

**GEODINÁMICA AMBIENTAL DE LA CUENCA
DEL RÍO SAN PEDRO.
FLANCO NORANDINO VENEZOLANO**
*San Pedro basin river environment geodynamic. The
Venezuelan norten andean flank*

Katí A. MONTIEL*
Cristina M. ACOSTA*
Henry B. MALDONADO*

RESUMEN

El estudio abarca el perímetro de la cuenca del río San Pedro, flanco norandino venezolano, donde amplias áreas deforestadas, cicatrices de deslizamiento, sistemas de diaclasas, cárcavas y surcos se conjugan y generan un desequilibrio morfogenético expresado en movimientos de masa generalizados y avalanchas torrenciales, representando un peligro natural para la población local. Mediante el diseño de un SIG se efectuó una matriz espacial sustentada en el análisis geológico, geomorfológico, geotécnico, fotointerpretativo y ajustado a la clasificación de Ferrer, se identificaron diferentes niveles de estabilidad relativa: inestabilidad, inestabilidad crítica y potencialmente inestable, estos localizados en los espacios de mayor concentración poblacional.

Palabras-Claves: Flanco norandino, avalancha torrencial, peligros naturales.

ABSTRACT

San Pedro basin river perimeter this studies in the Venezuelan norten Andean flank. The source areas of mass avalanche movements as results of the concentration of extensive deforested areas, scars lengthened, wide diaclasas system, gullies of considerable depth and longitude and deep furrows in granites avalanches, this combined morphogenetics equilibrium, generated danger naturals on local populadng. Means SIG designe is spatial matrix is created, support in analays

*Centro de Estudios Geográficos, Facultad de Humanidades y Educación, La Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela. E-mail: kattyfontiel@hotmail.com o delvallemontiel@latrmail.com

geologic, geomorphologic, geotechnic types, as well as photo interpretation based on the classification proposed by Ferrer. This allowed the definition as three categories according to their geologic characteristics which provided their level of relative stability: Unstability, Unstability Critical and Potentially Unstability, this localized in the spaces populating it's concentrated.

Key-words: Northern Andean flank, torrential avalanche, danger natural.

INTRODUCCIÓN

La década de los 90 fue definida por las Naciones Unidas como la "Década Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales", con la intención de aumentar las investigaciones orientadas a la evaluación y análisis de la Geodinámica Ambiental, a fin de tomar acciones tanto preventivas como correctivas que permitan reducir los riesgos naturales que amenazan a la humanidad.

Venezuela no escapa a esta realidad, especialmente el flanco norandino ha estado caracterizada por los eventos naturales, donde se destacan los procesos de movimientos de masa (SINGER, 1983; GÓMEZ et al., 2000). En 1987, una precipitación intensa en la parte alta de la cuenca del río Oso, fue acompañada por una avalancha torrencial de mediana magnitud que impactó a la población de Santa María, ocasionando numerosas pérdidas de vidas humanas, caseríos arrasados y graves daños a las vías de comunicación.

Constantemente, esta área del flanco norandino está sometida a fuertes precipitaciones que, en convergencia con otras variables geográficas, agudizan la "amenaza natural" presente en la zona.

Por esta razón, se realizó este estudio con fines de "prevención" y en el cual se sectorizan las áreas de estabilidad de los terrenos, lo que permitirá afianzar, sobre bases científicas, la "ordenación, protección y control" de este importante sector de la cuenca del lago de Maracaibo.

MARCO GEOGRÁFICO GENERAL

CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS

El área de estudio se ubica en el Piedemonte Andino-Lacustre, en la cuenca del río San Pedro, perteneciente a la Parroquia Santa Apolonia

del Municipio Tulio Febres Cordero del estado Mérida (figura 1). La extensión total de la cuenca es de 334 Km² aproximadamente, con escasa y dispersa población, 2236 habitantes (OCEI, 1994), con una densidad poblacional de 07 hab/Km², por lo que sus centros poblados se enmarcan en la categoría de "rurales", siendo los más importantes San Pedro, Monte Aventino y Santa Apolonia.

La actividad económica básica del área de estudio es la agrícola, caracterizada por sistemas productivos de distintos tamaños y usos, bajo las combinaciones de pastizales, tierras cultivadas, rastrojos y bosques (LOBO; PORTILLO, 1992), donde se destaca la producción de café, cacao, plátano, cambur y algunos frutales. En los últimos años se han establecido en la zona, sistemas de producción asociados a la actividad agropecuaria (ganadería de altura), lo que origina deforestación para la implantación de pastizales en zonas con pendientes consideradas de moderadas a fuertes.

FIGURA 1 - LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Desde el punto de vista físico, el área se caracteriza por elevaciones comprendidas entre los 100 mts. en la planicie y 2000 mts., diferenciándose tres sectores; de llanura aluvial, de Piedemonte y de montaña. El tipo climático es "Gwi", templado de altitud tropical mesotérmico. El promedio anual de las precipitaciones varía entre los 600 mm y los 2100 mm; de tipo convectivo, con una temperatura moderada de 17° C y presencia de nieblas casi diarias, y suelos de tipo inceptisols tropepts. En cuanto a la vegetación, en esta zona se desarrolla la selva higrofila o selva nublada, que se caracteriza por su exuberancia y árboles de gran tamaño. Las laderas son, generalmente, pendientes y las montañas disectadas por un drenaje dendrítico bien desarrollado de valles en V. Se presentan como ríos de régimen permanente, El Oso y El San Pedro, y las quebradas Ron, La Fría, El Muerto, Palmichal, Barcelona, El Yeso, Aventino, El Guamal y La Guaca, entre otras.

MARCO GEOLÓGICO LOCAL

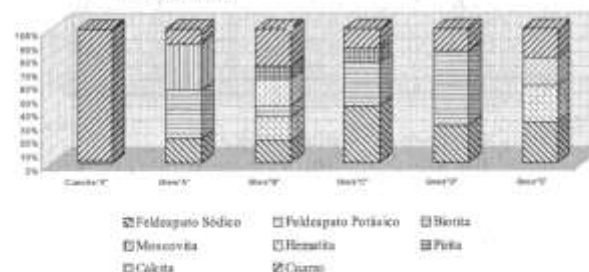
CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS DEL BASAMENTO

La unidad rocosa más antigua que aflora en la región de estudio, son los gneises bandeados y estructuralmente complejos de la Formación Sierra Nevada, los cuales han sido ampliamente descritos por SCHUBERT (1968) y KOVISARS (1972). Se le atribuye una edad precámbrica, muy discutida en la actualidad.

Al igual que lo observado por FERRER (1992), en la cuenca del río Santo Domingo, los gneises bandeados se presentan, en el área de estudio, en superficies frescas con colores grises claros a oscuro, con frecuentes tonalidades claras, las bandas poseen espesores hasta 10 cm. Al meteorizar, su aspecto cambia a blanco liza, gris pálido o pardo claro probablemente, relacionados con el alto contenido de hierro. Las muestras analizadas evidencian una composición mineralógica de cuarzo (entre 11,25 y 98 %); feldespato (entre 18,68 y 42,37 %); biotita (8,24 y 55,14 %); pirita (9,29 y 10,32 %); moscovita (entre 34,80 %); y calcita (20,97 %) (figura 2). Son comunes las escamas de mica, cuya abundancia determina el grado de esquistosidad de la roca. El constituyente principal es el feldespato blanco a gris. A medida que aumenta el contenido de cuarzo, el gneis puede variar a cuarcita impura. Las bandas alternas

de biotitas, producen en el gneis cuarzo-feldespático-micáceo, bandeamiento común de espesor variable.

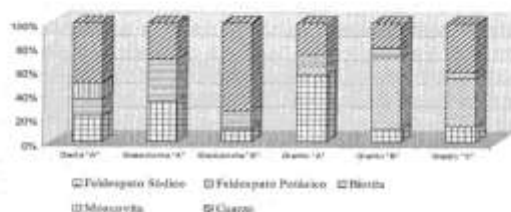
FIGURA 2 - ROCAS METAMÓRFICAS. RELACIÓN MINERALÓGICA PORCENTUAL



En correlación con lo descrito por SCHUBERT (1968), en la cuenca del río San Pedro, también afloran intercalaciones de rocas graníticas con la misma dirección de foliación y con espesores semejantes a los gneis. Según el análisis modal típico de las muestras tomadas en campo, estos granitos presentan una textura fanerítica, de grano medio que gradan a grueso, con una distribución del tamaño del grano irregular, holocristalina, ultrabásica e hipidiomórficos; mineralógicamente constituido por: feldespato potásico (entre 3,24 y 61,03 %); feldespato sódico (entre 9,70 y 55,98 %); cuarzo (entre 20,67 y 74,38 %); biotita (entre 4,76 y 32,41 %), y moscovita (14,16 %) (figura 3). En superficie fresca, el color es blanco a gris claro, raramente rosado y moteado de biotita; la roca meteorizada presenta un color blanco a gris medio-oscuro, con frecuencia en naranja pálido oxidado. Las características mineralógicas y de textura señalan un origen ígneo.

Los afloramientos de granito de la región de Santa Apolonia-Monte Aventino, forman parte del llamado "Granodiorita de El Carmen"; término empleado para describir el sill granítico paralelo a la directriz andina principal, al norte del río Chama, que forma una faja topográficamente prominente de filas y picos. La roca está bien expuesta, localmente, en los taludes de incisión de los ríos de San Pedro, Oso y quebrada Ron. La unidad se clasifica como una granodiorita debido a su contenido de cuarzo y feldespatos potásicos, y según KOVISARS (1972), se intrusó en forma de masa fundida.

FIGURA 3 - ROCAS IGNEAS. RELACIÓN MINERALÓGICA PORCENTUAL



CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS

Formación Aguardiente: Del Cretáceo Inferior, se compone de areniscas duras, cuarzosas, de color pardo a pardo claro, de grano variable, localmente pirítica, con intercalaciones de lutitas micáceas y carbonáceas, algunos lechos de caliza, en la parte inferior. Al igual que lo observado por CANELÓN y RAMÍREZ (1973), en la quebrada Yeso, afluente del río San Pedro, esta formación se presenta constituyendo paquetes de areniscas intercaladas por capas de lutitas gris oscura, carbonáceas, de aproximadamente 30 cm de espesor.

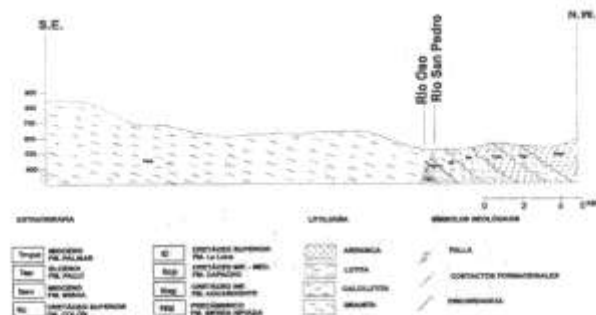
Formación Capacho: Esta unidad, de Edad Cretácica, se caracteriza por el predominio de calizas duras, masivas, frecuentemente fosilíferas, cristalinas de colores claros, limolitas ocasionales de color oscuro y lutitas duras de color gris oscuro a negro.

Formación La Luna: En la región de estudio, ésta unidad exhibe una litología semejante a la descrita por USECHE (1973) en la región de La Azulita, formada por intercalaciones de caliza, lutitas y capas delgadas de fanita, con frecuentes concreciones calcáreas. Según el análisis de las muestras, las calizas son grises oscuras a negras, mudstone, muy duras, compactas, microcristalinas, carbonosas, con abundantes láminas de calcita; las lutitas son negras y grises, generalmente, arenosas. Los minerales constituyentes son: calcita (71,92 %); cuarzo (21,74 %); y caolinita (6,34 %); con baja porosidad y permeabilidad (Muestra 18, cuadro 1).

Formación Colón: Esta unidad formacional del Cretáceo Superior, se encuentra constituida, en la región de estudio, por lutitas nodulares grises a grises medios, moderadamente compactadas y calcáreas, fisiles,

micromicáceas, reactivas al agua y mineralógicamente constituida por: cuarzo (65,62 %); caolinita (10,81 %); oligoclasa-plagioclasa (10,74 %); calcita (8,27 %); y moscovita (4,56 %), con mediana porosidad y baja permeabilidad (Muestra 17, cuadro 1). En concordancia con lo descrito por MONTIEL (1995), en el área de estudio, se encuentra rellenando valles y depresiones, generalmente, en proximidad de zonas de fallas (figura 4).

FIGURA 4 - SECCIÓN RÍO OSO – RÍO SAN PEDRO



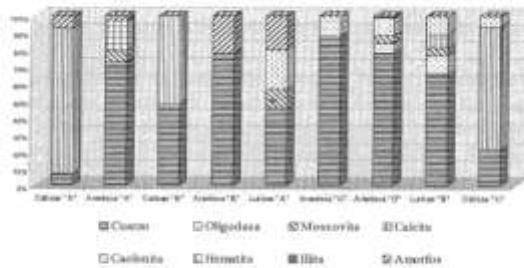
Formación Misca: De Edad Eoceno Inferior a Medio. Se compone por arenisca gris medio, grano fino a muy fino, bien escogida, cementada con sílice, clastos subangulares a subredondeados, matriz limosa, cuarzo cristalino, trazas de cuarzo rosado, con abundante materia orgánica carbonosa y láminas de lutitas gris oscuro, ocasionalmente, mica moscovita. Estas características litológicas son semejantes con las descritas por Van Veen (1972) en la localidad tipo. Se observa bioturbación y fracturas subverticales, parcialmente, abiertas. Su composición mineralógica está representada por: cuarzo (78,42 %); caolinita (10,23 %); oligoclasa-plagioclasa (5,60 %); moscovita (4,46 %); e illita (1,29 %). Con mediano porcentaje de porosidad y baja permeabilidad.

Formación Paují: Del Eoceno Superior. Litológicamente, consiste en una gruesa sección de lutitas marinas, fisiles, de color gris verdoso a negro que meteorizan a rojo púrpura, moderadamente duras, compactas, micromicáceas, reactivas al agua. Los minerales presentes en la muestra analizada son: cuarzo (45,54 %); caolinita (22,82 %); moscovita

(11,35 %); y amorfos (20,29 %). Presenta una alta porosidad y una baja permeabilidad (Muestra 14, cuadro 1).

Formación Palmar: Del Mioceno Medio. En la sección del río Playa Grande, se caracteriza por la presencia de arenisca gris claro, grano fino, bien escogida, bien cementada con sílica, clastos subangulares a subredondeados, matriz limosa, cuarzo cristalino y ahumado, trazas de cuarzo rosado, abundante presencia de óxido de hierro. Ocasionalmente, materia orgánica carbonosa y abundantes fracturas, parcialmente abiertas. Minerales presentes: cuarzo (77,60 %); y amorfos (22,40 %). Mediana porosidad y baja permeabilidad (Muestra 13, cuadro 1).

FIGURA 5 - ROCAS SEDIMENTARES. RELACIÓN, MINEROLÓGICA PORCENTUAL



GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

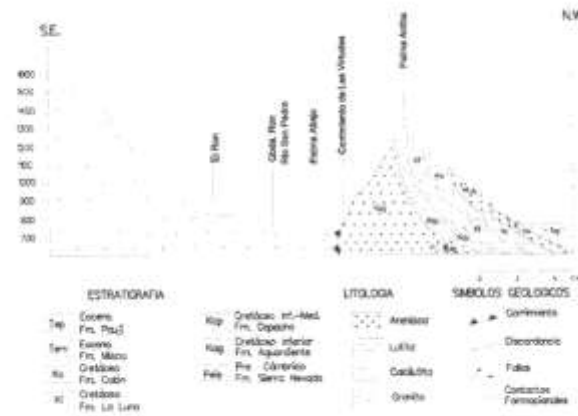
La conformación geo-estructural del área es muy compleja, caracterizada por fallas, pliegues y sistemas de diaclasas abiertas, latentes, cerradas, continuas, longitudinales, transversales y de cizallamiento, las cuales pueden definirse como planos de debilidad y por consiguiente puntos de arranque y desarrollo de movimiento de masa.

El rasgo estructural más prominente lo constituye el corrimiento de Las Virtudes, la cual era, probablemente, una falla normal de crecimiento, ya existente durante la sedimentación de Cretáceo y fue reactivada durante la Orogénesis Andina del Terciario superior (MARAVEN, 1991).

Esta falla inversa de ángulo alto tiene un desplazamiento vertical

cerca de 1.700 mts. y una elevada expresión topografía y según MARAVEN (1991), se encuentra localizada en el bloque estructural La Azulita – Caja Seca (figura 6). Se presentan, además, fallas menores como la falla La Culebra, dextral, con una orientación NW-SE, ubicada al oeste del área de estudio, con una longitud aproximada de unos 6.500 mts. que corta las rocas del cretáceo y las pone en contacto con las rocas del precámbrico. Destaca la zona de falla de Los Conejos, con desplazamiento normal, vertical y asumidas cortando las formaciones existentes.

FIGURA 6 - SECCIÓN QUEBRADA RON – RÍO SAN PEDRO



CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS GENERALES

Aunque el mayor porcentaje de las rocas aflorantes se encuentran clasificadas geotécnicamente como rocas fuertes, los análisis geotécnicos detallados de 22 muestras con sus respectivas gemelas meteorizadas, demuestran que dichas rocas presentan valores de capacidad de almacenamiento suficiente para recibir fluidos que ocasionan alteración mineralógica, meteorización y debilitamiento de la roca y su subsecuente proceso de acarreo.

Los análisis de porosidad y permeabilidad indican que las muestras estudiadas tienen valores entre 1,23 y 40,60 %, esta última referida a una muestra denominada "abanico de lava torrencial" que no fue el común de las muestras analizadas. La mayoría de los valores se ubican en rangos de mediana a baja porosidad, es decir, que tienen capacidad acumulativa moderada. Las muestras meteorizadas respectivas, presentaron una reducción de la porosidad, posiblemente, debido a la alteración de los minerales iniciales contenidos en la roca (cuadro 1).

CUADRO 1 - RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS ANALISIS CONVENCIONALES

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	Ka (md)	Porosidad (%)	Densidad de Granos
M1 FRESCA	<0,01	3,61	2,56
M1 METEORIZADA	<0,01	1,23	2,61
M2 FRESCA	0,806	8,92	2,61
M2 METEORIZADA	0,807	6,31	2,43
M3 FRESCA	<0,01	2,14	2,62
M3 METEORIZADA	<0,01	1,88	2,6
M4 FRESCA	<0,01	10,07	2,36
M4 METEORIZADA	<0,01	9,75	2,48
M5	<0,01	1,06	2,67
M6	<0,01	5,63	2,54
M7 HORIZONTAL	1,67	11,49	2,66
M7 VERTICAL	3,52	11,4	2,66
M8 FRESCA	1,25	5,72	2,57
M8 METEORIZADA	3	9,15	2,5
M9	1,5	3,51	2,64
M10	<0,01	1,77	2,58
M11	<0,01	1,34	2,69
M12	<0,01	4,06	2,47
M13 HORIZONTAL	0,53	10,86	2,67
M13 VERTICAL	0,27	10,18	2,66
M14	1,5	24	2,57
M15	4,79	10,54	2,65
M16	0,09	4,53	2,49
M17	2	9,56	2,32
M18	<0,01	3,44	2,45
M19	<0,01	8,25	2,76
M20	<0,01	6,91	2,52
M21	<0,01	1,52	2,6
M22	31	40,6	2,58

Los valores de permeabilidad obtenidos son bajos, con excepción de la muestra denominada "abanico de lava torrencial" la cual, presenta un valor nominal de permeabilidad alta y un bajo nivel de litificación. Una relación entre los valores de porosidad con sus respectivos valores de permeabilidad, evidencian capacidad de almacenamiento, mas no de infiltración, ya que los poros no están interconectados. El paso de fluidos a través de el volumen de poros se debe a la presencia de fracturas y diaclasas que permiten el avance de fluidos y ocasionan procesos de alteración profunda, desprendimiento y transporte.

Sin embargo, un total de seis muestras al someterse al análisis de porosidad y permeabilidad a diferentes presiones (200, 600, 1200, 5000, presión) presentaron un alto índice de permeabilidad lo cual comprueba la existencia de poros interconectados en las mismas (figuras 7 y 8).

FIGURA 7 - VARIACIÓN DE LA POROSIDAD TOTAL A DIFERENTES PRESIONES

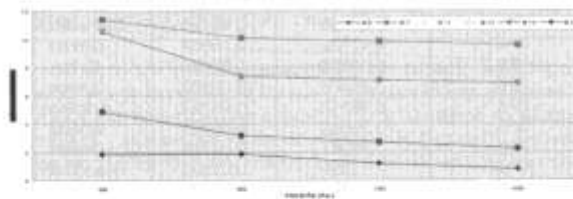
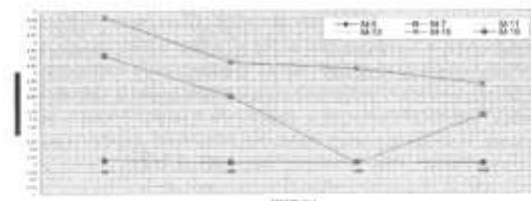


FIGURA 8 - VARIACIÓN DE LA PERMEABILIDAD TOTAL A DIFERENTES PRESIONES



En los análisis realizados en 21 muestras se nota un valor promedio de capacidad de intercambio catiónico muy bajo (cuadro 2), lo que representa una baja capacidad de intercambio y/o reacción catiónica; estos valores se confirman con los resultados de los análisis de defracción de rayos X (cuadro 3), que determinan la ausencia, en algunos casos, de bajos porcentajes de arcillas en las muestras seleccionadas. El grado de alteración que estas presentan se debe al contenido de feldespatos, el cual es un mineral inestable que ocasiona la descomposición de estas rocas ante la presencia de agentes meteorizantes. La relación feldespato-diaclasa-fracturas en conjunción con las precipitaciones determinan la causa por las cuales rocas de extrema dureza se comporten como débiles, alteradas y susceptibles a desarrollar movimientos de masa generalizados.

CUADRO 2 - CAPACIDAD DE INTERCAMBIO DE CATIONES (CIC)

Nº de la Muestra	C.I.C (meq/grs)	Qv (meq/ml)	Observaciones
Nº1	0,09213	0,00417	Dacita
Nº2	0,34467	0,06307	Cuarcita
Nº3	0,28122	0,02706	Granodiorita
Nº4	0,47622	0,10037	Gneiss
Nº5	0,08128	0,00699	Caliza
Nº6	0,49278	0,00972	Gneiss
Nº7	0,49112	0,09297	Arenisca
Nº8	0,32952	0,00634	Gneiss
Nº9	0,35391	0,01728	Gneiss
Nº10	0,15556	0,01866	Granodiorita
Nº11	0,08685	0,00296	Caliza
Nº12	0,23810	0,00860	Granodiorita
Nº13	0,16931	0,00025	Arenisca
Nº14	1,38218	0,11249	Lutita
Nº15	0,35135	0,06632	Arenisca
Nº16	0,31414	0,002697	Arenisca
Nº17	1,35948	0,00139	Lutita
Nº18	0,1300	0,00607	Caliza
Nº19	0,46417	0,00272	Gneiss
Nº20	0,86374	0,00973	Granito
Nº21	0,89194	0,12938	Granito

CUADRO 3 - DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

NÚMERO DE MUESTRA	% GRAVA	% ARENA			% LIMO	% ARCILLA
		GRUESO	MEDIO FINO	MUY FINO		
M-5	N.P.	99,2			0,8	N.P.
		2,18	29,77	55,76	11,49	
M-7	0,24	96,38			3,38	N.P.
		3,18	56,20	30,05	6,16	
M-11	0,09	96,71			1,2	N.P.
		3,13	38,89	45,39	11,30	
M-13	0,04	98,77			1,19	N.P.
		1,48	13,86	72,60	10,83	
M-15	0,08	99,15			0,77	N.P.
		15,13	44,03	44,32	5,67	
M-16	0,22	96,31			1,47	N.P.
		3,15	17,25	55,90	21,01	

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

CONDICIONES DE OCURRENCIA Y CARACTERÍSTICAS GEODINÁMICAS

La presencia de cicatrices alargadas con aspecto de arañazos en las vertientes de los valles de los ríos Oso y San Pedro, cárcavas muy profundas, que en su mayoría sobrepasan los 30 metros de altura y 50 de longitud, y numerosas áreas de denudación (figura 9), evidencian medios morfológicamente activos de elevada inestabilidad. La mayoría de las cicatrices se observan sobre rocas gneisicas y graníticas desprovistas de sus cubiertas de alteritas y con altos niveles de meteorización química debido a sus elevados contenidos de minerales reactivos al agua (MONTIEL, 2000). La roca *in situ*, conjuntamente con el manto de alteración, es removida por movimientos de masa a manera de deslizamientos y derrumbes, sobre todo, en las áreas deforestadas, con pastos y cultivos de subsistencia, al igual que lo observado en la región de Monte Carmelo por MONTIEL (1995). La granodiorita es una roca muy dura y resistente y forma filas y escarpes prominentes, sin embargo, los amplios sistemas de diaclasas maestras (numerosos planos de discontinuidad y debilidad), y la profunda meteorización en los taludes abruptos, favorecen procesos violentos como el "socavamiento lateral" en los valles de los ríos Oso, San Pedro y quebrada Ron (figura 10), lo que genera desequilibrios fluviales debido al aporte de sedimentos heterométricos a los cauces.

FIGURA 9 - CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA CUENCA MEDIA Y BAJA DEL RÍO OSO

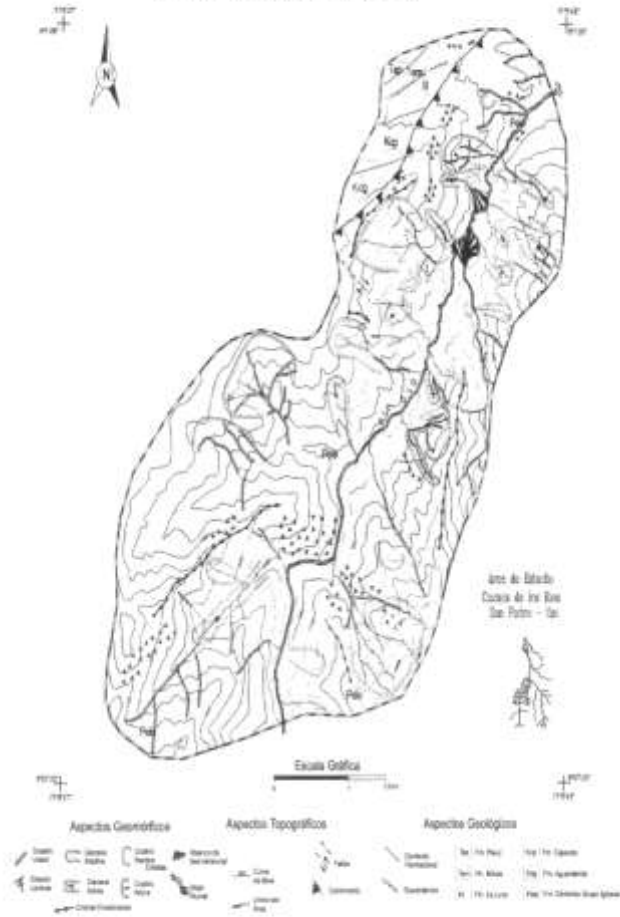


FIGURA 10 - CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO SAN PEDRO



Especial significado adquiere el alto grado de tectonización y deformación de las rocas aflorantes, lo que desarrolla amplias superficies constituidas de rocas cataclásticas, relacionadas al intenso fallamiento presente en la zona, muy parecidas a lo observado en otras localidades de los Andes venezolanos, con sistemas de diaclasas que favorecen la infiltración y retención de agua provocando procesos de "sufusión mecánica", asociados a movimientos de masa (FERRER, 1992), que unido a las elevadas pendientes (más de 60%) y las precipitaciones extremas, han actuado como mecanismos detonantes.

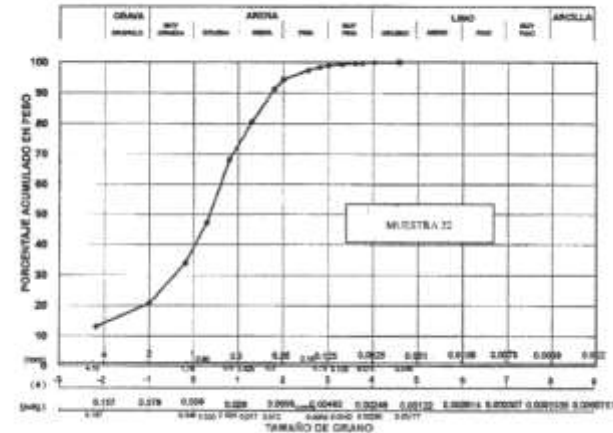
El valle del río Oso se encuentra colmatado de clastos de grandes dimensiones sedimentológicamente mal escogidos, altamente heterométricos, de una matriz de textura gravo-arenosa (figura 10), friable, poco coherente y carente de estructuras sedimentarias, con una alta porosidad y permeabilidad, características típicas de lagunas de obturación originadas por precipitaciones intensas (FERRER, 1999). La mayor parte de este material granular, es marcadamente subangular, con predominio de bloques de granito blanco y gneis biotítico de grano medio, con diámetros aproximados de 1.50 a 2.00 mts., probablemente, asociados con "lujos de detritos" o abanicos de lavas torrenciales (figura 7), evidenciando la actividad recurrente de avalanchas torrenciales en épocas pasadas. Estas áreas constituyen las zonas-fuentes, detonadas por una precipitación intensa de 180 mm²/hora (MARNR, 1987), a partir de la cual se generó la avalancha torrencial del río Oso, como resultado de la concentración de material detrítico. Las rocas precámbricas (Grupo Iglesias, principal zona-fuente), presentan los mayores espesores y ocupan un área de 37,45 %, en relación al área total y las posiciones más elevadas del relieve. Estas zonas coinciden con el piso altitudinal ocupado, normalmente, por la selva nublada entre 1000/1200 mts y 1500/1600 mts (HUBER, 1986). Los suelos desarrollados en este tipo de ambiente bioclimático, son de extrema vulnerabilidad a los procesos de arrastre de masa de tipo solifluidal (AUDEMARD et al., 1987).

Los aludes de escombros que interrumpieron la red de drenaje especialmente, el río Oso, tiene propiedades geológicas de flujos de alta densidad, con gran capacidad de arrastre y expansión y se encuentran relacionados a crecidas detríticas o "aluviones" más que a flujos de aguas claras, característico de crecidas hidrológicas ordinarias (SAURET, 1987).

Este flujo sobresaturado, controlado por la intensa circulación del agua de precipitación alimentada por el río Oso, colapsó en las paredes de las rocas sedimentarias, acarreó grandes bloques de areniscas y calizas de las formaciones Aguardiente, Misoa y Palmar y enormes troncos de árboles, lo que produjo el "hinchamiento del flujo torrencial y la

expansión lateral" que impactó a la población de Santa María, acumulando forzadamente bloques graníticos de 1,81 x 2,66 x 1,60 mts., de 0,7 de redondez (subangulosos), según la gráfica de Powers, Krumbain y Sloess (CORRALES, 1977); ortocuarcitas de aproximadamente, 1,60 x 1,60 x 2,90 mts. (angulosas) y grandes bloques de areniscas, calizas y esquistos de 0,9 de esfericidad (angulosos), que fueron responsables del "fenómeno natural catastrófico" del 13 de octubre de 1987.

FIGURA 11 - DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA . MUESTRA 22. RELACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA Y LOS NIVELES DE VULNERABILIDAD GEOLÓGICA



Basados en la clasificación propuesta por FERRER y DUGARTE (1990), MONTIEL y ACOSTA (1999) definen tres niveles de estabilidad relativa para el sector referido, fundamentados en datos obtenidos a través de la inspección de campo, fotointerpretación y del análisis geotécnico (cuadro 4).

Como se señaló en el comienzo, la meteorización química, especialmente la "oxidación", juega un papel importante ya que al desmejorar la calidad de las rocas, se afecta su "respuesta geotécnica", aumentando, de manera significativa, el nivel de estabilidad del terreno. En este

proceso actúa, también, la deforestación facilitando, la infiltración del agua en el macizo rocoso, y la erosión del suelo por escurrimiento superficial. La inestabilidad del área se agudiza en presencia de lluvias excepcionales, como la ocurrida en octubre de 1987, ya que el incremento de la presión que ejerce el agua en las diaclasas, en combinación con fuerzas de filtración, origina deslizamientos en bloques muy destructivos, semejantes a los reportados por VARGAS (1999) en la Sierra del Mar, Brasil y por PNUD (2000) en el Litoral Central venezolano.

CUADRO 4 - ESTIMACIÓN VISUAL DE LA CALIDAD DE LA ROCA Y LOS NIVELES DE VULNERABILIDAD GEOLÓGICA, SECTOR: SANTA APOLONIA-MONTE AVENTINO

CLASIFICACIÓN TENTATIVA DE LOS NIVELES DE VULNERABILIDAD DE LOS TERRENOS	GRADO DE RESISTENCIA DE LA ROCA SANA	INTENSIDAD DE LA METEORIZACIÓN	ANCHO PROMEDIO DE LOS PLANOS DE DIACLASAS Y FRECUENCIA	CONTINUIDAD LATERAL O VERTICAL Y TIPOS DE DIACLASAS	PROCESOS GEOMORFICOS PREDOMINANTES
Terrenos de Inestabilidad Crítica	Rocas ígneas con tenor superior a 50% de cuarzo (PSI 2000-2500). Son unidades frecuentemente sideradas como moderadamente fuertes a fuertes, en condiciones geotectónicas adversas.	Moderadamente a muy fuerte (Clase III). En zonas donde permanece el basalto primario, altamente meteorizado (Clase IV) en zonas con intervención antrópica.	Altemente variables hasta de 4 cm. Frecuencia: Muy alta, más de 15 diaclasas/m ² .	Continuas Abiertas Cercadas Longitudinales Transversales De colapamiento.	Desmoronamiento y flujos activos: Flujos de detritos masivos. Vaciado lateral. Escurrimiento basal. Ineficiente circulación de agua a través de las diaclasas. Pendiente Crítica >40%.
Terrenos Inestables	Rocas sedimentarias (PSI 400-1000), metamórficas (1000-6000) e ígneas (2000-5000). De muy débiles a moderadamente débiles.	Protección las clases I y II. Ligera a moderada meteorización (débiles a moderadamente débiles a moderadas).	Variables Superior a los 15 mm. Frecuencia: Alta, de 10 a 15 diaclasas/m ² .	Continuas Abiertas Longitudinales	Desmoronamiento y deslizamiento de masas. Deslizamiento lateral. Cárcavas profundas. Pendiente Crítica >40%.
Potencialmente Inestables	Rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas. Moderadamente fuertes, en zonas cubiertas por mantos vegetales espesos. En zonas de alta infiltración hídrica, se comportan como rocas moderadamente débiles (PSI 4000-6000).	Moderadamente Meteorizadas. Clase II.	Altemente variables, entre de 5 a 10 mm. Frecuencia: de 4 a 7 diaclasas /m ² .	Continuas Cercadas Longitudinales Intermisionales Intermisionales	Desmoronamiento de masas. Deslizamiento lateral. Cárcavas activas en áreas intervenidas Anéclisis.

NOTA: *Según Escala de Dureza de la Roca de "JENNINGS".

Todas estas causas negativas actúan en la cuenca del río San Pedro. El efecto de ellas origina el desarrollo de numerosos movimientos de masa, desde la reptación hasta desprendimientos másivos de materiales rocosos que ocurren de manera progresiva pudiendo convertirse en avalanchas o flujos. El carácter recurrente de estos procesos determina una geodinámica muy activa, con altos niveles de peligrosidad para la población allí emplazada (figuras 10 y 11).

A partir de variables como: vegetación, precipitación, litología, y estructuras geológicas, drenaje, geomorfología, pendiente y usos de la tierra, se diseñó una matriz espacial que evidencia que la mayor dinámica y el mayor índice de vulnerabilidad, se presenta en la cuenca media y baja del río Oso y en la sección baja del río San Pedro (figuras 12 y 13), donde se desarrollan movimientos de masa generalizados. Esta característica de "inestabilidad crítica" se relaciona, además, con las condiciones climáticas de la zona y con las prácticas agrícolas no conservacionistas que han reducido, considerablemente, la vegetación natural, debido a que la tala y la quema se realiza de forma indiscriminada en áreas de altas pendientes, lo que aumenta la ocurrencia de procesos erosivos violentos.

CONCLUSIONES

1. Las características litológicas, los amplios sistemas de diaclasas, los altos niveles de meteorización, unido al clima, evidencian altos índices de peligrosidad geomorfológica que han aumentado porque actualmente existe un proceso espontáneo de reubicación de la población, en el mismo lugar donde existió Santa María, y se ha intensificado la intervención antrópica en la cuenca media de los ríos San Pedro y Oso, especialmente, en este último, donde se evidencian prácticas agrícolas no conservacionistas que alteran el frágil paisaje de la zona.

2. Las condiciones morfogénicas actuales, de la región y la ocurrencia del flujo torrencial de 1987 del río Oso, destacan la existencia de un alto índice de riesgo de movimientos de masas en las vertientes montañosas ocupadas por las poblaciones de Santa Apolonia, Santa María y Monte Aventino.

3. La ocurrencia de precipitaciones torrenciales anómalas y/o eventos sísmicos significativos pueden generar desequilibrios fluviales como represamientos, lagunas de obturación, colapsos y olas de descarga; susceptibles de desencadenar flujos detríticos muy peligrosos, de gran capacidad de arrastre.

04. Finalmente, se recomienda establecer un "programa de monitoreo regional", con énfasis en el seguimiento de las lluvias y su correlación con la ocurrencia de los movimientos de masa, que permita "evaluar y predecir" el impacto de estos fenómenos naturales. A la vez, se debe diseñar e implementar un "plan local de ordenación territorial", donde se establezcan controles a la intervención antrópica no planificada, especialmente a la relacionada con la actividad agrícola: tala, quema, cultivos en terrenos de pendiente, construcción de vías de penetración y de viviendas en sitios inadecuados, entre otros.

FIGURA 12 - NIVELES DE ESTABILIDAD RELATIVA, CUENCA MEDIA Y BAJA DEL RÍO OSO

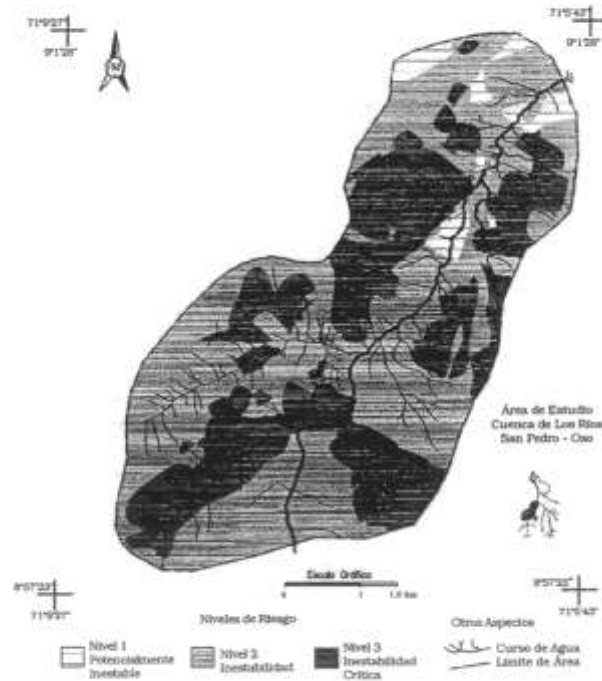
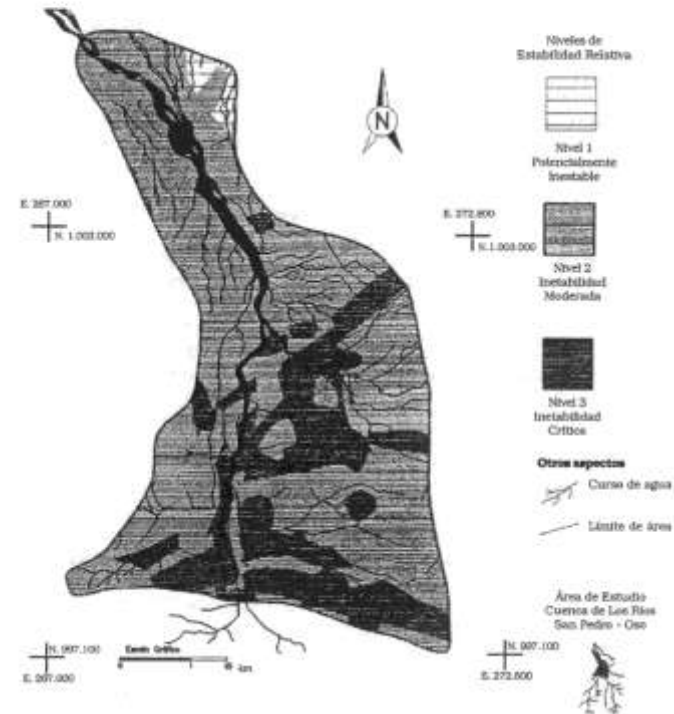


FIGURA 13 - NIVELES DE ESTABILIDAD RELATIVA, CUENCA BAJA DEL RÍO SAN PEDRO



AGRADECIMIENTO

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia (CONDES) por el apoyo para la realización de esta investigación. Especial gratitud al T.S.U. en Geología, Humberto Linares por su valiosa colaboración.

REFERENCIAS:

- AUDEMAR, I.; SANTIS, F.; MONTES, L.; LUGO, M.; SINGER, A. *El Alud Torrencial del 06-09-1967 del Río El Limón, al Norte de Maracay, Edo Aragua*. Caracas: Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS)/ Departamento de Ciencias de la Tierra, 1967. Informe inédito, p. 11.
- CANELON G.; RAMÍREZ, C. *Geología de la Región de Caja Seca, Estados Mérida y Trujillo*. Venezuela: Ministerio de Energía y Minas/ Dirección de Geología / División de Exploraciones Geológicas / Zona Occidental, 1973. p. 58.
- CORRALES, I. *Estatigrafía*. Madrid: Rueda, 1977. 718 p.
- FERRER, C.; DUGARTE, B. Condiciones de vertiente y estabilidad relativa: estudio de caso en la cuenca del río Aracay, Andes venezolanos. *Rev. Geog. Venez.*, v. 32, p. 117-142, 1990.
- FERRER, C. El deslizamiento de Buena Vista. Un gran movimiento de masa asociado con el fallamiento activo de los Andes Venezolanos. *Rev. Geog. Venez.*, v. 33, n. 1, p. 95-156, 1992.
- _____. Represamientos y rupturas de embalses naturales (lagunas de obturación) como efectos cosísmicos: algunos ejemplos en los Andes Venezolanos. *Rev. Geog. Venez.*, v. 40, n. 1, p. 109-121, 1999.
- GÓMEZ, H.; MATHER, P.; BRADSHAW, R. Estudios de desastres naturales en los Andes Venezolanos usando información estimada desde sensores remotos y data digitalizada. In: CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE LA GEOGRAFÍA Y SU ENSEÑANZA, 3., Trujillo, *Resumen...* Trujillo: [s. n.], 2000.
- HUBER, O. Las selvas nubladadas de Rancho Grande: observaciones sobre su fisonomía, estructura y fenología. In: HUBER, O. (Ed.). *La selva nublada de Rancho Grande*. Parque Nacional "Henri Pittier". Caracas: Fondo Editorial Acta Científica Venezolana, 1986. p. 288.
- KOVISARS, L. Geología de la parte Norte Central de Los Andes Venezolanos. In: CONGRESO GEOLÓGICO VENEZOLANO, 4., 1972. Caracas. *Resumen...* Caracas: [s. n.], 1972. v. 2, p. 817-859.
- LOBO, V. Y.; PORTILLO, M. Utilización de metodologías para la determinación de prioridades en cuencas hidrográficas en estudios con fines conservacionistas. Caso específico cuenca del río San Pedro. In: CONGRESO VENEZOLANO DE GEOGRAFÍA, 2., 1990, Mérida. *Resumen...* Mérida: [s. n.], 1990. p. 403-417.
- MALDONADO, H.; MONTIEL, K. Y.; ACOSTA, C. Los mapas digitales del sector Santa Apolonia-Monte Aventino. In: CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE LA GEOGRAFÍA Y SU ENSEÑANZA, 3., 2000, Trujillo. *Resumen...* Trujillo: [s. n.], 2000.
- MARAVEN. *Levantamiento geológico de las líneas sísmicas del Flanco Norandino*. Caracas, Venezuela, 1991. p. 108. Informe final.
- MARNR. *Informe de la creciente en el río San Pedro en la cuenca alta, Zona Sur del Lago de Maracaibo del 13/10/87*, Mérida, zona 16: Div. Tec., Dep. Infraestructura, Planificación y Ordenación del Territorio, n 1987. 39 p. Informe Inédito.
- MONTES, L. Avanchas y aludes torrenciales en la cuenca del Río El Limón. In: CONGRESO GEOLÓGICO VENEZOLANO, 7., 1989, Barquisimeto. *Resumen...* Barquisimeto: [s. n.], 1989. v. 3, p. 1231-1252. Mem.
- MONTIEL, K. Características geológicas y geomorfológicas de la región de Monte Carmelo. Flanco Norandino. *Rev. Geog. Venez.*, v. 36, p. 31-61, 1995.
- _____; ACOSTA, C. Vulnerabilidad geológica y riesgo natural en la cuenca del Río San Pedro. In: JORNADAS VENEZOLANAS DE IMPACTO AMBIENTAL, 1., 1999, Maturín. *Resumen...* Maturín: [s.n.], 1999.
- _____. El riesgo geológico y procesos asociados en la Región de Santa Apolonia-Monte Aventino. Edo Mérida. In: CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE LA GEOGRAFÍA Y SU ENSEÑANZA, 3., 2000, Trujillo. *Resumen...* Trujillo: [s. n.], 2000.
- PNUD. *Efectos de las lluvias caídas en Venezuela en diciembre de 1999*. Caracas: CDB Publicaciones, 2000, p. 224.

OCEI. *El Censo 90 en Mérida*. Caracas: Oficina Central de Estadística e Informática, 1994, p. 776.

SAURET, B. Coulées Boueuses, Laves Torrentielles. *Bull. Liais. Lab. Ponts et Chaussées*, Paris, n. 150-151, p. 65-77, 1987.

SCHUBERT, C. Geología de la Región de Barinitas-Santo Domingo, Andes Venezolanos Surorientales. *Bol. Geol.*, v. 10, n. 19, p. 183-261, 1968.

SINGER, A.; ROJAS, C. Y.; LUGO, M. *Inventario nacional de riesgos geológicos*. Estado preliminar. Caracas: Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), 1983, p. 128.

USECHE, A. Geología de la Región de La Azulita. In: CONGRESO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGÍA, 2., 1973. *Resumen...* Caracas: [s. n.], 1973. v. 3.

VAN VEEN, F. Ambientes sedimentarios de las formaciones mirador y misoa del eoceno inferior y medio en la cuenca del lago de Maracaibo. In: CONGRESO GEOLÓGICO VENEZOLANO, 4., 1972, Caracas. *Resumen...* Caracas: [s. n.], 1972. v. 2, p. 1073-1104. Mem.

VARGAS, M. Revisión histórico-conceptual de los deslizamientos de la Sierra del Mar. *Solos e Rochas*, São Paulo, v. 22, n. 1, 1999.