

ESTUDIOS MINERALOGICOS Y FISICO-MECANICOS EN ROCAS VOLCANICAS METEORIZADAS DEL VALLE CENTRAL DE COSTA RICA

Klaus Knoblich¹⁾, Erich Mands¹⁾ & Siegfried Kussmaul²⁾

¹⁾Institut für Angewandte Geowissenschaften, Justus -Liebig Universität Giessen, Diezstr. 15, 35390 Giessen, R.F.A.

²⁾Escuela Centroamericana de Geología, Apdo. 35, 2060 Universidad de Costa Rica

INTRODUCCION

Una de las principales causas de los deslizamientos que ocurren frecuentemente en las laderas y en los cortes de las carreteras en el Valle Central y sus alrededores es la fuerte meteorización de las rocas volcánicas. Son bien conocidos los deslizamientos de grandes dimensiones en Alto Tapezco, San Blas y Santiago de Puriscal, pero también existen cantidades de pequeños deslizamientos a lo largo de la Carretera Interamericana Sur, entre Cartago y Empalme (MORA, 1989).

En el presente trabajo se analizan rocas de la región de Empalme y de Tres Ríos. Las muestras fueron tomadas en la zona de ruptura de pequeños deslizamientos que se formaron en forma rápida después de precipitaciones prolongadas. Estos deslizamientos pequeños contrastan de los grandes del tipo Alto Tapezco o San Blas, porque estos últimos se caracterizan por su movimiento muy lento. Las muestras se analizaron para conocer su composición mineralógica y así poder explicar sus características físico-mecánicas.

COMPOSICION MINERALOGICA

En todos los sitios muestreados las rocas presentan un sistema de diaclasas bien formado.

Los diferentes bloques entre las diaclasas están separados claramente unos de otros. El efecto se acentúa muchas veces por la presencia de una patina de hidróxidos de hierro y manganeso en los planos.

A simple vista las rocas parecen bastante sanas y conservan su textura interna. Una matriz de color pardo rojizo, pardo, gris oscuro o marrón envuelve a fenocristales con color blanco o gris claro y con diámetros de varios milímetros. Sin embargo, la cohesión de las rocas es muy baja y a veces se desagregan en fragmentos del tamaño de arena, limo y arcillas al solo apretarlas entre los dedos. En estos casos también los fenocristales se desintegran en una masa arcillosa.

Estudios con rayos-X y pruebas de alófana indican que las rocas alteradas pertenecen a cuatro diferentes grupos paragenéticos:

Grupo A: Esmectita, alófana, minerales de hierro, feldespatos.

Grupo B: Esmectita, alófana, meta-halloysita, minerales de hierro.

Grupo C: Alófana, meta-halloysita, minerales de hierro.

Grupo D: Alófana, meta-halloysita, feldespatos.

Rocas del grupo A hasta C afloran a lo largo de la Carretera Interamericana Sur, cerca de Empalme. El grupo D solo se encontró en las cercanías de Tres Ríos (Fig. 1).

Las muestras provenientes de Tres Ríos tienen una composición mineralógica uniforme (Tabla 1) y todas fueron tomadas en una zona de poca extensión. Macroscópicamente parecen poco meteorizadas y poseen una cohesión relativamente alta. Internamente se observa una subdivisión en bloques bien definidos y delimitados por diaclasas. La matriz es de color gris hasta gris violáceo y contiene muchos fenocristales blancos. Se trata probablemente de una andesita meteorizada y/o afectada por procesos hidrotermales. La matriz está completamente alterada a una mezcla de halloysita y alófana.

Las muestras de Empalme fueron tomadas de los cortes a lo largo de varios kilómetros de la Carretera Interamericana Sur. Su composición mineralógica no es uniforme y se encuentran

representantes de los grupos paragenéticos A hasta C (Tabla 1). Esta heterogeneidad se debe probablemente a la presencia de rocas primarias con una composición mineralógica y química variable, posiblemente diferentes tipos de rocas duras y tobas con una matriz vidriosa o de grano muy fino. Sin embargo, estas diferentes paragénesis también podrían ser el resultado de una meteorización progresiva que afectó a un solo tipo de roca, siendo la paragénesis A la de menor y la C la de mayor grado de meteorización; a resultados similares llegaron BESOAIN (1969) y GREZ (1977). Por la meteorización de cenizas volcánicas en un clima tropical húmedo los feldspatos se alteran primeramente a halloysita, después a meta-halloysita, a caolinita desordenada y finalmente, si existen las condiciones favorables para

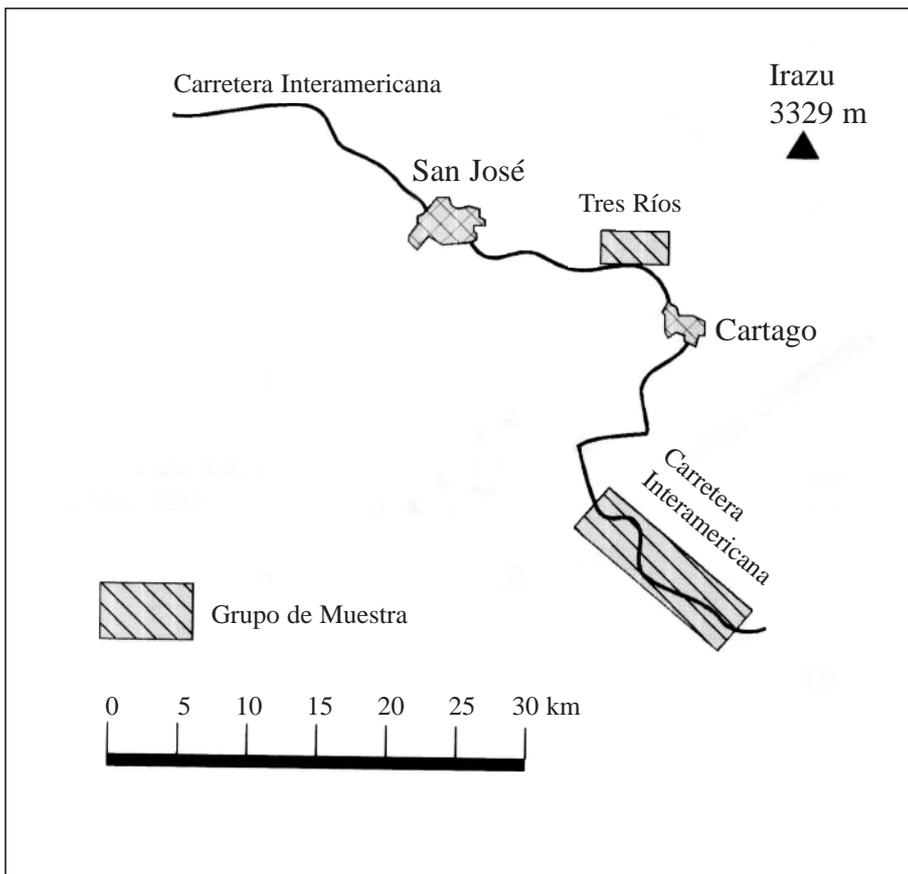


Fig. 1: Ubicación de las muestras analizadas.

Tabla 1

Composición mineralógica y propiedades químicas de las muestras

No. de Muestra	Esmectita	Alófana	Meta-halloysita	Minerales no arcillosos	Capacidad de intercambio iónico mval/100g	Saturación de bases	Total de Al amorfo	Total de óxidos de Fe (%)	Oxidos amorfos de Fe (%)	Grupo
Empalme										
P1	+++	++	++	Goe				4,14	0,13	B
P3	+++	+	+	He, Goe					0,02	B
P4	++	+	(+)	Fsp	43,4	32,8	1,00		0,12	A
P5	+++	++	-	He,Goe,Fsp	31,3	17,8	0,71		0,10	A
P7	+++	++	++	He, Goe	19,8	2,9	0,45		0,07	B
P33	-	++	+++	Goe, He	27,6	2,6	0,55		0,08	C
P34	-	+++	++	Goe	32,1	0,9	0,65		0,06	C
P35	++	++	-	Fsp,Px,Bt						A
P36	++	+	(+)	He, Fsp	51,2	66,6	1,00		0,16	A
P37	-	++	+++	He, Goe	31,4	1,1	0,78		0,14	C
Tres Ríos										
P30	-	+	+++	Fsp		56,5	0,91			D
P31	-	+	+++	Fsp		66,2	0,93			D
P31a	-	+	+++	Fsp		40,9	0,92			D
P32	-	+	+++	Fsp		36,3	0,93			D
P32a	-	+	+++	Fsp		49,8	1,00			D
Go = goethita He = hematita Fsp = feldespatos Px = piroxenos Bt = biotita +++ = muy frecuente ++ = frecuente + = presente - = falta										

el proceso de lateritización, se transforman en bauxita (WADA & AOMINE, 1973). En un ambiente ácido, el vidrio de las cenizas sufre rápidamente una lixiviación de los álcalis y se transforma primeramente en alófana/ímogolita y después en esmectita/montmorillonitas. En nuestro caso habrá que tomar en consideración algunas modificaciones, porque las rocas primarias eran predominantemente lavas y tampoco se pueden excluir procesos hidrotermales (LAGUNA, 1983). Después de poco tiempo de estar expuesto en la superficie, las rocas sufren una lixiviación de los elementos solubles y para la formación de los minerales secundarios solo están disponibles iones poco solubles, tales como Si, Al, Fe, y, dependiendo del tipo de roca madre, posiblemente también Mg y Ti.

Otro criterio que se puede utilizar para la estimación del grado de meteorización es la saturación de bases y la relación entre el contenido de aluminio cristalizado y el amorfo. Una alta saturación de bases y altos contenidos de hidróxidos de aluminio en estado amorfo indican una

meteorización no muy fuerte (Tabla 1) (IMURA, 1965; KANNO *et al.*, 1968).

Las muestras de Tres Ríos, que a simple vista parecen poco alteradas, tienen una alta saturación de bases y la relación entre el aluminio amorfo y el aluminio total está cerca de la unidad (Tabla 1). Lo mismo vale para el grupo paragenético A de Empalme. Las muestras de los grupos B y C, al contrario, tienen una saturación muy baja de bases y en su lugar entraron iones de Al. La relación aluminio amorfo entre aluminio total tiene valores bajos (Tabla 1). Por lo tanto, también los datos de la saturación de bases y los contenidos de aluminio amorfo indican que los grupos A y D presentan un grado de alteración más débil que los grupos B y C.

Al preparar un lavado se observa en todas las muestras una floculación fuerte y rápida, la cual ni siquiera puede evitarse con la adición de cantidades considerables de un medio de dispersión. Además, muchos de los fragmentos con tamaño de arena son difíciles de aplastar y quedan intactos al aplicar el ultrasonido. Esta

resistencia se debe probablemente a la presencia de altos contenidos de sílice (SCHEFFER & SCHACHTSCHNABEL, 1984).

Los agregados arenosos-limosos están compuestos casi exclusivamente por arcillas con poca cantidad de feldespatos residuales y óxidos secundarios. Bajo el microscopio electrónico las partículas más grandes tienen una forma aplastada, angulosa y muestran una textura celular y esponjosa.

Los enlaces entre las diferentes partículas arcillosas que componen a los agregados areno-

sos se deben probablemente a puentes de Ca en el caso de las rocas poco meteorizadas y de Al en las rocas más meteorizadas. Adicionalmente hay el efecto cementante de la goethita y hematita. Las rocas tienen un pH bajo (pH nKCl 3-4,5) y los óxidos están cargados positivamente, así que existe una atracción electrostática entre los óxidos y las partículas de arcilla y de alófana, ambas con carga negativa (BIRELL & FIELDS, 1968; WARKENTIN & MAEDA, 1974).

Los agregados arenosos están compuestos probablemente por una mezcla entrelazada de

Tabla 2

Características físico-mecánicas de las muestras de Empalme

No. de muestra	Arcillas (%)	Limos (%)	Arenas (%)	Wl (%)	Wp (%)	Ip (%)	ϕ	c kN/m ²	Wn (%)
P1				64,1	59,0	5,1			
P2	14	40	46	81,0	68,2	12,8			
P3	6	36	58	69,9	61,5	8,4	37	18	54,7
P4				65,5	56,7	8,5	33	18	49,0
P5	5	34	61	68,2	57,6	10,6	35	11	63,2
P5a				80,8	67,9	12,9	29	21,8	64,6
P7	0	10	90						
P7a				67,1	58,6	8,5			
P33	6	32	62	72,0	62,0	10,0	31	16	61,2
P34	9	31	60	77,2	65,1	12,1			
P37	10	29	61	69,0	59,0	10,0			

Lc = Límite líquido
Lp = Límite plástico
Ip = Índice plástico

Wn = Humedad natural
 ϕ = Angulo de fricción
c = Cohesión

Tabla 3

Características físico-mecánicas de las muestras de Tres Ríos

No. de muestra	Arcillas (%)	Limos (%)	Arenas (%)	Wl (%)	Wp (%)	Ip (%)	ϕ	c kN/m ²	Wn (%)
P31	2	28	70						
P32	10	19	71	62,0	45,0	17,0			
P50				66,5	39,2	27,3			
P51				65,0	41,9	23,1			
P52	17	48	35	94,4	46,7	47,7			
P53				58,0	34,4	24,6			
P54	4	51	45	49,2	28,6	20,6			
P55				63,3	31,9	31,4			
P56				53,7	32,9	20,8			
P57	12	52	36	63,0	36,8	26,2			
P58	3	27	70	48,5	29,7	18,8	34	12	29,1
P59				68,0	34,3	33,7			
P60	6	28	66	63,2	40,0	23,2			
P61				59,8	39,3	20,5			
P62				78,0	47,9	30,1			

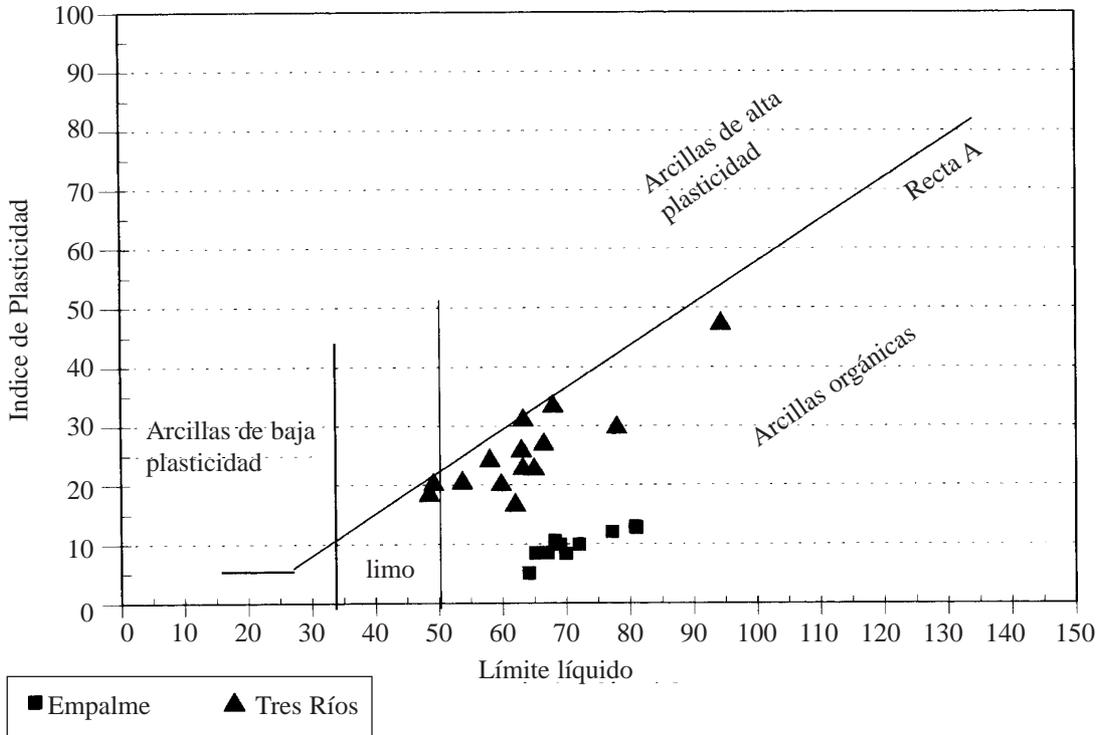


Fig. 2: Ubicación de las muestras en el diagrama de plasticidad.

alófana con esmectita y/o meta-haloysita. La alófana es una arcilla amorfa o solo parcialmente cristalizada con una alta porosidad interna y una muy alta superficie específica, por lo cual posee una capacidad alta de retener el agua. La esmectita es una arcilla expandible que incluye agua entre sus capas. Como se trata de agregados esponjosos de alófana y esmectita, las partículas arenosas pueden absorber mucho agua en los intersticios intercrystalinos.

Gran parte del agua natural y del agua que se añade durante la determinación de los límites de consistencia es absorbida por los minerales y también por los agregados. O sea, parte del agua que se encuentra en los poros que existen entre los diferentes agregados es sustraída e inactivada. Los límites de consistencia, sin embargo, dependen en primer lugar del agua que se encuentra entre los agregados, o sea, en el espacio poroso exterior. La determinación de la humedad natural (W_n) se refiere al contenido total de agua (Tablas 2 y 3) (KNOBLICH *et al.*, 1984; KNOBLICH, 1985).

La formación de agregados produce por lo tanto límites altos de consistencia, lo cual es característica de tobas meteorizadas (Tablas 2 y 3). En el diagrama de plasticidad (Fig. 2) estas tobas se ubican por debajo de la línea "A", en el campo de las arcillas orgánicas con plasticidad alta hasta media. Las rocas se proyectan en este campo a pesar de que no contienen materia orgánica y que, de acuerdo a los análisis granulométricos, se trata de arenas limosas o limos arenosos. Su comportamiento es similar al de las arcillas orgánicas debido a que la materia orgánica también tiene la propiedad de absorber el agua en el interior de las partículas, probablemente en los poros celulares y así sufre una inactivación.

También la resistencia al cizallamiento de tobas alteradas es diferente de la de arcillas corrientes. La cohesión, que une a las partículas en las arcillas verdaderas, en el caso de las rocas volcánicas meteorizadas solo actúa dentro de los agregados. Entre los diferentes agregados arenosos solo se desarrolla una cohesión muy débil.

Los agregados arenosos presentan entre sí una fricción, similar a la que presentan los granos de una arena verdadera.

Por lo tanto, las rocas meteorizadas se caracterizan por un ángulo de fricción relativamente alto y una cohesión baja (Tablas 2 y 3). La fricción se presenta principalmente en estado seco. Una vez que los poros dentro de los agregados están saturados de agua, la adición de más agua ingresa en los poros entre los diferentes agregados. Cuando estos poros externos están saturados de agua, la falta de fuerzas de menisco y la desintegración de los agregados menos estables pueden producir una reducción de la resistencia al cizallamiento, así que la cohesión aparente y el ángulo de fricción disminuyen.

Esto es una de las causas de los frecuentes deslizamientos en Costa Rica. Los factores que influyen son las altas precipitaciones, los cortes de carretera muy inclinados y la falta o el mal estado de las cunetas de drenaje a lo largo de la carretera. Las altas precipitaciones (Tres Ríos con aproximadamente 2000 mm/año; Empalme con 2800-3000 mm/año) se concentran en los seis meses de la época lluviosa y causan una saturación con agua de las capas superiores del suelo. Además, el agua que drena produce una presión de flujo la cual supera a las fuerzas de retención, las cuales se ven disminuidas por el remojo del material, especialmente en la parte basal de los cortes. Como consecuencia tenemos el movimiento de la ladera y la destrucción de los agregados. El agua que sale de los agregados sirve como lubricante en los planos de cizalla.

Sacudidas del terreno, por ejemplo, causadas por temblores (MORA, 1989) pueden provocar una destrucción de los agregados menos estables, así que el agua pasa de los poros internos a los poros externos. El resultado es un aumento en el contenido de la fracción arcillosa y del agua en el espacio poroso entre los diferentes agregados lo cual disminuye la fricción, la cohesión y genera el movimiento abrupto del suelo. O sea, se puede hablar de un efecto de tixotropía o licuefacción del material causado por un temblor (MORA & MORA, 1992; MORA *et al.*, 1994).

BIBLIOGRAFIA

- BESOAIN, E., 1969: Untersuchung von Böden aus Pyroklastiten Chiles, Japans, Deutschlands und Italiens. - 184 págs., Universität Bonn (tesis inédita).
- BIRELL, K. S. & FIELDS, M., 1968: Amorphous constituents in soil of New Zealand. - N.Z. Soil Bur. Bull, 26,2: 39-49.
- GREZ, R., 1977: Nährelementhaushalt und Genese von Böden aus vulkanischen Aschen in Südchile. - Freiburger Bodenkundl. Abh., 6, 179 págs.
- IMURA, K., 1965: Cation-exchange capacity and total acidity of allophane and volcanic ash soils. - Clay Sci., 2,3: 111-120.
- KANNO, I., ONIKURA, Y. & HIGASHI, T., 1968: Weathering and clay mineralogical characteristics of volcanic ashes and pumices in Japan. - Trans. 96th Intern. Congr. Soil Sci. Adelaide, III: 111-122 .
- KNOBLICH, K., LENZ, W. & TORRES, C., 1984: Mineralbestand und bodenmechanisches Verhalten von verwitterten Vulkaniten aus dem Bereich der Interamerikanischen Straße in Costa Rica. - Geotechnik, 7,3: 130-137.
- KNOBLICH, K., 1985: Mineralbestand, Gefüge und bodenmechanisches Verhalten tropisch verwitterter Vulkanite. - En: HEITFELD, K.H. (ed.): Ingenieurgeol. Probleme im Grenzbereich zwischen Locker- und Festgesteinen: 111-129; Springer Verlag (Berlin).
- LAGUNA, J., 1983: Petrologie, Geochemie und Tonmineralogie der Vulkanite der Aguacate-Formation (Miozän-Pliozän), Costa Rica, Zentralamerika. - 163 págs.; Universität Marburg (tesis inédita).
- MORA, S., 1989: Extent and social-economic significance of slope instability in Costa Rica. - En: BRABB, E. & HARROD, L. (eds.): Landslides: Extend and economic significance: 93-99; Ed. Balkema (Rotterdam).
- MORA, S. & MORA, R., 1992: Los deslizamientos causados por el Terremoto de Limón:

- Factores de control y comparación con otros eventos en Costa Rica. - Rev. Geol. América Central, Vol. esp. "Terremoto de Limón": 139-152.
- MORA, S., ISHIHARA, K., WATANABE, H., YASUDA, S. & YOSHIDA, N., 1994: Soil liquefaction and landslides during the Limón-Telire Costa Rica Earthquake. - Proc. Performance of Ground and Soil Structure During Earthquakes, Spec. Vol. of XIII ICSMFE, New Delhi, India: 93-101.
- SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHNABEL, P., 1984: Lehrbuch der Bodenkunde. - 442 págs.; Enke Verlag (Stuttgart).
- WADA, K. & AOMINE, S., 1973: Soil development on volcanic materials during the Quaternary. - Soil Sci., 116: 170-177.
- WARKENTIN, B.P. & MAEDA, T., 1974: Physical properties of allophane soils from the West Indies and Japan. - Soil Sci., Amer. Proc., 38: 372-377.