

**JORNADA IBEROAMERICANA DE RIESGOS POR
INUNDACIÓN Y DESASTRES NATURALES
AECI/CYTED**

Antigua de Guatemala del 5 al 9 de junio de 2006

**GEOTECNIA DE LOS SUELOS LATERITICOS Y SU
INCIDENCIA EN LOS RIESGOS GEODINAMICOS.**

**Rafael Guardado Lacaba
Red Temática A4D CYTED**

RESUMEN.

En América Latina y el Caribe ha habido en los últimos años un incremento de los desastres naturales, muchos de ellos asociados a los deslizamientos de laderas y taludes; flujos, derrumbes, desplomes, y deslizamientos propiamente dichos. Estos procesos y fenómenos geodinámicos se relacionan con: los suelos como material deslizable, la lluvia como el causante de las cargas hidrostáticas e hidrodinámicas, el lubricante, los sismos y volcanes como fuentes de energía interna, etc.

En el presente trabajo se brinda un análisis de la geotecnia de los suelos lateríticos, respondiendo a que éstos son muy diferentes a las de los transportados, así como la ocurrencia de los riesgos geodinámicos y su relación con estos materiales. Se tomó como estudio de caso el de las lateritas de Moa, por sus condiciones ingeniero geológicas.

JORNADA IBEROAMERICANA DE RIESGOS POR INUNDACIÓN Y DESASTRES NATURALES AECI/CYTED

Antigua de Guatemala del 5 al 9 de junio de 2006

GEOTECNIA DE LOS SUELOS LATERITICOS Y SU INCIDENCIA EN LOS RIESGOS GEODINAMICOS.

**Rafael Guardado Lacaba
Red Temática A4D CYTED**

INTRODUCCIÓN

Los procesos geodinámicos que afectan a la superficie terrestre pueden dar lugar a movimientos del terreno con diferentes características, magnitudes, velocidades y gravedad. De todos ellos, los que tiene lugar con mayor frecuencia son los movimientos en taludes y laderas potencialmente inestables, los cuales pueden ocasionar gravísimos daños económicos y humanos. Sirva de ejemplo de la peligrosidad de estos fenómenos lo ocurrido en 1998 en Centro América, como consecuencia del huracán Match, los derrumbes y deslizamientos en Venezuela 1999 con mas de 50 000 muertos., y los recientes movimientos del Caribe, Ecuador y Colombia.

Los desastres por movimiento de taludes y laderas prácticamente han estado reportados en todos los países de Ibero América y el Caribe. Nuestros países han sufrido en los últimos años este impacto al menos en una ocasión, con gran intensidad y graves consecuencias para el desarrollo económico – social. España y Portugal, América Latina y el Caribe son regiones que poseen una variedad de clima, geología, tectónica, sismología, y condiciones ingeniero geotécnicas que evidencian frecuentemente la manifestación de la energía liberada por la naturaleza y la actividad humana contribuye a su incremento, de ahí la necesidad de un estudio multidisciplinario. Si bien no todos los deslizamientos producen catástrofes, los daños causados por muchos pequeños pueden ser iguales, a o exceder, al impacto de un solo gran deslizamiento. No existen en la actualidad instrumentos para reducir la vulnerabilidad de sus causales: crecimiento demográfico, migraciones, concentración de la población, deficiente preparación frente a situaciones de desastres, falta de un ordenamiento territorial, degradación ambiental, cambios al medio físico, y otros. La evaluación de peligro es posible y se puede hacer en vez de la evaluación del riesgo; las evaluaciones de peligro se pueden cartografiar y permiten que diferentes áreas sean evaluadas respecto a su relativa susceptibilidad a deslizamientos.

La red temática 405RT0273 de CYTED, para el estudio y evaluación de la peligrosidad y gestión de los riesgos y desastres por movimientos de masas en taludes y laderas, establece como objetivo general, evaluar la probabilidad de la ocurrencia de desastres, así como gestionar los mismos, minimizando tanto la ocurrencia de éstos como los daños económicos y humanos que conllevan, y proyecta los siguientes objetivos específicos:

1. Dirigir la investigación cooperada, basada en la capacidad necesaria a los países iberoamericanos, para la evaluación, gestión, control y mitigación del riesgo de deslizamientos. La necesidad de una Estrategia Iberoamericana para la Reducción de Desastres (ISDR) en materias de movimientos de masas en taludes y laderas inestables.

2. Realizar estudios y caracterizar los riesgos y desastres por movimientos de masas en taludes y laderas inestables que se producen para diferentes condiciones, naturales o antrópicas; a partir de lo cual se elaborarán un conjunto de materiales: normativas, instrucciones técnicas y metodológicas, metodologías de investigación y otros, que permitan hacer el pronóstico, evaluación y su control con una mayor confiabilidad, lo que posibilita la disminución de las afectaciones económicas y sociales que ellos producen.

En los últimos años los gobiernos de América Latina y el Caribe están dando pasos importantes hacia un futuro más seguro. En la Reunión Hemisférica del Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (DIRDN), celebrada en Costa Rica en junio/99, los representantes de los países de la región hicieron un llamamiento para la adopción de políticas e inversiones destinadas a reducir la vulnerabilidad, como parte integral de la planificación para el desarrollo.

La ocurrencia de desastres naturales y en particular los relacionados con los movimientos de terrenos, están asociados a los tipos suelos que conforman este medio. Los suelos lateríticos se derivan de los procesos de meteorización y alteración de las rocas sin que ellos experimenten movimiento alguno. (fig.1) Los estudios de Geotecnia se han desarrollado mayormente a partir de trabajos realizados en suelos de climas no tropicales, los cuales no son completamente válidas en el caso de suelos lateríticos, debido a diferencias que existen en la constitución y estructura de los mismos y de las formaciones residuales.

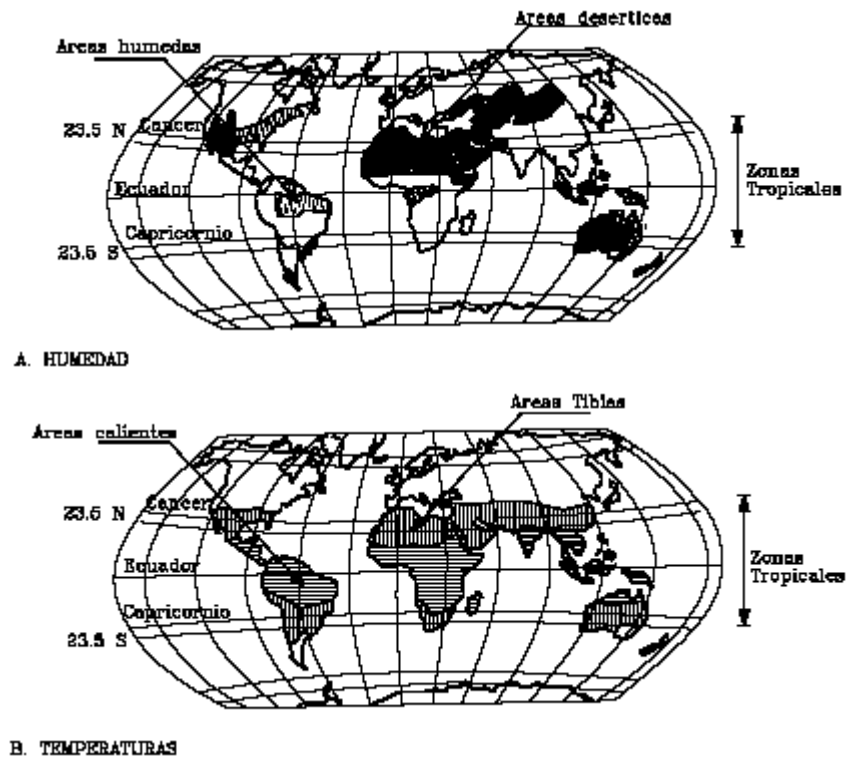


Fig.1 Localización de las zonas tropicales y distribución de los suelos lateríticos. (Jaime Suárez Díaz, 1998)

Las características de los suelos de corteza de meteorización son muy diferentes a las de los suelos transportados. Las propiedades de estos suelos son controladas por la fábrica micro o macro, las juntas y demás detalles estructurales, los cuales son parte integral de la masa de roca original y heredados por el suelo. De ahí la importancia del análisis de los riesgos geodinámicos en particular los asociados a los movimientos de laderas y taludes en los suelos lateríticos ya que la gran mayoría de los deslizamientos de la región del Caribe y Centroamérica se producen en ellos.

Una roca es capaz de resistir todos los efectos generados por los fenómenos hidrometeorológicos, pero un suelo laterítico, una roca meteorizada, y fracturada, siempre será susceptible a la erosión, a la saturación y a los deslizamientos, ya que la presencia del agua tiende a deteriorar sus propiedades geomecánicas. La estabilidad de las laderas y taludes es compleja en un medio tropical, debido a que la mayoría de los suelos son residuales, el régimen hidrológico se convierte en variable y complicado, la humedad ambiental y la temperatura muy altas, la geología, el relieve, los procesos y fenómenos geológicos y los demás factores ambientales generalmente, desfavorables.

Importantes obras de ingeniería como las hidrotecnias, viales, puentes, carreteras, canales de riego, taludes, urbanas e industriales, mineras, canteras etc., requieren de un conocimiento de la susceptibilidad frente a los fenómenos geológicos e hidrometeorológicos, conociendo así los cambios que se operan en el medio geológico y porque sólo así podrían incluirse en los diseños las medidas de protección que garanticen su durabilidad más allá de los frecuentes fenómenos naturales a los que estamos expuestos. (fig.2)



Fig.2 Deslizamientos en suelos de corteza de meteorización en la carretera central de Republica Dominicana. (Rafael Osiris de León 2004)

FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESOS DE LA METEORIZACION:

EL CLIMA Y SU EFECTOS

Dos elementos son claves en la formación de los suelos lateríticos, el primero, la roca madre y el segundo, el clima. El clima ejerce una profunda influencia en la meteorización, especialmente la humedad relativa y la temperatura. Las reacciones químicas prácticamente se duplican cada aumento de 10° C de temperatura. La influencia de la temperatura y la humedad en la descomposición de la roca en Sudáfrica ha sido relacionada por Weinert's (1974) por medio de un índice climático:

$$N = \frac{12EJ}{Pa}$$

Donde:

EJ: evaporación en el mes de enero, el mes más cálido.

Pa = Lluvia anual.

El valor de $N = 5$ indica la transición de las condiciones cálidas subhúmedas, en las cuales la meteorización química predomina y la condición caliente semiárida en donde predominan los fenómenos físicos. Cuando N es menor de 5 se deben esperar grandes espesores de suelo residual.

En las zonas tropicales y subtropicales la superficie de la tierra está cubierta por una vegetación densa que facilita la infiltración del agua, por aumento de los tiempos de retención de la misma, a su vez son expuestas a fuertes lluvias y pueden aparecer cortezas de meteorización potentes de varios cientos de metros.

Para zonas como Moa en Cuba donde existe un clima variado con altas precipitaciones, las rocas están muy agrietadas y los valores de N están en estos entornos se presentan grandes potencias de cortezas lateríticas ferro níquelíferas ricas en níquel y cobalto

AGRIETAMIENTO.

El agrietamiento, su densidad y espaciamiento afecta el proceso de meteorización y donde estas discontinuidades sean mayores, mayor será la potencia de los suelos. Las juntas tienen un papel importante en el fallamiento de los suelos, si se encuentran abiertas actúan como conductores de agua y activadores de presiones de poro; por lo general, se encuentran más abiertas en la superficie que a profundidad. El agua al pasar a través de la junta produce meteorización de sus paredes, formando arena o arcilla que forma superficies de debilidad. Adicionalmente, el agua que viaja a lo largo de las juntas puede llevar arcilla en suspensión que es depositada en ellas y las discontinuidades se hacen muy peligrosas si se encuentran rellenas de arcilla. La resistencia a lo largo de una estructura heredada puede ser la mitad de la resistencia en el suelo residual intacto y cita casos en que la resistencia es de solamente 1/3 de la resistencia a través del suelo. Las superficies de falla pueden coincidir con una junta o puede comprender varias familias de juntas diferentes formando bloques deslizantes.

VEGETACION

Las plantas y organismos vivos, ayudan en el proceso de meteorización química. Otros elementos ambientales pueden incidir en la meteorización, pero sobre todo las condiciones de humedad y temperatura.

RELIEVE.

La topografía es un factor muy importante. En zonas de alta montaña predominan los procesos de meteorización mecánica, especialmente por acción del alivio a descargue de geopresiones, los cambios de temperatura, los procesos de humedecimiento y secado y la cristalización de materiales.

La meteorización depende de la topografía del terreno, siendo mayor en los sitios de menor pendiente y la profundidad de la meteorización aumenta hacia abajo del talud.

EL FACTOR AGUA: LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

El perfil de meteorización y las propiedades de suelos lateríticos dependen principalmente del régimen de lluvias y en general del ambiente climático de su Formación. En zonas de alta precipitación la relación de vacío es alta y existe una dependencia directa de la relación de vacío con la precipitación (fig. 3)

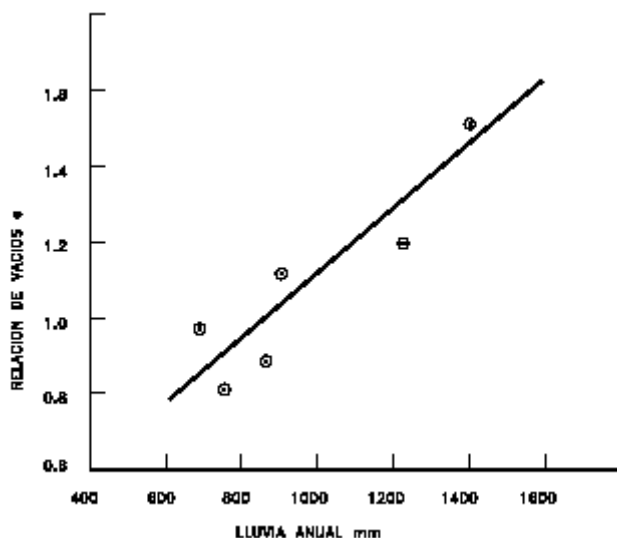


Fig. 3 Relación entre la relación de vacío y la precipitación en un granito altamente meteorizado y lavado, en Sudáfrica. (Bligh 1997).

El paso del agua subterránea a través de las rocas y suelos provoca la descomposición y desintegración de los materiales. En los ambientes tropicales en los cuales prevalecen altas temperaturas y lluvias abundantes, la meteorización de las rocas es más intensa caracterizándose por la descomposición rápida de los minerales de color claro, los feldespatos y produciéndose la concentración del hierro y el aluminio y la remoción de la sílice. Se conoce que la caolinita disminuye su contenido con el aumento promedio de las lluvias. En estudios realizados en las islas del Caribe Oriental, San Vicente y las Granadinas, Dominica, la meteorización de las rocas y cenizas volcánicas conducen a la formación de un material arenoso muy fino, y otros dan lugar a arcillas del tipo montmorillonita muy plástica.

En la problemática del análisis riesgo geológico y hidrometeorológico, existen tres conceptos que desempeñan un papel importante; la estructura heredada de las rocas meteorizadas, el perfil de meteorización, y el efecto del agua subterránea.

En casi todas las rocas ígneas y metamórficas, el perfil de meteorización comprende una capa de suelo residual, una de roca meteorizada y la roca fresca, (fig.4) Muchos de los problemas de las obras ingenieriles, en particular las lineales, carreteras, cortes, que atraviesan suelos residuales provienen de la transición de roca meteorizada, comprendida entre la capa superior del suelo y la roca sana (Carretera Panamericana en el Ecuador, carretera Guayaquil/Cuenca).

La mayor parte de los problemas de inestabilidad de laderas y taludes con suelos residuales ocurren en la capa de suelos superficial y en la mayoría de los casos debido a los fenómenos relacionados con el incremento de la presión de poro (flujo por lluvias), o en la capa intermedia de roca meteorizada, laterita lixiviada, por la influencia de las grietas, diaclasas o fracturas heredadas de la roca original. En estos casos es común la existencia de fuertes fluctuaciones estacionales de los niveles piezométricos en las distintas capas de suelos que lo forman. De esta manera, las aguas subterráneas y sus flujos desempeñan un papel fundamental en la inestabilidad de los terrenos con suelos lateríticos.

PROPIEDADES FÍSICO – MECANICAS DE LOS SUELOS LATERÍTICOS,

RESISTENCIA AL CORTANTE DE LOS SUELOS LATERÍTICOS.

En la peligrosidad de los terrenos por deslizamientos la propiedad de los suelos de corteza de meteorización tiene una importancia clave, así los indicadores geotécnicos serán los más empleados en el análisis del riesgo por deslizamientos. La resistencia al corte de las rocas y suelos que componen el talud o ladera con estos tipos de suelos es muy difícil de estudiar analizando las teorías tradicionales de la mecánica de suelos y rocas, es muy importante en la inestabilidad de las laderas y taludes, en los surgimientos de deslizamientos, erosión, hundimientos, inundaciones etc., en los terrenos donde se distribuyen suelos residuales.

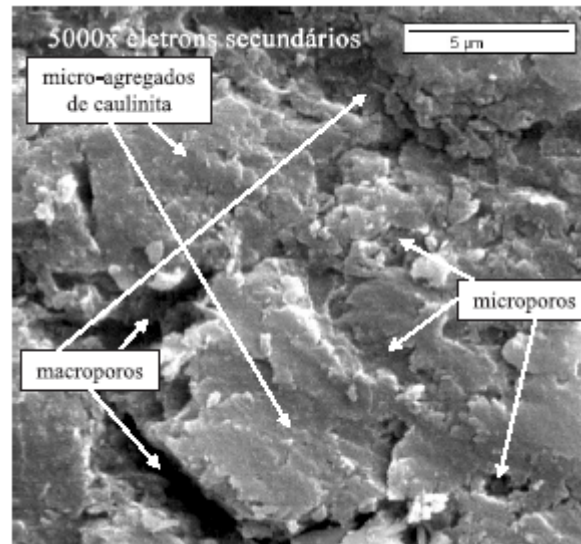


Fig. 4 Imagen de microscopía electrónica, de suelos lateríticos. (Soares, R. M. 2005.)

En los suelos lateríticos se producen cambios entre la resistencia al corte y el índice de poro de los suelos, este último es de un rango amplio lo que hace que disminuya su resistencia al corte, de igual forma estos suelos poseen una mineralogía que estará en dependencia de la resistencia de sus granos. (Fig. 4). La cohesión y fricción interna varía de acuerdo al tipo de suelo, al contenido de minerales, tamaño y forma de las partículas, humedad, presión de poros y el desarrollo geológico histórico evolutivo de la roca.

Los suelos tropicales poseen una potente corteza de meteorización. Esta corteza posee propiedades y cambios en su comportamiento según el tipo de región, y condiciones ingeniero geológicas del medio. Podemos de manera general distinguir:

1. suelos lateríticos. Parte superior de la corteza
2. suelos saprolíticos, parte inferior de los lateríticos
3. rocas lixiviadas, rocas con un alto grado de alteración
4. roca fresca;

La resistencia al cortante es menor en los suelos o en las rocas frescas. Entre los suelos lateríticos y la roca fresca existe una zona de lixiviación, una zona de cambio que es una zona de transición y precisamente es ahí donde aparecen superficies de fallas, fracturas, grietas etc., de baja resistencia que facilitan la posibilidad del movimiento del terreno y desarrollan los peligros por deslizamientos. En estos existen discontinuidades relicticas, que contribuyen a la disminución de la resistencia al corte y a la inestabilidad de la ladera o talud, pero mas peligroso aun es cuando estas grietas están rellenas de un material que con el agua funciona como lubricante, reduciendo la resistencia al corte, que se ve afectada por la humedad. Se observa en ocasiones disminución de hasta 50% de la cohesión y 30% del ángulo de fricción por el proceso de saturación (Foss, 1973).

De los estudios realizados por Jaime Suárez Díaz, 1998, las discontinuidades con ángulo de fricción para presiones efectivas de aproximadamente 300 se comportan en la práctica como si el ángulo de fricción fuera de menos de 15° , al producirse presiones de poros "preferenciales" a lo largo de las discontinuidades de valores superiores a más de 3 metros de columna de agua. (fig.5.)

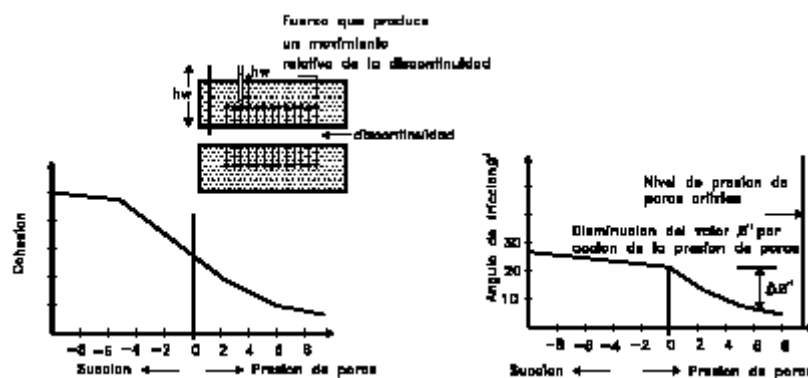


Fig.5 Variación de la cohesión y el ángulo de fricción interna dentro de una discontinuidad por el aumento de la humedad y la presión de poros. (Jaime Suárez Díaz, 1998).

La cohesión de los suelos lateríticos es una propiedad determinante en el comportamiento de estos, precisamente en aquellos compuestos por arcillas montmorillonitas, nontroníticas (Moa, Holguín Cuba). Por otro lado la fricción interna va a disminuir con el avance del proceso de meteorización y los cambios bruscos que se producen en ellos. En los suelos lateríticos de las islas del Caribe como St. Vicente y las Granadinas, Dominica, con un alto contenido de material volcánico, tienen un alto coeficiente de fricción interna, no son arcillosos pero el tamaño de los granos es muy pequeño, capaces de pasar por el tamiz 200. En los ensayos realizados se han encontrado variaciones de 32° a 49° , en las lateritas de Cuba se han hallado valores en la capa formada por ocre inestructural de 20 a 32 grados, sin embargo en las arcillas los valores disminuyen a 10-17 grados, lo cual evidencia que los análisis de evaluación de riesgos no deben realizarse por la manera convencional y tradicional de la Mecánica de Suelos.

PROPIEDADES ACUÍFERAS DE LOS SUELOS LATERÍTICOS

En un perfil de meteorización, las propiedades acuíferas son muy variables y responden a los diferentes tipos de suelos producto de los procesos de meteorización. La presencia de agua en el corte ocasiona una concentración de agua en un lugar determinado que provoca se produzca la zona crítica de falla. A pesar de la gran influencia de la permeabilidad en la estabilidad de las laderas, existe muy poca información sobre este proceso en los suelos lateríticos. La mayoría de los problemas de inestabilidad de laderas están relacionados con infiltraciones debidas a la permeabilidad de estos materiales. Precisamente una de las causas de los deslizamientos son las cargas hidrostáticas e hidrodinámicas que se producen en las laderas y taludes conformados por suelos lateríticos.

La permeabilidad de los suelos saprolíticos está controlada generalmente, por la estructura de los materiales, la mayoría del flujo tiene lugar a lo largo de las juntas heredadas. Como la permeabilidad es gobernada por detalles de escala macro, los ensayos de laboratorio generalmente, no son representativos debido a que su escala es muy pequeña. La única forma de determinar un valor confiable de permeabilidad es realizar ensayos a escala grande. Brand (1985) indicó que en suelos residuales existen zonas de alta transmisibilidad a través de las discontinuidades que hacen que la permeabilidad de la roca sea muy alta, por lo tanto las presiones de poro pueden reaccionar muy rápidamente a las lluvias fuertes.

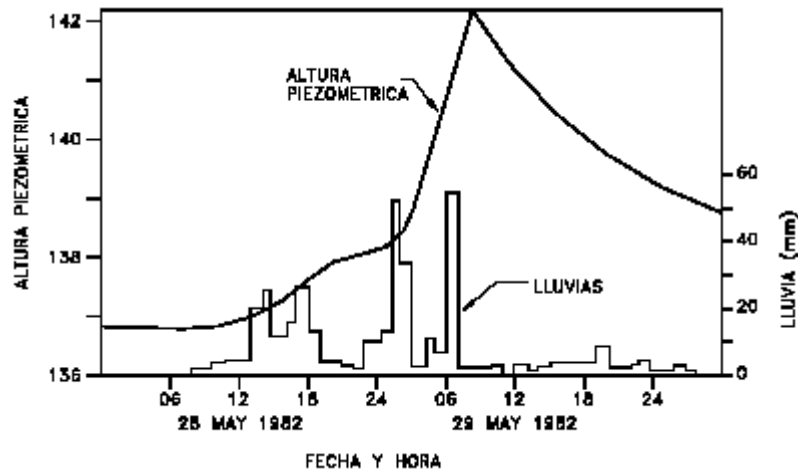


Fig. 6 Ascenso rápido del nivel de agua en una sola lluvia en los granitos descompuestos de Hong Kong (Brand 1985).

Por ejemplo, en la figura 6 se muestra como en Hong Kong, en 24 horas de lluvia se produjo aumentos de cabezas piezométricas de cinco metros, en solo 18 horas y la presión de poros disminuyó bruscamente, inmediatamente después de la lluvia.

Vaughan (1985) demostró que para un perfil que tiene una permeabilidad decreciente, al profundizarse se genera inestabilidad, mientras si la permeabilidad aumenta, se genera drenaje natural.

En los suelos lateríticos tienen lugar procesos complejos como los mostrados en la figura 7, donde la presencia de agua en los suelos genera volúmenes que en la mayoría de los casos aumentan la presión de poros y elevan la capacidad de carga hidrostática del medio.

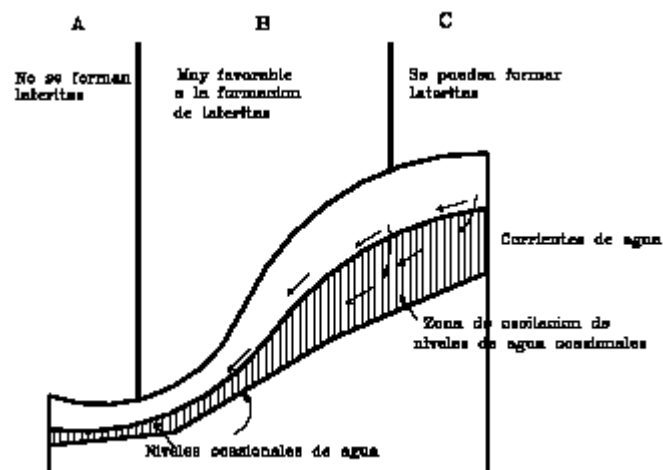


Fig. 7 Formación de lateritas por corrientes de agua ocasionales. (Jaime Suárez Díaz, 1998)

MECANISMOS DE ROTURA EN SUELOS LATERITICOS.

Una de las regiones de Cuba que presenta mayor desarrollo de movimientos de masas en taludes y laderas es Moa. El estudio de los movimientos de laderas y taludes significa el análisis de un fenómeno complejo que requiere de la necesidad de identificar y clasificar los diferentes tipos de mecanismos que tienen lugar; precisamente su comprensión permite la adopción de medidas de corrección y estabilización en las áreas afectadas.

Haciendo un análisis histórico de las clasificaciones de los movimientos de masas de laderas se considera que las primeras aparecen en el siglo XIX. Sin embargo con el estudio de estos fenómenos, en los últimos años se han desarrollado diversas clasificaciones. A pesar de que la abundante literatura publicada al respecto mantiene una gran variedad terminológica, podemos señalar, que en lo referente a los movimientos de masas en rocas y suelos en laderas y taludes compuestos por suelos lateríticos formados a partir de rocas ultrabásicas serpentinizadas se plantea la necesidad de encontrar una tipología que permita identificar y clasificar estos movimientos en la región que como Moa cuenta con una extraordinaria corteza de meteorización en la cual se desarrolla una intensa actividad antrópica asociada al valor económico que tiene las mismas debido a los contenidos industriales de Ni y Co.

No es objetivo del trabajo proponer una nueva clasificación, sino establecer una terminología que esclarezca los mecanismos que se producen en taludes y laderas y que motivan confusión en muchos profesionales de la región y el país, los mecanismos del desplazamiento de los suelos y/o rocas en el terreno que con una pendiente determinada provocan el movimiento en sentido descendente y al exterior de la misma.

Características de las rocas serpentinizadas y de los suelos lateríticos

Al realizar la tipificación ingeniero geológica de los diferentes mecanismos de propagación de los movimientos de masas en las laderas y taludes de las cortezas lateríticas cubanas en Moa, la naturaleza de los materiales involucrados en estos es un criterio importante y un indicador indispensable para separar los diferentes tipos de movimientos.

Varnes (1978), Hutkinson (1988), Cruden y Varnes (1996) hacen una distinción entre roca dura y roca semidura, derrubios o detritos (debris) y suelo (soil). Los conceptos de roca dura y semidura a nuestro juicio no ofrecen dudas desde la visión de la ingeniería o la geomecánica de las rocas. En el caso de los derrubios no queda claro sobre todo cuando tratamos de identificar materiales tipos, sus características de resistencia y deformabilidad. En estos casos es favorable emplear la clasificación general de Savarienskii y Lomtadze (1982) que expone los tipos de rocas y materiales friables cohesivos y no cohesivos con sus diferentes variantes de presentación ante los diferentes procesos y fenómenos geológicos.

Para el caso de Moa las rocas ultrabásicas serpentinizadas. son las más distribuidas en territorio y se encuentran en el grupo de rocas semiduras debido a su agrietamiento y meteorización.

En el análisis del agrietamiento, tabla 1, se tuvieron en cuenta los elementos de yacencia y otras características de las grietas como la abertura, espaciado, relleno y tipo de superficie. Según el diagrama de contorno y de planos principales (figura 8) se

presentan cuatro familias principales definidas por el acimut de buzamiento y buzamiento, las cuales en dependencia de la posición relativa de estas y las laderas o taludes determinarán la tipología de movimientos a través de una superficie de fallo

No. Familia	Acimut de buzamiento	Buzamiento	Abertura (mm)	Espaciado (cm)	Continuidad (m)	Relleno	Superficie
1	192	58	0.7415	12.32	1.135	-	Ondulada lisa
2	89	49	2.164	9.678	2.149	Magnesita 5% Sílice 5% Arcilla 1%	Plana lisa
3	142	40	3.217	15.60	1.244	Magnesita 40% Sílice 5% Detritos 6%	Plana lisa
4	309	40	3.147	18.04	1.925	Sílice 10% Magnesita 5% Arcilla 5% Detritos 3%	Plana y ondulada lisa

definida.

Tabla 1. Características del agrietamiento en el macizo rocoso serpentizado. (Guardado/Almaguer 2003)

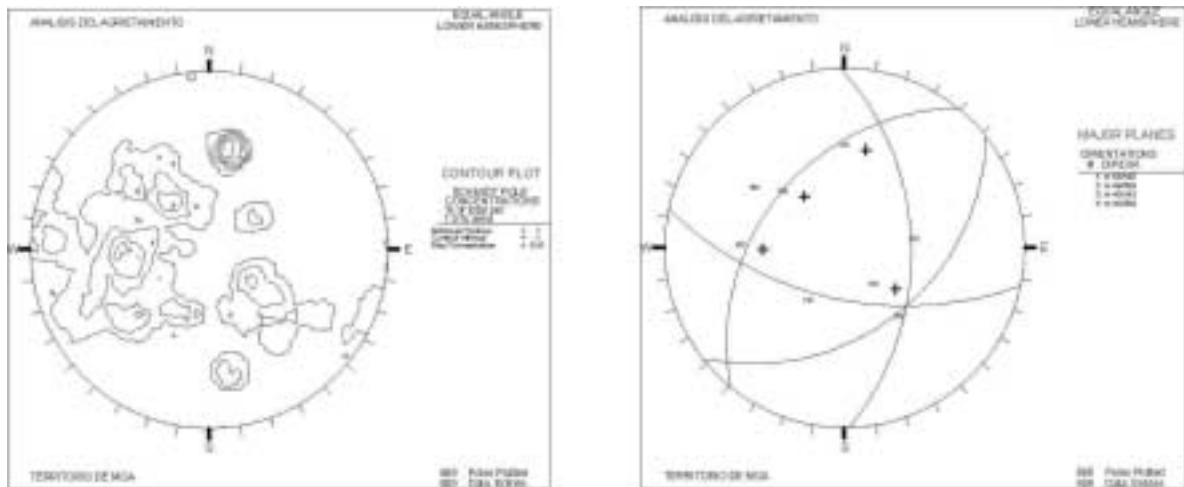


Fig. 8 Diagrama de contorno y planos principales del agrietamiento de las rocas serpentinizadas. (Guardado/Almaguer 2003)

En la figura 9 se muestra en detalles el comportamiento del agrietamiento y su influencia sobre la descomposición de la roca y sobre la tipología de deslizamientos desarrollada para una determinada intensidad de trituración y alteración. De esta manera dividimos la roca en tres grados o intensidades de agrietamiento en función de la cantidad de familias de grietas, su espaciado y alteración de los bloques rocosos. En el grado 1, roca fresca, con presencia de tres o cuatro familias de grietas espaciadas, en la cuál los mecanismos de rotura que gobiernan las inestabilidades son por caída libre de los fragmentos de roca y a través de una superficie de fallo definida, desarrollándose desprendimientos de bloques de rocas y deslizamientos planares o en cuña. En el grado 2, donde la roca se presenta intensamente agrietada con presencia de tres o cuatro familias de grietas estrechamente espaciadas, a través de las cuales se observan signos de meteorización, los mecanismos de rotura comunes son a través de una superficie de fallo y por caída libre de fragmentos de rocas, desarrollándose tipologías tales como desprendimientos y vuelcos y deslizamientos planares o en cuña.







	ROCA	MICROFOTOGRAFÍA	DESCRIPCION DE LA ROCA
3		 3- Muestra de los núcleos rocosos intensamente agrietados y meteorizados	3- Roca alterada e intensamente agrietada. A través de las superficies han penetrado los agentes de la meteorización avanzando al interior de los núcleos de roca, los cuales se presentan dentro de una matriz arcilloso - arenosa con presencia de óxidos e hidróxidos de hierro. Mecanismos de rotura: - A través de una superficie. - Caída libre de la roca. - Movimientos de masas desorganizados . Tipologías más comunes: - Vuelcos. - Deslizamiento planar o en cuña. - Coladas de tierra.
2		 2- Se observa el cambio de coloración de la roca por el proceso de oxidación a través de las grietas	2- Roca intensamente agrietada con presencia de tres o cuatro familias de grietas estrechamente espaciadas a través de las cuales se observan signos de meteorización. Mecanismos de rotura: - A través de una superficie. - Caída libre de la roca. Tipologías más comunes: - Desprendimientos y vuelcos. - Deslizamiento planar o en cuña.
1		 1- Rocas ultrabásicas serpentinizadas de color verde grisáceo. Se observa la dirección del flujo del proceso de serpentinización.	1- Roca fresca con presencia de tres o cuatro familias de grietas espaciadas. Mecanismos de rotura: - Caída libre de los fragmentos de roca. - A través de una superficie. Tipologías más comunes: - Desprendimientos de bloques de rocas - Deslizamiento planar o en cuña.

Fig. 9 Comportamiento del agrietamiento y tipos de movimientos de masas en las rocas ultra básicas serpentinizadas (Almaguer/Guardado 2004)

En el grado 3, la roca se presenta alterada e intensamente agrietada. A través de las superficies han penetrado los agentes de la meteorización avanzando al interior de los núcleos de roca, los cuales se presentan dentro de una matriz arcilloso - arenosa con presencia de óxidos e hidróxidos de hierro. Los mecanismos de rotura comunes son a través de una superficie de fallo, por caída libre de fragmentos de rocas y movimientos de masas desorganizados, manifestándose vuelcos, deslizamientos planares o en cuña y coladas de tierra.

El perfil de meteorización desarrollado a partir de las rocas ultrabásicas serpentinizadas presenta, desde el punto de vista geotécnico, cinco grados de descomposición, los cuales varían desde la roca fresca (grado I) hasta suelo residual (grado V). La descripción del mismo se presenta a continuación:

Roca dura de composición ultrabásica (grado de meteorización I), afectada por los procesos de serpentinización, de coloración verde a verde grisáceo, presenta un peso específico que varía entre 2.50 y 2.80 KN/m³. El ángulo de fricción del macizo está determinado por la fricción residual a través de las discontinuidades presentes el

mismo y determinado por medio de las clasificaciones geomecánicas varía entre valores de 22° y 26° .

Roca débilmente meteorizada (grado II). Aparecen manchas de óxido de Fe en las superficies de las grietas. La meteorización se manifiesta de forma desigual a través de la fábrica de la roca. La resistencia a la compresión representa entre el 45 y 55% de la roca fresca. Más del 90 % es roca. El peso específico varía de seco a húmedo entre 8.4 y 15.5 KN/m³. La humedad puede llegar hasta el 85 %, el ángulo de fricción de 16° , y el índice de plasticidad de 26. El RQD estimado por las condiciones del agrietamiento está entre 70 y 90 %.

Roca moderadamente meteorizada (grado III). Hay presencia de limonita en las grietas, en su conjunto la roca se presenta como una masa discontinua o a través de núcleos rocosos en una masa arcillosa. El peso específico varía de seco a saturado de 12.2 a 18.4 KN/m³. La humedad puede llegar hasta el 70 %, la cohesión de 106 KPa, el ángulo de fricción de 26° y el índice de plasticidad de 28. el RQD puede variar entre 30 y 70% y la resistencia es aproximadamente el 25% de la roca fresca.

Roca altamente meteorizada (grado IV). Está tan debilitada por el proceso de meteorización que pueden ser desintegrados grandes fragmentos de suelo con la mano. Se puede excavar con la mano si está húmedo. Se pueden obtener núcleos perforando cuidadosamente, en algunos casos no se pueden recuperar. Resistencia muy baja comparada con la roca fresca. Menos del 10% es roca. Presenta un peso específico seco y húmedo de 8.53 y 16.5 respectivamente. Presenta una cohesión de 71.01 KPa, un ángulo de fricción interna de 17° y un índice de plasticidad de 28. el RQD varía entre 0 y 30% y la resistencia representa hasta 12% de la roca fresca.

Suelo residual (grado V). La textura original de la roca no es reconocible. Adquiere una forma de coraza compuesta por concreciones ferruginosas. Resistencia muy baja comparada con la roca fresca. Las capas superficiales contienen raíces de plantas y humus.

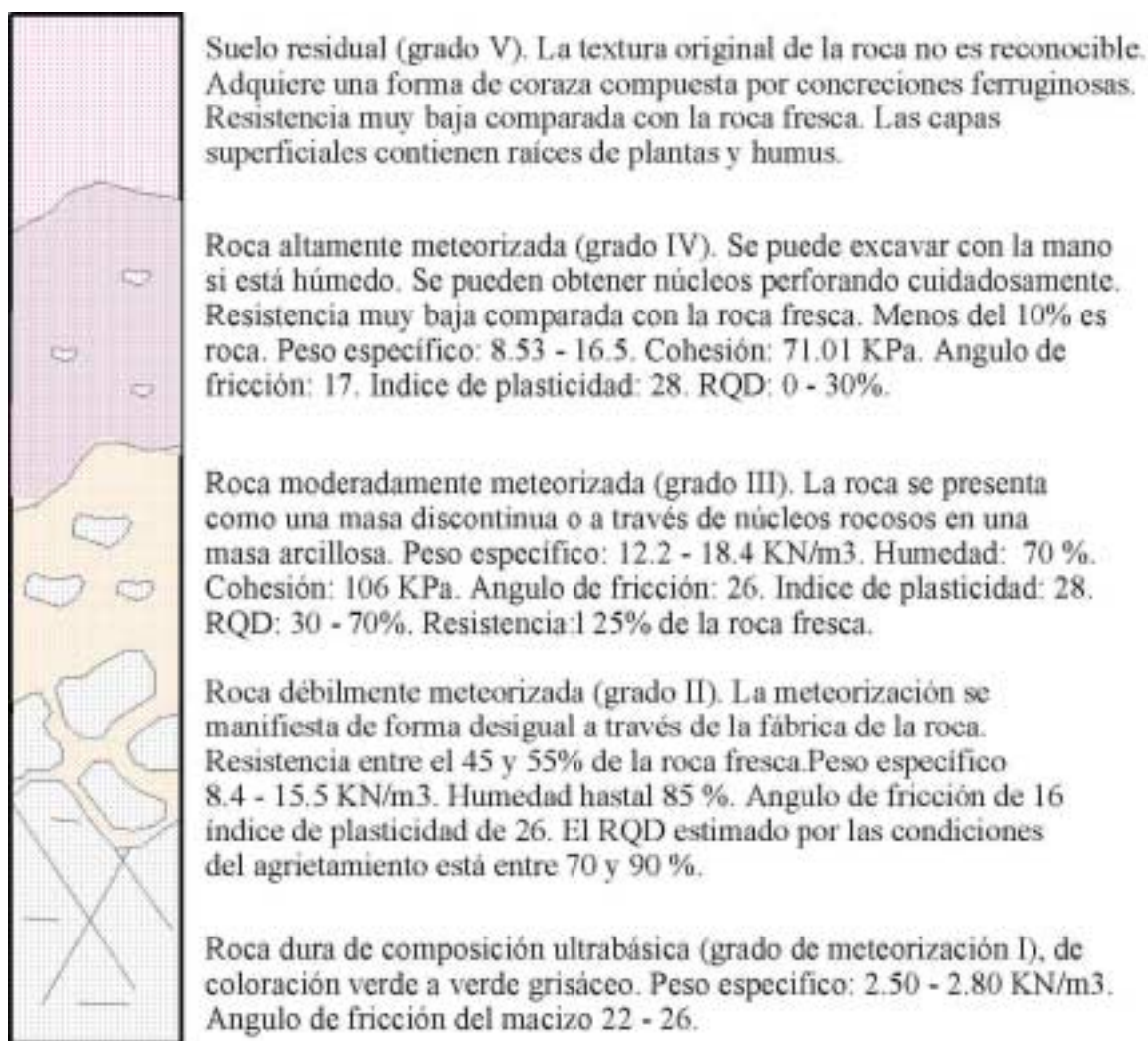


Fig. 10 Esquema del perfil ingeniero geológico de los suelos lateríticos de Moa (Guardado/Almaguer 2003).

TIPOLOGÍA DE MOVIMIENTOS DE LADERAS Y TALUDES

Para realizar la descripción de los movimientos se han tomado como base el orden propuesto por Varnes (1978), Hutchinson (1988), WP/WLI (1993), Cruden y Varnes (1996), Lomtadze (1982). Las definiciones de los distintos mecanismos han sido extraídas de los autores antes citados.

Mecanismos relacionados con caída libre de la roca.

Desprendimientos de rocas. En el territorio de Moa los fenómenos de desprendimientos de rocas (falls rocks) se dividen en dos tipos: los desprendimientos propiamente dichos y los derrumbes. Estos mecanismos representan un movimiento de ruptura y caída sorpresiva desde taludes, desmontes y laderas abruptas. En ocasiones en los taludes de rocas serpentinizadas fuertemente agrietadas tiene lugar los fenómenos de derrumbes los que están asociados con la alteración del material que lo compone. En ambos casos la inestabilidad de estos sectores pueden ser considerados peligrosos sobre todo en las áreas viales y obras hidrotécnicas presentes en el territorio.

Vuelcos. Estos mecanismos tienen lugar en aquellas laderas o cortes de masas de rocas serpentinizadas que generan un eje situado por debajo del centro de gravedad. La fuerza inestabilizadora es la gravedad o también por las acciones hidrodinámicas e hidrostáticas en estas grietas. La parte movida se desplaza haciendo un giro o inclinando el movimiento de arriba hacia fuera. El apoyo de las aristas inferiores se deshace, y el mecanismo de desplome es combinado con un movimiento vertical de colapso (García Yague, 1996). Estos movimientos en el territorio de Moa se observan en laderas compuestas por rocas serpentinizadas y gabros, en las cuales existen sistemas de grietas paralelas a la ladera o talud a través de las cuales se infiltran las aguas superficiales rompiendo el equilibrio del sistema. Además se ha reportado este tipo de movimiento en las cortezas lateríticas residuales y redepositadas en las cuales se manifiesta agrietamiento relicto o tensional el cuál realiza la misma función que en la roca. Estos movimientos son comunes en el territorio y aparecen con frecuencia.

Mecanismos de deslizamientos a través de una superficie de rotura definida: se manifiestan ladera abajo de una masa de suelo o roca y tiene lugar a través de una o más superficies de rotura o zonas relativamente delgadas con intensa deformación de cizalla. Deslizamientos traslacionales (planar slides). Se les llama deslizamientos traslacional o planar a aquellos que se producen a través de una única superficie plana u ondulada. En el territorio de Moa se manifiestan en la roca serpentizada cuando existe una familia de grietas dominante y orientada aproximadamente en el mismo sentido del talud o ladera, a veces estas discontinuidades se relacionan con fallas de sobrecorrimiento de escamas tectónicas en la cual se manifiesta un intenso cizallamiento de hasta 1m de espesor. Este tipo de movimiento también se produce en las cortezas lateríticas residuales o redepositadas, en las cuales la superficie de deslizamiento se encuentra en el contacto roca/suelo, donde el material presenta menos resistencia y a través del cual se mueven las aguas subterráneas (figura 4). Las condiciones determinadas por Hoek y Bray (1977) para la ocurrencia de este tipo de rotura se manifiesta en el territorio:

- los rumbos del plano del talud o ladera y del plano de deslizamiento son paralelos o casi paralelos, formando entre sí un ángulo máximo de 20 grados.
- los límites laterales de la masa deslizante producen una resistencia al deslizamiento despreciable.

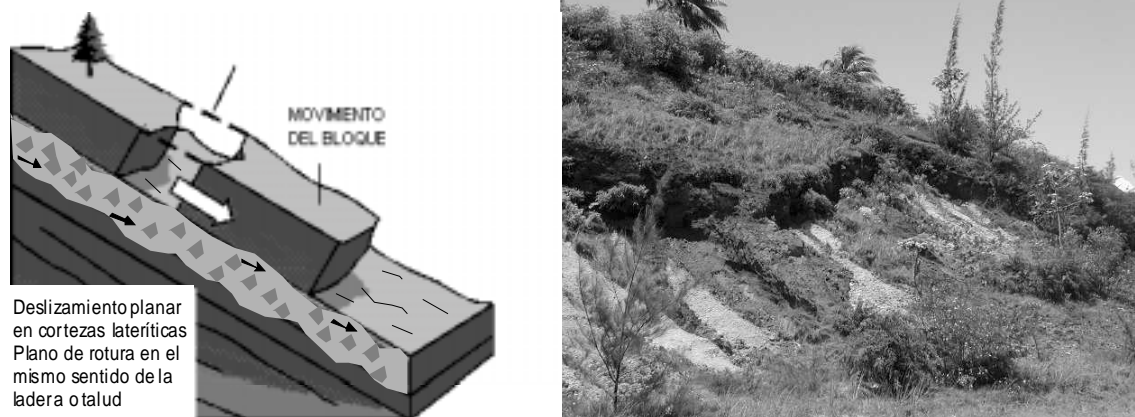


Fig. 11 Deslizamiento a través de una superficie planar. El plano de rotura coincide con el contacto entre la corteza laterítica y la roca serpentinizada y buza aproximadamente en el mismo sentido de la ladera. (Guardado/Almaguer 2003)

Deslizamientos a través de una superficie circular (rotational slides, slumps).

Los materiales de suelo laterítico se desplazan a través de una superficie de rotura curvilínea o cóncava. Generalmente la masa desplazada se divide en bloques o escalones los cuales experimenta un giro según un eje situado por encima del centro de gravedad de esta. El material de la cabecera de los escalones se inclinan contra la ladera, generando depresiones paralelas a la corona del talud o ladera y a través de la cuál se infiltran las aguas superficiales y pueden lograr reactivaciones. Como generalmente hay presencia de agua en estos tipos de movimientos en cortezas lateríticas, la parte frontal del cuerpo del deslizamiento evoluciona como una colada de suelo. En algunos casos este tipo de movimiento se desarrolla en laderas compuestas por roca serpentinizada, en la cuál el espaciado de las grietas es tan pequeño que le confiere un comportamiento tipo suelo (figura 12).

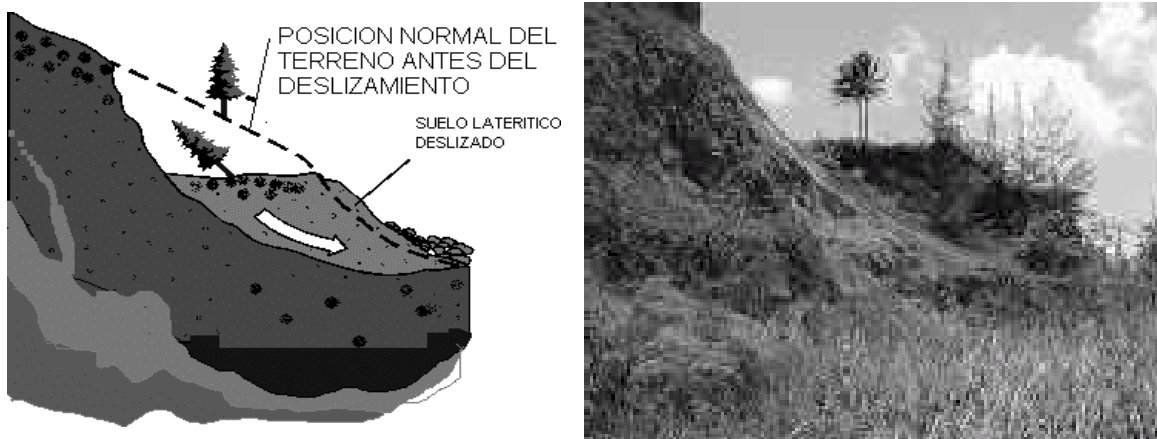


Fig. 12 Deslizamientos a través de una superficie circular en cortezas lateríticas compuestas por suelos cohesivos- friccionantes (Guardado/Almaguer 2004)

Deslizamientos en cuña. Se llama rotura por cuña a aquella producida a través de dos discontinuidades dispuestas oblicuamente a la superficie del talud o ladera, con la línea de intersección de ambas aflorando en la superficie del mismo y buzando en sentido desfavorable. Este tipo de rotura en el caso del territorio de Moa se origina en el macizo rocoso serpentizado en los lugares que se da la disposición adecuada, en orientación y buzamiento de las discontinuidades, sin embargo, por la existencia de cortezas lateríticas residuales en las cuales se conservan en la mayoría de los horizontes del perfilde meteorización la estructura de la roca este tipo de movimiento se desarrolla igualmente en la corteza (figura 13).

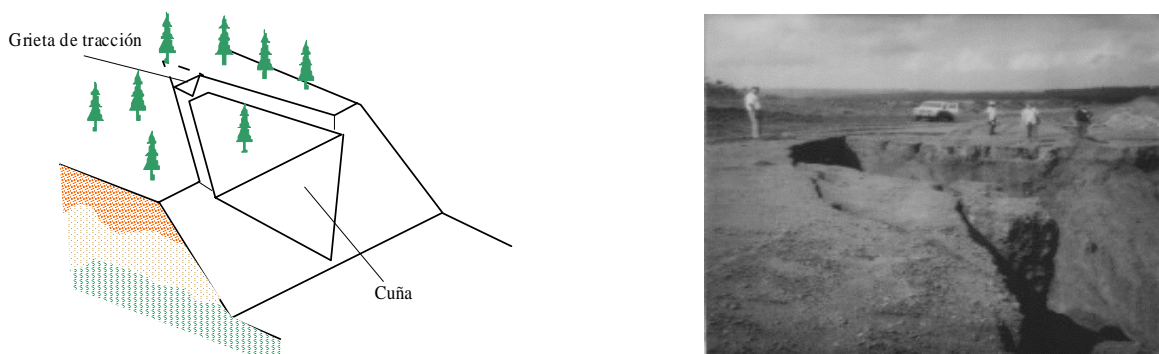


Fig. 13 Deslizamientos en forma de cuña desarrollado en cortezas lateríticas residuales. Los planos que conforman la cuña son planos de grietas relícticas presentes en la corteza. (Guardado/Almaguer 2003)

Deslizamientos combinados. En este tipo de movimiento se conjugan normalmente dos mecanismos; en el caso de las cortezas lateríticas en el territorio de Moa se pueden combinar movimientos traslacionales y vuelco, rotacionales y traslacional, rotacional y flujos de tierras. Siempre el primer mecanismo predomina sobre el segundo.

Mecanismos de movimientos de masas de manera desorganizada (movimientos de flujos).

Se definen como movimientos continuos desde el punto de vista espacial; las superficies de cizallas tienen corta duración y generalmente no se conservan. La masa movida no conserva su forma en el movimiento descendente porque se comporta como un fluido, tomando formas lobuladas cuando se desarrollan en materiales finos y cohesivos y dispersándose cuando se manifiestan en materiales de granulometrías más gruesas.

Soliflucción. Se manifiestan en suelos lateríticos cohesivos, principalmente en los grados III y IV. Las dimensiones son pequeñas y normalmente presentan poco espesor y pueden encontrarse espacialmente asociados a ladera de altas a medianas pendientes en las cuales se conservan los horizontes lateríticos.

Coladas de tierra. Deformación plástica, lenta y no necesariamente húmeda, de tierra o rocas blandas en laderas de inclinación moderada. En las cortezas lateríticas se forman depósitos elongados, en forma de lengua en la parte frontal (pie), generando un relieve positivo sobre la superficie del terreno. En la mayoría de los casos reportados se haya asociados en el pie de los deslizamientos.

Corrientes de derrubios. Movimientos rápidos de material detrítico con predominio de fracciones gruesas (arenas, gravas, bloques). En el territorio se reportan en vaguadas u hondonadas del terreno en las laderas de los causes de ríos. Por la falta de cohesión, típico de la masa removida, los depósitos se dispersan en el pie de los taludes y laderas.

Conclusiones.

A partir de los estudios realizados en las cortezas lateríticas en el territorio de Moa dirigidos a la determinación y descripción de los movimientos de masas se ha podido definir las tipologías desarrolladas así como los mecanismos de rotura que gobiernan las mismas. De esta manera se tenemos mecanismos relacionados con caída libre de la roca donde se producen desprendimientos de rocas y vuelcos; deslizamientos a través de una superficie de rotura definida manifestándose deslizamientos traslacionales, a través de una superficie circular, deslizamientos en cuña y movimientos combinados tanto en la roca semidura como en el suelo residual; y mecanismos de movimientos de masas de manera desorganizada donde se manifiesta la soliflucción, coladas de tierra y las corrientes de derrubios.

El conocimiento de los mecanismos de rotura es el fundamento para el análisis de estabilidad de taludes; la identificación de la tipología y las condicionales del movimiento a partir del reconocimiento de campo y la aplicación de métodos geotécnicos sirve de base para la selección del método de cálculo del factor de seguridad y en consecuencia la selección del método más idóneo de protección de los taludes afectados.