros cuadrados, el desarrollo predominante entre uno y otro movimiento de laderas local para Juigalpa, Comalapa y San Francisco de Cuapa. Es decir, cuánta áreas es afectada por inestabilidad de laderas.

En la elaboración de los mapas antes explicados, se aplican las herramientas informáticas (programas especializados de última generación), bien conocidas por todos, ArcGis 9, y MicroStation V8. A continuación se explica brevemente las características más importantes de ambos programas de cómputo:

- Programa de diseño asistido por computadora (CAD)

- Herramienta de dibujo en 2D (basado en entidades geométricas vectoriales como puntos, líneas, arcos y polígonos) y 3D (modelador de superficies y sólidos)

- Pre-visualización foto-realista del objeto estudiado.

- El formato de archivo, DGN, o bien, también se puede leer y editar formato DWG, así como el formato de intercambio DXF.

- Generación de imágenes en JPEG, PDF, y vídeo en AVI, BMP, entre otros.

I.3.1.-Descripción de los Procesos

- Desprendimientos de Rocas

Es un tipo de movimientos de inestabilidad producidos por falta de apoyo, englobando a una escasa cantidad de terreno, suele ocurrir como rocas que caen de lo alto del terreno o ladera, debido a la pérdida del apoyo que las sustentaba.

Entre los desprendimientos o desplomes, se puede incluir el caso del desplome de una columna rocosa en un acantilado, debido a la erosión en la base del mismo.

Estos movimientos, son frecuentes en laderas de zonas montañosas escarpadas, en acantilados y en paredes rocosas.

Los bloques desprendidos son de poco volumen, constituyen un riesgo importante en vías de comunicación y viviendas rurales.

Foto No 25. Desprendimientos rocosos en zona escarpada del terreno motivado por efectos de gravedad: Comalapa, Chontales (Foto T. Obando Rivera)

- Deslizamientos

Se presenta como corrimiento o movimiento de masa de tierra, provocado por la inestabilidad de un talud, debido la masa de terreno se convierte en zona inestable y desliza con respecto a una zona estable, a través de una superficie o franja de terreno de pequeño espesor. Los deslizamientos se producen cuando en la franja se alcanza la tensión tangencial máxima en todos sus puntos.

Estos tipos de inestabilidades son evitables por medios técnicos. Sin embargo, el resto de tipos de corrimientos (flujo de arcilla, licuefacción y reptación) resultan más difíciles de evitar.

Foto No 26. Vista de un deslizamiento rotacional en arcillas; obsérvese la grieta de tracción y la inclinación del terreno en sentido a favor de la ladera: San Francisco de Cuapa, Chontales (Foto T. Obando Rivera)

- Coladas de barro

Se presenta como flujos de arcilla a causa de las lluvias afectando superficies considerables del terreno. Los terrenos arcillosos, al entrar en contacto con el agua, se comportan como si alcanzasen el límite líquido, e inician movimientos que resultan ser más lentos que los deslizamientos. Las coladas de barro se dan en pequeñas pendientes, pero en gran cantidad acompañado de material limoso y arcilloso

Las coladas de barro son un tipo especial de corrimiento cuyo causante es el agua que penetra en el terreno por lluvias fuertes, modificando el terreno y provocando el deslizamiento. Son movimientos que afectan a una gran cantidad de masa de terreno.

Las coladas de barro, ocurren por la presencia de agua en los materiales ocasionando la pérdida de resistencia en materiales pocos cohesivos. Generalmente, son afectados los

suelos arcillosos, ocurriendo estos movimientos en laderas de bajas pendientes (incluso menores de 10º), siendo muy extensos y rápidos por sus condiciones de saturación de agua que le da un efecto fluidificador.

Foto No 27. Flujo de barro en ladera escarpada desencadenado por precipitaciones intensas en Juigalpa, Chontales (Foto T. Obando Rivera)

- Movimientos complejos

Se presenta como la combinación de más de un tipo de movimiento de masa. Incluye la combinación de diferentes tipos de ruptura y movimiento, siendo su distribución espacial muy variable. Ocurre cuando un movimiento de ladera presenta más de un mecanismo de movilización de los materiales en diferentes lugares de la masa en movimiento.

En la foto que sigue, se muestra las características típica de los movimientos complejos, ocurrido en los alto del terreno con forma de relieve ligeramente escarpada y pendientes menor de los 45 grados de inclinación compuesta por suelos de textura arcillosa y rocas basalto sub anguloso color oscuro a café.

Foto No 28. Movimiento de ladera combinado; obsérvese desprendimientos de rocas de tamaño y forma variable junto a escarpe de terreno típico de un deslizamiento de suelos arcillosos. Comalapa, Chontales. (Foto T. Obando Rivera)

- Áreas inestables del terreno

Se presenta en laderas acusada y escarpada, fuertemente meteorizada y fracturada sin estratificación definida y baja resistencia de los materiales del cual está compuesto por material arcilloso y fragmento anguloso de roca basalto y andesitas. Generalmente, al pie de las laderas empinadas están dispuestas obras de ingeniería que pudiese ser dañada en caso que se desarrollase movimientos de masas de mecanismos diferentes, poniendo en riesgo las vidas humanas, y bienes materiales en la zona.

a)

b)

Foto No 29. a) Escarpe de erosión, fracturado y meteorizado de donde puede sobrevenir desprendimientos de roca pendiente abajo del terreno en comunidad Llano Grande. b) Bloque colgante en lo alto de la ladera montañosa en corte de Carretera principal. Movimiento de ladera combinado; obsérvese desprendimientos de rocas de tamaño y forma variable junto a escarpe de terreno típico de un deslizamiento de suelos arcillosos. San Francisco de Cuapa, Chontales. (Foto T. Obando Rivera)

I.3.2.- La Estabilidad de Taludes en la zona

La estabilidad de taludes es la teoría que estudia la estabilidad o posible inestabilidad de un talud a la hora de realizar un proyecto, o llevar a cabo una obra de construcción de ingeniería civil, siendo un aspecto directamente relacionado con la geotecnia.

La inestabilidad de los taludes se produce por el desnivel del terreno que tiene su origen sobre todo por la geología del área, las laderas empinadas, la estratificación y la condición física de los materiales.

Los taludes se consideran estables en función de la resistencia del material al que estén compuestos, la densidad de fractura y fallas tectónicas. Los taludes en el área del Estudio son de tipo rocosos o suelo.

Foto No 30. Talud inestable en materiales rocosos; obsérvese rocas basalto alterada, meteorizada y fracturada en lo alto del terreno, siendo proclive a moverse pendiente abajo poniendo en riesgo viviendas, y trecho de carretera principal. Comalapa, Chontales. (Foto T. Obando)

Por otro lado, es preciso mencionar que los trabajos de geología aportan elementos básicos al problema de estabilización de taludes, en vista que su activación es motivada tanto por la geometría del relieve como la constitución de los materiales.

No se podrá efectuar el análisis detallado de los taludes si no se dispone de los datos necesarios y suficientes resultante de investigaciones en el terreno.

A su vez, todo ello depende del método de análisis de estabilidad que se vaya a emplear y del tratamiento que se les vaya a dar. Tras conocer parámetros necesarios e influyentes en la estabilidad del talud, habrá de, elegirse el modelo o método que represente las condiciones particulares en cada caso, así como, los ensayos de laboratorios aplicado, no siendo tratados en el presente documento, por razones de tiempo, presupuesto y objetivo del Estudio.

Foto No 31. Talud de suelos, y material volcánico fracturado y meteorizado; se observa peñascos volcánicos en corte de camino secundario en Comlapa, Chontales (Foto T. Obando)

Foto No 32. Frente de ladera empinada con bloque grandes de basalto, cuya inestabilidad es controlada por geometría del relieve y condición física de los materiales. San Francisco de Cuapa, Chontales (Foto T. Obando)

I.3.3.-Descripción de las Formas

- Escarpes y grietas de tracción

Constituyen vertiente de roca que corta el terreno abruptamente, siendo no mayor de 45º, adoptando la forma de cornisa, cuya extensión es más o menos larga, aunque conservando una altitud sensiblemente constante.

El escarpe, de modo general, se presenta como salto que interrumpe la continuidad de un paisaje, sujeto a procesos erosivos. Los escarpes de terreno se presentan como roturas curvas del suelo en forma irregular de donde se separa material rocoso o suelo que desciende desde lo alto de laderas escarpadas hacia zonas de estabilización.

Por su parte, las grietas de tracción, se presentan como borde semicirculares irregular en la zona donde tuvo lugar el movimiento de laderas, siendo de dimensiones variables.

Foto No 33. Escarpe y grieta de tracción semi circular en lo alto del terreno en Comalapa, Chontales (Foto T. Obando Rivera)

- Conos de Derrubios

Se presentan como estructura geomorfológica generada por la acumulación de fragmentos de roca que caen desde lo alto de laderas montañosas, p.ejem., Cordillera Amerisque. La inestabilidad de la roca que se desprende puede ser propia, es decir, dada las estructuras que presenta ella misma, o bien inducida por factores desencadenantes s que abren fracturas que estaban antes cerradas, como el agua, la acción de las raíces de plantas que crecen a través de ellas.

Los fragmentos de roca se acumularán bajo las inestabilidades según una manera característica formando conos compuestos por los detritos. Como el agente que desencadena la caída o rodadura de los clastos de roca es la gravedad, la granulometría será creciente desde el ápice del cono hacia los bordes del cono de detritos debido al momentum de las partículas.

El lugar del escarpe desde donde se desprenden los fragmentos de roca se observa como cicatriz visible. Los conos de detritos pueden presentarse de manera individual o solapándose unos con aquellos que se encuentran adyacentes. En el último caso se habla de conos de detritos coalescentes.

Foto No 34. Conos de derrubios o depósitos de materiales al pie de ladera escarpada en una zona urbanizada de Juigalpa, Chontales (Foto T. Obando Rivera)

II).Metodología desarrollada

A continuación se presenta los procedimientos y técnicas aplicadas para el desarrollo de mapas temáticos resultantes, los cuales han sido preparados a escala regional 1:50,000

2.1.- Mapa de Geología Superficial

En mapa mosaico de hojas topográficas (Cuapa, código índice 3152-IV; Juigalpa, código índice 3152-III; La Libertad, código índice 3152-I; y Santo Tomas, código índice 3152-II), a escala mayor datum WGS 84, que engloba los municipios de Juigalpa, Comalapa y San Francisco de Cuapa, se delimitó y cartografió las unidades geológicas en polígonos de colores según su naturaleza y composición; se identificó la textura, estructura, y condición física de los materiales como su estado de fracturación, alteración o meteorización. Esto con miras de ofrecer visión sobre la distribución, y desarrollo preferente de cada unidad litológica.

Con los datos obtenidos, se aporta nueva información cartográfica, y/o amplía y mejora la cartografía geológica histórica de los años 70's, y 90s conocida para esa zona de estudio.

A su vez, se establecieron atributos vinculados con el área en km², simbología y descripción basada en criterios del especialista geólogo sobre la base de las observaciones y criterios de campo.

Del levantamiento geológico, se identificó y tomaron datos sobre evidencias de trazos de fallas tectónicas superficiales, indicados en mapa a través de segmentos lineales y curvos color rojo de dimensiones discontinuas. Esta información es básica para la planificación física y ordenamiento territorial.

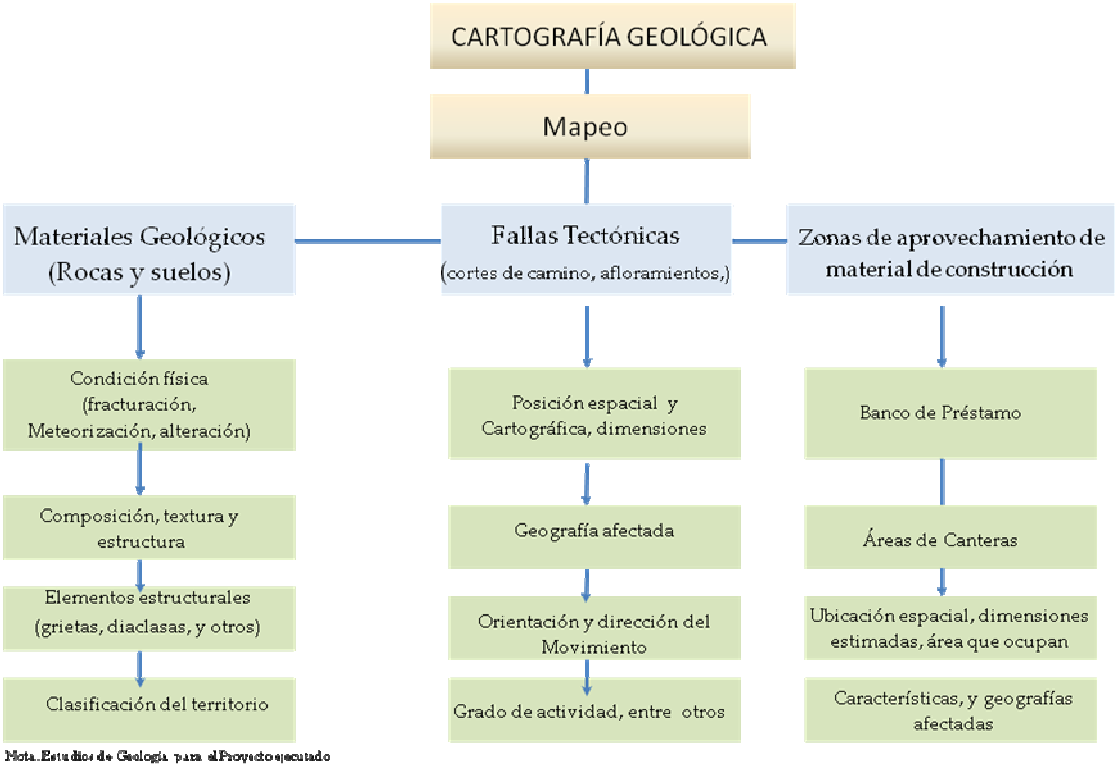


Ilustración No 1. Esquema de la metodología para realización de Estudios de Geología

Tras la aplicación del programa ArcGis 9, se delineó aquellas capas y elementos espaciales concernientes a la geología superficial, permitiendo esta herramienta informática, el tratamiento y análisis automático de datos y la preparación de base de datos asociadas.

Con todo lo anterior, se logró la clasificación del territorio en base a determinados criterios geológicos profesionales según el objetivo de nuestro mapa, apoyado de los datos obtenidos y su análisis, lo cual se plasma en el Mapa de Geología Superficial.

2.2.- Mapa Geomorfológico, y de Unidades Geomorfológicas

Similar al proceso de elaboración de la cartografía geológica, se prepara mapa mosaico conteniendo las hojas topográficas correspondientes a escala 1:50,000 con datum WGS84, en que se delimita, y colorean los tipos de relieves, y unidades geomorfológicas del área según su estrecha relación con fallas geológicas locales y regionales, interpretación de relieve, la forma de las curvas de nivel, patrón de drenaje y las rocas que las originaron.

Igualmente, al mapa de geología, se establecen atributos vinculados con el área en km², simbología y descripción basada en criterios del profesional en la materia sobre la base de las observaciones y criterios ya planteados. Estos atributos ayudan en aclarar la información contenida en el Mapa Geomorfológico.

Del levantamiento geomorfológico, se definen 4 unidades del relieve, cada una dividida en subunidades: Unidad de Origen Denudatorio, Unidad de Origen Estructural, Unidad de Origen Volcánico, y la Unidad de Origen Fluvial. Tomando como referencia las clasificaciones propuestas por Van Zuidam que data de los años 70's con varias transformaciones estructurales hasta nuestro días.

Los trabajos de geomorfología en el terreno proporcionaron información concisa y sistemática sobre la forma del terreno, los procesos geomorfológicos y los fenómenos geológicos conexos.

Para obtener Mapa Geomorfológico de la zona, se delinearon las distintas unidades del terreno y las asociaciones de geoformas (mediante símbolos areales y lineales coloreados).

2.2.1.- Sobre el Método de Van Zuidam

Constituye Sistema de Clasificación de Terrenos a través de la cartografía de unidades temáticas definidos por parámetros físicos de base (Geològicos-Geomorfològicos). La diferenciación de las unidades se ha realizado sobre la base de las observaciones de campo. Los principales criterios utilizados la clasificación y diferenciación de las unidades han sido el relieve, litología, procesos geomorfológicos activos, y el origen de las formas del relieve.

En la actualidad, se ha diseñado un método para la adquisición estructurada y el ingreso de muchos atributos de terreno, ligados a las unidades de mapeo basadas en la geomorfología , denominado "Unidades de Mapeo de Terreno (UMT)". Este método esta basado en la clasificación genética y en el análisis del sistema de terreno como p.ejem. Clasificación de Van Zuidam

En el **método Zuidam**, las formas y el correspondiente mapeo de unidades de terreno han sido clasificados siguiendo su moforgénesis, y ello solicitó elementos específicos de su morfología. Las clases genéticas han sido sub dividida en 7 sub clases. A su vez, se ha hizo uso de códigos de letras y números (p.ejem. D4, F6, etc.) acompañados de símbolos de colores y características específicas para la presentación de la cartografía geomorfológica de los municipios de Juigalpa, Comalapa y San Francisco de Cuapa.

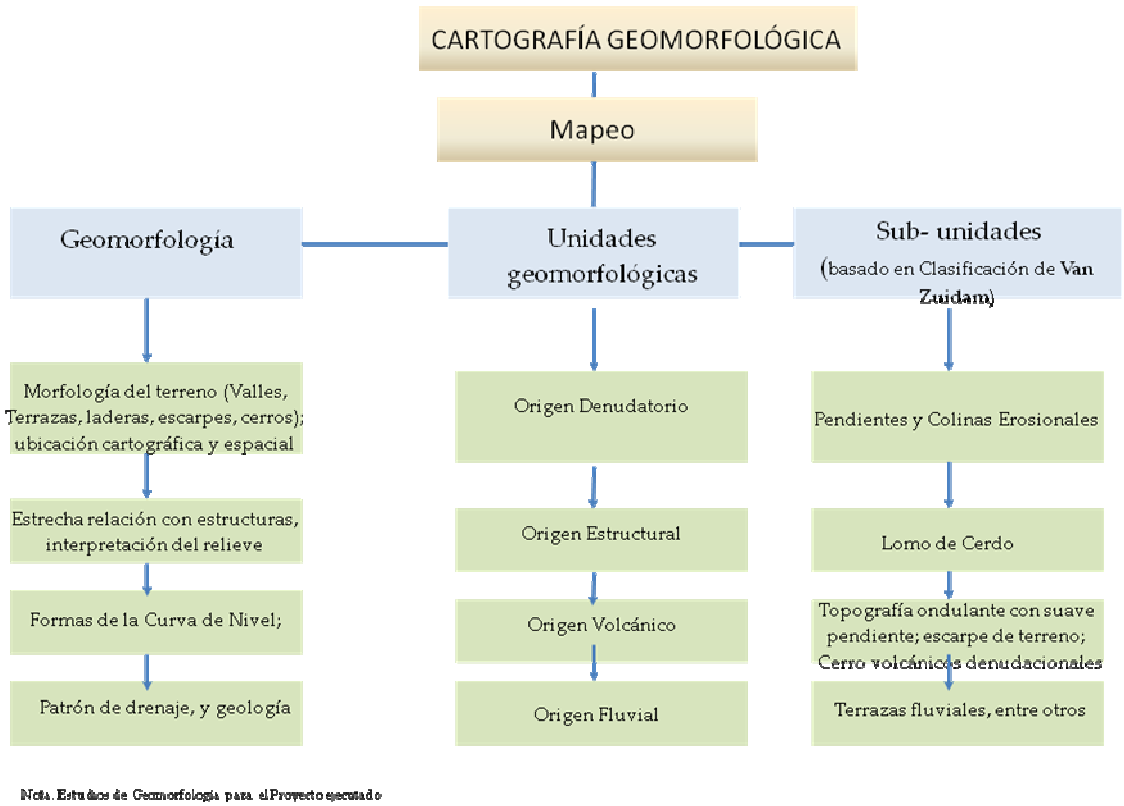


Ilustración No 2. Metodología desarrollada para Estudios de Geomorfología

Con lo anterior, se permitió descubrir las sub unidades importante de la zona, clasificándose en las siguientes: la Subunidad de pendientes y colinas erosionales; la Subunidad de Lomo de Cerdo; Subunidad de Topografía ondulante con pendientes suaves; Subunidad de Escarpes de terreno; Subunidad de Cerros Volcánicos denudacionales; y Subunidad de Terrazas fluviales.

Posteriormente, con ayuda de las técnicas modernas de representación del relieve, se logró mostrar en modelo cartográfico las expresiones del relieve (valles, terrazas, laderas, escarpes, etc). Esta información es básica para la caracterización física del territorio, y aporta datos importantes al estudio de procesos de inestabilidad y zonas inestables; a los emplazamientos y trazados de muchas obras de ingeniería, que indudablemente están condicionados por estos ambientes.

Seguidamente, a través de las aplicaciones informáticas del Arcgis 9, se delimitan los elementos espaciales que contiene la capa temática asociada con la geomorfología superficial que dio pie a la realización de la presente memoria explicativa de trabajos efectuados, apoyado de los datos obtenidos y su análisis. Esto se presenta y explica en

el Mapa Geomorfológico, acompañado de su leyenda, escala, fotografías de algunos aspectos geomorfológicos, y otros elementos relevantes.

2.3.- Mapa de Inestabilidad de Laderas

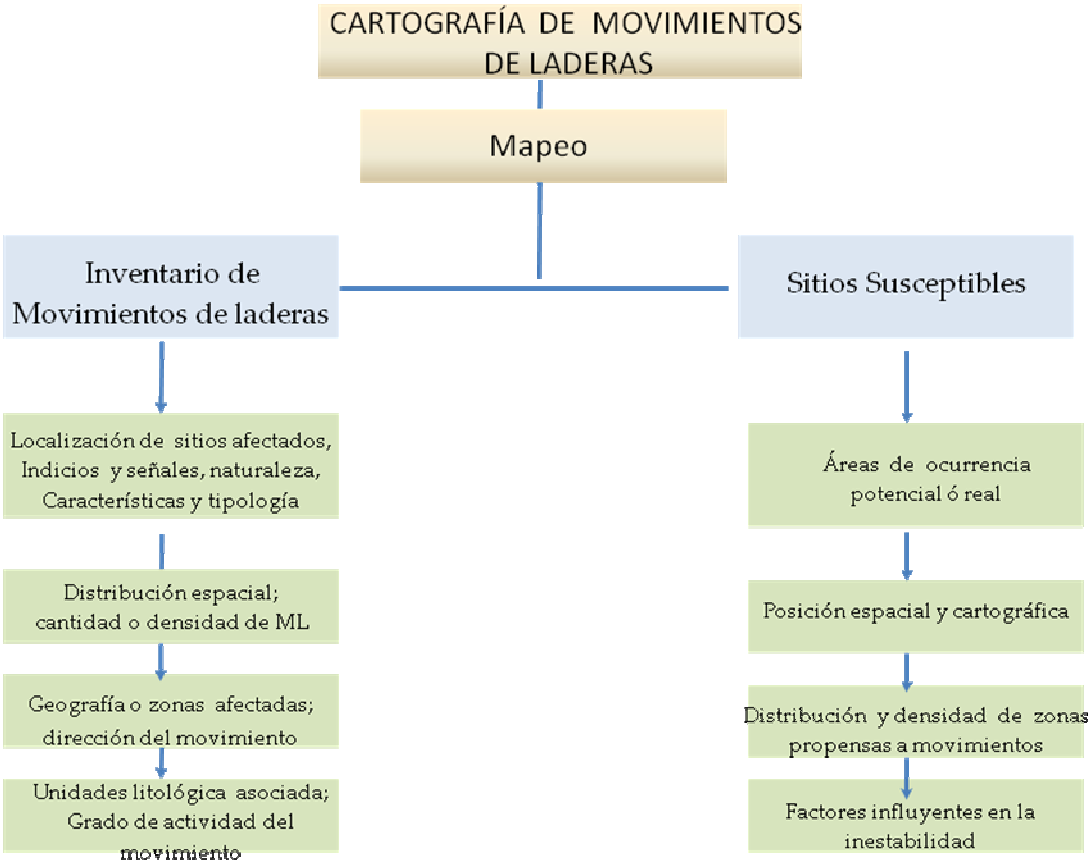
Tras la conformación del mapa mosaico que engloba las hojas topográficas a escala 1:50,000 para municipios de Juigalpa, Comalapa y San Francisco de Cuapa, se realizó inventario de sitios geo-referenciados afectados por la presencia de inestabilidad de laderas, incluyendo áreas de explotación de materiales geológicos. Es decir, se indican las áreas que han sufrido movimientos de laderas.

Asimismo, se establecen atributos vinculados con el área en km², simbología y descripción basada en criterios de especialización sobre la base de las observaciones y mediciones en el terreno, y en gabinete.

A su vez, se correlacionan los terrenos inestables con las unidades litológicas presentes en la zona de estudio.

Es preciso mencionar que la litología es un factor importante en los movimientos de laderas; en la zona de estudio existen unidades donde se registran la mayor cantidad o densidad de movimientos de laderas (derrumbes, deslizamientos ó flujos de lodos).

Este análisis se realizó con cada una de las unidades cartografiadas dentro del polígono estudiados. La información obtenida aporta nuevos elementos a cartografía de deslizamientos, y/o amplía y mejora la cartografía de Susceptibilidad por estos procesos propuesto por Mora y Vahrson en el año 2,004.



Nota. Estudios de la Inestabilidad de Laderas para el Proyecto ejecutado

Ilustración No 3. Estudios de Inestabilidad de Laderas y su aplicaciones a la geología.

Los datos plasmados en mapa resultante, es sumamente importante para la planificación territorial o urbana, y usos del suelo; la selección de asentamientos y áreas de desarrollo favorables; en especial, la prevención y mitigación de pérdidas o daños que pudieran producirse como consecuencia de los movimientos de laderas esperables en la región.

Razón por la cual, apoyado de las técnicas de modelación por computadora, se preparó la cartografía de movimientos de laderas a escala 1:50,000, conteniendo todo los elementos pertinentes al respecto.

2.4.- Cartografía Automática

Como hemos mencionado anteriormente, en la elaboración de los formato digitales de mapas de geología superficial, geomorfología e inestabilidad de laderas empleamos en los trabajos de cartografía computarizada los programas ARcGis 9, y en algunos casos por razones de disponibilidad del programa el Micro-Station V8 (Ilustración No 4), última versión; aunque esto, significo finalmente la conversión desde formatos característico del Micro-Station V8 a una estructura de Sistema de Información Geográfica (SIG). Con ello se permitió la digitalización en polígonos de colores de las capas y elementos temáticos contenidos en los modelos cartográficos resultantes a escala regional.

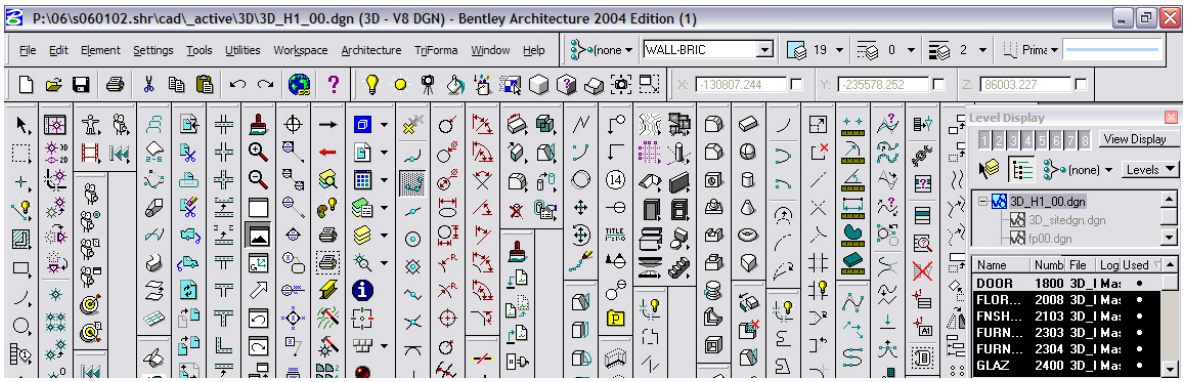


Ilustración No 4. Vista de Programa Micro-Station V8; Obsérvese las aplicaciones geométricas para el diseño espacial de capas temáticas.

La aplicaciones informáticas y de los sistemas de información geográficas (SIG) a la cartografías temáticas permitió:

- El tratamiento y análisis automático de datos
- La obtención de mapas de elementos individuales (geología, geomorfología, e inestabilidad de laderas)
- La preparación de base de datos asociadas.
- La creación de los mapas a través de datos e información reunida en el campo.

Unos de los tantos aportes encontrados en los trabajos de cartografía por computadora están:

- Contribuir a eliminar errores o interpretaciones subjetivas en el proceso de caracterización de las unidades litológicas con la finalidad de clasificar los territorios en base a criterios técnicos según los objetivo de cada mapa realizados (en total nueve mapas temáticos)

- Los criterios empleados y la interpretación de los productos obtenidos fue realizada por profesionales con experiencia.

Asimismo, el proceso de digitalización de mapas, engloba la:

- Delimitación y cartografía de unidades litológicas superficiales homogéneas en cuanto a características geológicas asociadas como la fracturación, humedad, meteorización y alteración; ubicación y medición de zonas de aprovechamiento de material para construcción; identificación y descripción cualitativa y cuantitativa de fallas tectónicas locales.

- Zonación y descripción del territorio en función de sus características geomorfológicas y tipos de relieves presentes en el terreno (valles, cerros, llanuras, mesas, etc., basado en la clasificación de Van Zuidam, según última versión.

- Coordinación y realización de trabajos de cartografía geomorfológica por computadora con las Oficinas de Catastro Físico de las Alcaldías Municipales de, Juigalpa, Comalapa y San Francisco de Cuapa.

- Observaciones y mediciones de datos sobre tipología, densidad y distribución de movimientos de laderas, áreas que afectan, su ubicación espacial y cartográfica, su dirección, entre otros. Basado en datos obtenidos en el terreno, información disponible del área, así como tímidas, pero valiosas aportaciones de las alcaldías municipales

- Transformación de modelos cartográficos resultantes a formatos de estructura SIG, apoyados de los programas informáticos ya mencionados.

Por otro lado, en lo referente con la información obtenidas para ser convertida a un Sistema de Información Geográfica (SIG), las unidades de terreno se diferencian tomando como base uno o más de los siguientes criterios:

- Origen principal: morfogénesis (por ejemplo, unidades de origen estructural)
- Origen específico: a) p. ejem. mesa de lava, cono de escoria: b) litología (p. ejem. perdenales, brechas, ignimbritas, riolitas, basalto-andesitas;

2.4.1- Representación de datos

En nuestros días, diversas asociaciones relacionadas con la geología, han formado comisiones para la propuesta de simbología y procedimientos para la realización de mapas geológicos, geomorfológicos e inestabilidad de laderas.

No obstante debido a la complejidad del medio geológico y a las diferentes aplicaciones y finalidades de los mapas aquí propuestos, no existe un procedimiento estándar, existiendo diferencias significativas en los mapas tanto con respecto a los datos representados como a la forma de presentarlos.

En los trabajos de cartografía desarrollados fue necesario emplear símbolos, letras y números de carácter geomorfológico y geológico estándar para definir las unidades litológicas para esa región.

Los mapas resultantes, contiene una leyenda, en que se detalla y aclara la información contenida en los mismos, siendo enriquecida a través de cuadros de clasificación y datos relevantes sobre temática tratada (sea esta, geología, geomorfología, o movimientos de laderas).

La presente memoria explicativa acompaña a las hojas cartográficas obtenidas, ampliando y detallando los contenidos del mapa y de la leyenda, presenta datos obtenidos, las metodologías y criterios empleados en la elaboración de los mapas, etc., incluyendo clasificaciones geológicas de los materiales y fotografías de algunos aspectos de interés geológico.

Los mapas temáticos (geología superficial; geomorfología aplicada; inestabilidad de laderas) con sus correspondientes leyendas constituyen documentos independientes, sin necesidad de recurrir a la presente memoria explicativa para su interpretación.

2.4.2.- Obtención de datos

Los detalles geológicos y geomorfológicos del área fueron obtenidos a partir de medidas directas en el terreno, reconocimientos y toma de datos de campo según el tipo y objetivo de cada mapa temático, de la complejidad de la zona de estudio y del presupuesto y tiempo disponibles para su realización; en función de la cantidad, calidad y representatividad de los datos, la clasificación y descripción de las unidades litológicas se realizó la homogenización y detalles de la zona.

Es preciso mencionar que en los mapas obtenidos, ni en la memoria aquí presentadas, se resaltan medidas indirectas procedentes de la realización de sondeos geotécnicos ni ensayos geofísicos, así como, ensayos analíticos de materiales geológicos (pruebas de resistencia y deformabilidad) que resultase en clasificaciones geotécnicas; índices y correlaciones empírica, que permitiesen obtener datos cuantitativos. Todo lo anterior obedece a razones de presupuesto y tiempo disponible para su ejecución.

Igualmente, es básico, pero no menos importante decir, que los mapas topográficos a escala 1:50,000 sobre la zona de trabajo nos ayudó al ofrecernos elementos significativos para el diseño racional de los trabajos de recorridos en el terreno.

Por otra parte, las fotografías aéreas como en todo trabajo de cartografía es útil en fases iniciales del mapeo, en nuestro estudio no se dispuso ellas, debido a la inexistencia de las mismas. No obstante, recordemos que la fotointerpretación tiene inconvenientes en su aplicación, en vista que no aporta información sobre el subsuelo ni detalles litológicos, y la información debe ser completada en campo. Bien que mal, esto significó trabajos de reconocimientos en campo, realizándose habitualmente en varias etapas a lo largo de la preparación de los mapas elaborados a escala 1:50,000 según se fue completando la caracterización geológica, geomorfológica, y de inestabilidad de laderas.

La información cuantitativa incluida en los mapas propuestos son fiable y representativo de las unidades cartográficas (geológicas o geomorfológicas) a la que

fue asignada, por lo que los trabajos de selección, análisis e interpretación de datos y su agrupamiento fue significativo sobre la base de criterios de especialización en la materia.

Por ejemplo, en mapa de inestabilidad de laderas, preparado a escala 1:50,000 para fines de planificación urbana se estableció clasificación de territorios en base a movimientos de laderas ocurridos (deslizamientos, desprendimientos de rocas y flujos), definidos por colores y tramas; a partir de esta información y otros datos se preparan mapas de aptitud del territorio frente a diferentes condiciones.

Una de las principales aplicaciones de las cartografías resultantes son los estudios de viabilidad y la selección de alternativa para el trazado y construcción de obras lineales: carreteras, puentes, y otros. Por ejemplo, la vía adoquinada entre poblados Las Lajitas y San Francisco de Cuapa, cuya construcción solicitó volúmenes considerables de material extraído de bancos de préstamo local.

Las cartografías obtenidas, aportaron información sobre la geomorfología, características geológicas de los materiales, tipos de movimientos de laderas, áreas susceptibles; ubicación y situación de materiales para la construcción (zonas de préstamos y de canteras), presencia de fallas tectónicas, y entre otros. La escala de estos mapas fue trabajada a 1:50,000.

III).Consideraciones generales

Si bien los trabajos de cartografía se limitan al estudio de la geología superficial (unidades litológicas, fallas tectónicas y materiales para la construcción), geomorfología y unidades morfogenéticas, así como, la inestabilidad de laderas, es preciso mencionar que su preparación fue efectuada a una escala regional 1/50,000.

Por el cual, los productos cartográficos aquí obtenidos no deberán ser empleados como sustitución de las investigaciones de detalle que los proyectos de desarrollo, sobre todo los destinados a la construcción de obras de ingenierías, requieran en cada caso.

Las cartografías temáticas , y documento explicativo resultante deberán ser considerados únicamente como bases o referencias o auxilios en los futuros trabajos que prevean realizar en el territorio investigado tanto a nivel regional, municipal y local.

Por otro lado, hay que destacar, que pesar de la información obtenida en las distintas líneas de acción propuestas, estas solicitan aún de más trabajos de investigación como la realización de ensayos experimentales sobre geotecnia de campo y laboratorio, a igual que, estudios geofísicos, hidrogeológicos y geomecánicos para conocer en profundidad el comportamiento de los materiales, su grados de alteración, fracturación, propiedades geofísicas u otras afines. Para esto, se requiere presentar en los trabajos futuros diseños de presupuestos en tiempos justos que admita para la ejecución de pruebas de mecánica de roca, sondeos geotécnicos, trincheras geológicas exploratorias, perfiles geofísicos, aplicaciones de técnicas de ingeniería sísmica, entre otros.

La utilización de dos técnicas y métodos de investigación o más permitirá ir corroborando y ampliando los datos o información planteada en cada una de las cartografías propuestas, enriqueciendo así su contenido y objetivos, y contribuyendo al conocimiento científico-técnico importante y provechoso para aquello usuarios interesados en estos, sean estos centros de investigación, universidades, institutos politécnicos, instituciones estatales, o bien, público en general.

IV).Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Este Estudio se realizó en el área de la Sub Cuenca Hidrográfica del Río Mayales, englobando superficie del terreno de 1,648km2, en donde se asientan los Municipios de Juigalpa, Comalapa y San Francisco de Cuapa en el Departamento de Chontales. En la región del Estudio se distingue relieves escarpados y empinado, valles, escarpes y otros, característico de elevaciones topográficas superior a los 600 metros con pendientes del terreno mayor de 45º.

- Los materiales geológicos que afloran en el área cartografiada son basaltos, brechas volcánicas, ignimbritas, pedernales, riolitas, suelos de textura arcillosos, arenosos, areno-limosos, arcillo-arenosos y limosos. Todo estos, se encuentran desde leve hasta intensamente fracturado, meteorizado y alterado, siendo su consistencia desde suelta y fragmentaria hasta compacta y firme. Estos datos fueron obtenidos en afloramientos geológicos, cortes de camino y terrazas fluviales. Estos datos amplían y/o actualizan la cartografía geológica históricas o recientes.

- Del total reconocido de movimientos de masas, la mayoría des estos está comprendido entre deslizamientos rotacionales, y desprendimientos de rocas, ocurriendo en terrenos abruptos y empinados con pendientes mayor de 45º

- Se proponen obras de ingeniería para mitigación de inestabilidad del terreno considerando las condiciones topográficas, sísmicas y geológicas del área. Por ejemplo, zanjas drenantes, muros de contención, y bio-ingeniería.

Recomendaciones

a) Evaluar las condiciones mecánicas de suelo y roca, con especial énfasis en las vibraciones mecánicas generadas por el tráfico de vehículos liviano y pesado. Estas condiciones, son influenciados por la situación geo-estructural del lugar.

b) Realizar estudios de Efectos de Sitio para determinar el comportamiento y propiedades dinámica, y seudo-estática (sistema de fuerzas actuantes) en materiales del subsuelo y su vinculación con la inestabilidad del terreno afín de asegurar la vida útil de la carretera evaluada.

c) Que las alcaldías municipales de Juigalpa, Comalapa y San Francisco de Cuapa incluyan en sus planes de ordenanza territorial tópicos asociados con la gestión de riesgos por deslizamientos y derrumbes con vista de asegurar obras de ingeniería horizontal existentes o en fase de construcción en esa región del país.

d) Considerar obras de ingeniería para la mitigación y atenuación de la inestabilidad del terreno a través de técnicas de bio-ingeniería, zanjas drenantes o canaletas, señalización anticipada, y Muros de gaviones con especial énfasis en los análisis de emplazamiento para proyectos de obra vial local.

e) Participación activa de instituciones de gobierno directamente vinculadas con el mantenimiento y rehabilitación de obras de ingeniería y sus potenciales afectaciones por la inestabilidad de taludes.

f) Organizar campañas y jornadas de reforestación de taludes inestables para fijar la estructura del suelo, y disminuir la erosión de suelo; Realizar sesiones informativas del escenario real que coexiste en el lugar coordinado por alcaldías municipales.

a) Programar y/o realizar simulacros ante desastes naturales considerando no sólo la inestabilidad de laderas (deslizamientos, derrumbes de roca, entre otros) sino también la influencia por sismos y lluvias como detonantes de estos taludes en la carretera.

Mapas

- GEOLOGÍA SUPERFICIAL. ESCALA 1/50,000

- GEOMORFOLOGÍA, Y UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS. ESCALA 1/50,000

- INESTABILIDAD DE LADERAS. ESCALA 1/50,000