

23 FEB. 2001



Estudio fraccionométrico y mineralógico en las cercanías de Nauta, Loreto - Perú

Luisa A. Rebata H.

Departamento de Geología, Universidad de Turku, SF-20014 Turku, Finlandia (*)

Resumen : El estudio de la fraccionometría y mineralogía en los alrededores de Nauta evidencia la predominancia de secuencias arenosas - limoarcillosas granodecrecientes hacia arriba, provenientes principalmente de una fuente de origen metamórfico. Estas secuencias están fuertemente meteorizadas, dando origen a suelos caoliniticos con contenidos subordinados de illita y clorita aluminica, que presentan un contenido bajo de nutrientes, típicos de las zonas húmedo-tropicales.

1. Introducción

Actualmente, en la Amazonía Peruana, la actividad fluvial representa uno de los mayores impactos geológicos sobre el área, caracterizándola a través de los procesos de erosión y depositación inherentes en las zonas inundables. Ahora, para reconocer cuáles fueron las principales características geológicas imperantes en el pasado en esta área, es necesario investigar las zonas no inundables.

Para tal efecto, se estudiaron depósitos de tierra firme ubicados en la margen izquierda del río Marañón, los cuales están caracterizados por afloramientos geológicos no consolidados. Para esta publicación, se tomaron como base los estudios sedimentológicos llevados a cabo por Rebata (1997).

El objetivo de esta investigación es la caracterización petromineralógica de los sedimentos estudiados con el fin de determinar el tipo de unidad aportante y entender la génesis de los sedimentos y la evolución de los procesos de meteorización.

Palabras clave: Fraccionometría clástica; Petromineralogía; Mineralogía de arenas; Mineralogía de arcillas; Ambiente Fluvial; Formación de suelos; Suelos Meteorizados; Amazonía Peruana; Perú.

(*) Dirección actual: Jr. Yanacoto 141 - 3er piso San Miguel, Lima 32, Lima - Perú
Tel. +51-1-2630263; E-mail : lucianp@hotmail.com



II. Generalidades

El área de estudio se ubica 100 km al sur de Iquitos, al oeste del Río Amazonas y se extiende a lo largo de la Carretera Nauta - Iquitos (Fig.1). Se caracteriza por tener un clima húmedo tropical muy lluvioso, que ocasiona una fuerte meteorización sobre las unidades geológicas presentes. La zona estudiada está localizada en la tierra firme sobre un complejo de colinas bajas, conformando la unidad "Colinas fuertemente disectadas" descrita por Räsänen et al. (En edición). Regionalmente, la altitud promedio es de 150 - 170 m s.n.m.

Estudios estratigráficos previos en la zona norte y central de Loreto concuerdan en que la Formación Pebas actúa como el basamento que infrayace a las Formaciones Ipururo y Sapuenilla, que son superpuestas por la Formación Iquitos y otros depósitos fluviales de terrazas, llanuras aluviales u otros sedimentos recientes. Mientras que, en la zona sur de Loreto han sido reportados el Grupo Conamama y la Formación Ucayali como las unidades estratigráficas terciarias infrayacentes a los depósitos fluviales/aluviales recientes (Kummel 1948).

Los suelos predominantes de la Tierra Firme en esta región de la Amazonía están clasificados como Acrisoles, Ferralsoles o Cambisoles Ferrálicos. Ambos grupos de suelos son predominantemente caoliniticos, están fuertemente lixiviados, presentan un bajo contenido de bases intercambiables y son muy ácidos. Por lo tanto, estos suelos son pobres en nutrientes para las plantas (Irion 1984, Linna 1993, Mc.Bride 1994, Kauffman et al., en edición, Linna et al., en edición).

III. Contexto Geológico

Una contribución decisiva en el contexto regional geo-estructural del área de estudio fue la formación de la Cordillera de los Andes, con el levantamiento de su cadena oriental, que estaría directamente relacionado en el tiempo con los procesos de depositación de la Formación Pebas, hace unos 11 Ma, y con un cambio del área fuente de sedimentación (Hoorn 1993, Hoorn 1994, Vonhof et al., en publicación). Esta dinámica estructural sería la responsable de la heterogeneidad geológica ya que los sedimentos expuestos tras el levantamiento serían de diferentes edades y orígenes (Linna et al., en edición).

La secuencia geológica más inferior observada corresponde a la Formación Pebas (Mioceno Temprano tardío a Mioceno Tardío temprano) que infrayace a los afloramientos materia del presente estudio: formaciones sedimentarias más jóvenes de origen fluvio-lacustrino de fase distal a fluvial, de textura preferentemente arenosa a areno - limoarcillosa, en secuencias granodecrecientes hacia arriba cubiertos por niveles arcillosos representando las inundaciones de las paleo-llanuras aluviales (Rebata 1997, Räsänen en edición, Linna en edición). Las secuencias estudiadas podrían ser correlacionadas con las Formaciones Ipururo y/o Sapuenilla, ya que no han sido definidas estratigráficamente cerca a esta área, y que dado su carácter genético podrían presentar fuertes variaciones en la Amazonía. Las secuencias posiblemente correlacionables se detallan a continuación.

La Formación Ipururo (Plioceno - Pleistoceno) ha sido descrita por Kummel (1948) como conformada por "areniscas grises a pardas, con concreciones e intercalaciones de

arcillas rojas fisibles”. En los alrededores de Jenaro Herrera, Dumont et al. (1988) reportaron a la Formación Sapuenilla (Mioceno Tardío a Plioceno?), concordantemente sobre la Formación Pebas, como conformada por “arenas grisáceas a blanquecinas de grano fino y arcillas rojizas o verdosas”.

Todas estas formaciones, incluyendo las secuencias investigadas en este artículo, infrayacen en discontinuidad estratigráfica angular a depósitos fluviales de terrazas con niveles subhorizontales de arenas de grano grueso a gravas (Rebata 1997). En las gravas se pueden observar clastos de origen andino (chert, fracciones líticas de rocas metamórficas tales como esquistos, etc.), cuyas edades varían entre el Mioceno Tardío al Pleistoceno (Hoon 1994), fósiles de vertebrados del Plio-Pleistoceno y madera fosilizada (Räsänen 1990). Estos depósitos fluviales podrían ser de carácter regional ya que en los alrededores de Pto. Maldonado se observan secuencias muy similares que han sido reportadas como la Formación Madre de Dios (Rebata, sin publicar).

La cobertura del área de estudio está conformada principalmente por sedimentos aluviales recientes (Pleistoceno al Holoceno), pertenecientes a las llazuras de inundación actuales. Los sedimentos del Terciario y Cuaternario habrían actuado como unidades aportantes para la formación de los suelos desarrollados en la Tierra Firme (Kaufman et al. en edición, Linna et al., en edición).

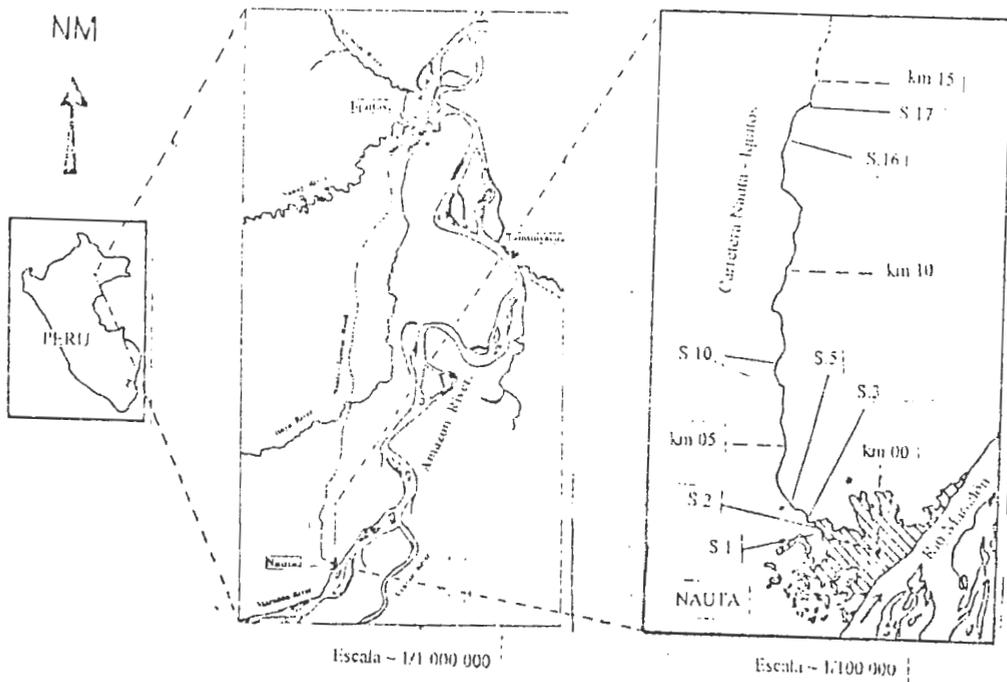


Figura 1: Mapa de ubicación del área de estudio. Modificado a partir de Rebata (1997)

IV. Metodología --

Para determinar la fraccionometría y mineralogía de los sedimentos se escogieron siete de las localidades de estudio descritas por Rebata (1997) a lo largo de la Carretera Nauta - Iquitos (Fig. 1). En el campo se tomaron muestras de las diferentes litofacies descritas y también siguiendo la sección vertical desde el tope y a diferentes profundidades.

Para la caracterización fraccionométrica de las secciones a lo largo de la Carretera Nauta - Iquitos se tomaron 3 secciones (Tabla 1) que fueron estudiadas en el Instituto Senckenberg (Wilhelmshaven, Alemania).

Tabla 1. Identificación de las muestras para análisis fraccionométrico y su ubicación a lo largo de la Carretera Nauta - Iquitos*

Sección	Ubicación	Profundidad	Muestra	Descripción**
S.1	km 1,83	20 cm	M104	Ar. de gr.f a lim. en niv.masiv.
		50 cm	M105	Ditto
		3 m	M106	Ditto
		4 m	M107	Ditto
S.5	km 3,06-3,10	20 cm	M100	Ar. de gr.f en niv.masiv. c/ OxFe.
		1 m	M-102	Ar. de gr.f en niv.masiv c/ biotur.
		1,77	M99	Ar. de gr.f en niv.masiv. c/ riz.
		4,84	M98	Ar. lim. de gr.f en niv.lam. c/ Arci.
		8,26	M94	Ar. de gr.f - m en niv.masiv.
S.16	km 13,5-13,6	20 cm	M51	Ar. lim. a Arci. areno. en niv.masiv.
		2,5 m	M50	Ar. arcillo. en niv.masiv.
		5,9 m	M49	Arci. y Ar. en niv.interlam. ritm.
		6,3 m	M48	Ar. de gr.m en niv.c/estr.cónc., riz. y rod. de Arci.
		8,6 m	M46	Ar.lim.de gr.f en niv.masiv.

* Coordenadas referenciales del km 0: 4°30'41" LS y 73°34'45" LO (en Proyección UTM).

** Abreviaturas: Ar.=arenas, Arci.=arcillas, gr.= grano, f=fino, m=medio, lim=limosas, areno.=arenosas, arcillo.=arcillosas, niv.=nivel(es), masiv.=masivos, lam.=laminados, interlam.=interlaminados, ritm.=ritmicamente, estr.=estratificación, ses.=segada, cónc.=cóncava, c/=con, OxFe=óxidos de hierro, biotur.=bioturbación, riz.=rizaduras, rod.=rodados

Para el análisis mineralógico de las arenas se tomaron 2 secciones (Tabla 2), para su estudio bajo el microscopio petrográfico de luz polarizada, previo tamizado por vía húmeda para separar la fracción entre el rango 0,5 - 0,063 mm, y la preparación de las secciones delgadas (para mayor detalle de los procedimientos ver Rebata 1997). Estas secciones delgadas fueron estudiadas primero mineralógicamente para identificar las principales especies minerales (análisis cualitativo). Luego, se procedió al conteo de 600 granos para la caracterización porcentual mineralógica de cada una de ellas (análisis cuantitativo). El conteo se realizó por el método del contador de puntos descrito por Müller (1967), utilizando un soporte mecánico con un contador acoplado de 12 canales. En función a los resultados se buscó identificar el tipo de área fuente.

Tabla 2. Identificación de las secciones delgadas y su ubicación a lo largo de la Carretera Nauta - Iquitos*

Sección	Ubicación	Profundidad	Muestra	Descripción**
S.1	km 1.88	4 m	M - 107	Ar. de gr. f a lim. en niv. masiv.
S.2	km 2.22-2.25	3.4 m	M - 22	Ar. lim. En niv. con estr. seq.

* Coordenadas referenciales en la Tabla 1

** Listado de abreviaturas en la Tabla 1.

Para el análisis mineralógico de las arcillas se tomaron 4 secciones (Tabla 3) que también fueron estudiadas por el Instituto Senckenberg, donde la fracción menor a los 2 μ m fue sometida al análisis mineralógico por el método de difracción de rayos - X (DRX). A partir de los análisis de DRX se buscó obtener la mineralogía de las arcillas para determinar su génesis y el grado de avance de la metecrización en el área, en función a la presencia, proporcionalidad y cambios ocurridos a diferentes profundidades en las secciones estudiadas. La identificación de los minerales de arcilla en los diagramas de rayos - X se basó en forma práctica en las comunicaciones personales del Prof. Dr. Georg Irion, y en forma teórica en los textos de Wilson (1987) y Müller (1967).

Tabla 3. Identificación de las muestras para análisis por DRX y su ubicación a lo largo de la Carretera Iquitos - Nauta*

Sección	Ubicación	Profundidades
S.1	km 1,88	a 0,2-0,5-1,5-3,5 y 5,5 m
S.3	km 2,56	a 0,5-1-2- y 4 m
S.10	km 7,22	a 1-3,5-5,3 y 20 m
S.17	km 14,6	a 1-4,5-8-15 m

* Coordenadas referenciales en la Tabla 1

V. Resultados

1. Estudios fraccionométricos

En la Tabla 4 se aprecian la composición porcentual de las muestras destinadas para el estudio fraccionométrico (obtenidos sobre la base del método de tamizado y la sedimentación por tubos), y su clasificación (según Mendivil, 1979).

Los resultados fraccionométricos de las muestras M-107 y M-22 (obtenidos por el método de tamizado por vía húmeda), se aprecian en la Tabla 5. Las fracciones menores a 63 μ m se representan como un todo, ya que estas muestras son destinadas únicamente al estudio de las arenas; no siendo posible su clasificación con el uso de los diagramas triangulares composicionales de agregados clásticos.

Tabla 4. Resultados de la fraccionometría de las muestras analizadas por el Instituto Senckenberg y su clasificación según Mendivil (1979)

Muestra	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clasificación
M-104	42,5	15,6	41,9	Arena - arcilla
M-105	39,6	14,9	45,5	Arcilla - arena
M-106	44,8	21,7	33,5	Arena arcillolimosa
M-107	44,9	30,6	24,5	Arena limoarcillosa
M-100	67,0	22,6	10,4	Arena limosa
M-102	66,5	21,2	12,3	Arena limoarcillosa
M-99	69,0	21,2	9,8	Arena limosa
M-98	66,9	23,2	9,9	Arena limosa
M-94	71,8	19,6	8,6	Arena limosa
M-51	47,4	31,2	21,4	Arena limoarcillosa
M-50	20,9	48,6	30,5	Limo arcilloarenoso
M-49	25,6	50,5	23,9	Limo arenoarcilloso
M-48	48,4	34,1	17,5	Arena limosa
M-46	53,0	27,3	14,7	Arena limosa

Tabla 5. Resultados del tamizado por vía húmeda. Modificado a partir de Rebata (1997)

Sección	Arenas	Contenido de finos	TOTAL
Delgada	(% en peso)	(Limos + Arcillas)	
		(% en peso)	
M-107	47,10	52,90	100%
M-22	52,75	47,24	100%

2. Estudio mineralógico de las arenas

Muestra M-107. Sección S.1, km 1,88 de la Carretera Nauta - Iquitos (Tabla 6)

Las principales especies minerales identificadas y que conforman el triángulo de composición para la clasificación de arenas y/o areniscas, son :

Cuarzo	62%
Feldespatos	19%
Fracciones Líticas	19%
TOTAL :	<u>100%</u>

Los minerales accesorios (<1%) fueron considerados en el conteo. Los detalles numéricos del mismo pueden apreciarse en la Tabla 6.

Tabla 6. Conteo de la muestra M-107, km 1,88 Carretera Nauta - Iquitos

Especie Mineral	Tipo y/o asociación	Gran total	Sub-total	Unidades	Gran total	%
Cuarzo		371			371	62%
	Monocristalino		28	28		
	Policristalino		343			
	Sin clasificar			77		
	Chert			9		
	Calcedonia			3		
	Metacuarcita			48		
	Tipo gneiss			70		
	Cuarzo deformado (elongado)			51		
	Tipo esquisto			85		
	TOTAL:	371	371	371		
Feldespatos		110			110	19%
	Feldespatos sin clasificar		11	11		
	Feldespatos alcalinos		1			
	Perita			1		
	Plagioclasa		98			
	Monocristalina			38		
	Policristalina			60		
	TOTAL:	110	110	110		
Fanoclastos Líticos		116			116	19%
	Sedimentarias		34			
	Arenisca con Cuarzo - plagioclasa			8		
	Gravacas			5		
	Limolita con cuarzo			1		
	Limolita con cuarzo - mica - plagioclasa			2		
	Arcillitas sin clasificar			5		
	Arcilita con cuarzo			1		
	Arcilita con plagioclasa			1		
	Arcilita con mica			3		
	Arcilita con cuarzo - feldespato			4		
	Arcilita con cuarzo - mica			1		
	Arcilita con cuarzo - mica - feldespato			3		
	Metamórficas		74			
	Gneisses sin clasificar			20		
	Gneiss con mica - plagioclasa			34		
	Gneiss con plagioclasa			20		
	Plutónicas		8	8		
	TOTAL	116	116	116		
Minerales accesorios		3			3	<1%
	Opacos (incluyendo jarcillas azules?)		3	3		
	Además: Muscovita, zircon y ortopiroxeno					
	TOTAL	3	3	3		
TOTAL GENERAL :					600	100%

Según Friedman et al. (1992) Sobre la base del diagrama triangular de C.M. Guilbert para la clasificación de areniscas, y al contenido de finos (limos + arcillas), la muestra M-137 sería una arena cuarzosa feldespática limoarcillosa. Según la clasificación de Folk para areniscas sería una grauvaca feldespática.

El cuarzo fue clasificado en : mono- y policristalino, presentando una mayor proporción del segundo. En el grupo de los cuarzos policristalinos se pueden distinguir granos de metacuarzitas (cristales con juntas irregulares dentadas), donde destacan los de tipo esquistoso, gneiss y los elongados, y de chert (diferenciándose incluso a la calcedonia).

Los feldespatos fueron divididos en feldespatos alcalinos y las plagioclasas. Estas últimas presentando un mayor porcentaje composicional. En el grupo de los feldespatos alcalinos se distinguió además a las pertitas. Las plagioclasas fueron a su vez subdivididas en mono- y policristalinas.

Las fracciones líticas están representadas porcentualmente por las fracciones metamórficas, compuestas en su totalidad por gneisses (subdivididos en: gneisses, gneisses con plagioclasa, y con la asociación mica - plagioclasa). Entre las fracciones sedimentarias destaca la arcilita (clasificada como tal o según la predominancia de cuarzo, plagioclasa y mica, o según las asociaciones de cuarzo - feldespato, cuarzo - mica, y cuarzo - mica - feldespato). Le siguen la arenisca, clasificada como arenisca con la asociación cuarzo - plagioclasa y como grauvaca. Finalmente, se tiene a la limolita (subdividida en limolita con cuarzo y con la asociación cuarzo - mica - plagioclasa). Las fracciones líticas de origen plutónico no fueron subdivididas, identificándose sólo por las juntas regulares de los cristales.

Los minerales accesorios incluyen a los opacos, muscovita, zircón y ortopiroxeno. Durante el conteo sólo se presentaron los opacos que incluyen a fracciones de arcilla azulada.

Muestra M-22. Sección S.2, km 2.2-2.3 de la Carretera Nauta - Iquitos (Tabla 7)

Al igual que en la muestra anterior las principales especies minerales identificadas son :

Cuarzo	92%
Feldespatos	4%
Fracciones líticas	<u>4%</u>
TOTAL :	100%

El conteo, incluyendo a los minerales accesorios, alcanzó los 601 granos. Los detalles numéricos se aprecian en la Tabla 7.

Tabla 7 . Conteo de la muestra M-22, km 2,22-2,25 Carretera Nauta - Iquitos

Especie mineral	Tipo y/o asociación	Gran total	Sub-total	Unidades	Gran total	%
Cuarzo		553			553	92%
	Monocristalino		6	6		
	Policristalino		547			
	Sin clasificar			136		
	Chert			12		
	Calcedonia			7		
	Metacuarcita			81		
	Tipo gneiss			43		
	Cuarzo deformado (elongado)			86		
	Tipo esquisto			181		
	Ortocuarcita			1		
	TOTAL :	553	553	553		
Feldespatos		23			23	4%
	Plagioclasa		23			
	Monocristalina			23		
	TOTAL :	23	23	23		
Fracciones líticas		23			23	4%
	Sedimentarias		17			
	Arenisca			10		
	Limolitas sin clasificar			1		
	Limolita con cuarzo - plagioclasa			2		
	Limolita con cuarzo - mica - plagioclasa			1		
	Arcilita con mica			1		
	Arcilita con cuarzo - feldespato - plagioclasa			1		
	arcilita con cuarzo - mica - feldespato			1		
	Plutónicas		6	6		
	TOTAL :	23	23	23		
Minerales accesorios		2			2	<1%
Opacos (incluyendo arcillas azules?)			2	2		
Además : Fluorita, muscovita, zircón y fracciones líticas de ortocuarcita						
	TOTAL :	2	2	2		
TOTAL GENERAL:					601	100%

Según Friedman et al. (1992) Sobre la base del diagrama triangular de C.M.Guilbert para la clasificación de areniscas, y al contenido de finos (limos + arcillas), la muestra M-22 sería una arena cuarzosa limoarcillosa. Según la clasificación de Folk para areniscas sería una *grauvaca feldespalítica*.

El cuarzo está representado en su totalidad por la variedad policristalina, que fue a su vez clasificada en cuarzos policristalinos, chert, metacuarcita y ortocuarcita. El grupo de las metacuarcitas fue diferenciado en forma similar que la muestra anterior, con predominancia de los granos tipo esquisto. El grano de ortocuarcita fue distinguido por sus juntas menos irregulares y forma más redondeada.

Los feldespatos son representados en su totalidad por plagioclasa monocristalina.

Las fracciones líticas están representadas por las areniscas, con una presencia mínima de limolita (asociaciones de cuarzo - plagioclasa, y cuarzo - mica - plagioclasa), y arcilita

(micácea y asociaciones de cuarzo - feldespato - plagioclasa y cuarzo - mica - feldespato). Además, se tienen fracciones líticas de origen plutónico. A diferencia de la muestra M-107, no se tienen fracciones de origen metamórfico.

Los minerales accesorios de esta sección también están representados por los opacos (incluyendo a arcillas azules), en el conteo. Adicionalmente se tiene: fluorita, muscovita, bircón y fracciones líticas de ortocuarcita.

3. Estudio mineralógico de las arcillas

El análisis de los minerales de arcillas se realizó aplicando el método de difracción de rayos - X. El estudio de los diagramas finales (presentados en las Figs. 2 - 5) se hizo sobre la base de las tablas de clasificación de los principales minerales de arcillas (Wilson 1987, Müller 1967) y a las comunicaciones personales del Prof. Dr. Georg Irion (1997). Los minerales identificados fueron la caolinita, la illita, la clorita aluminica, el cuarzo, la goetita y la pirofilita. En la Tabla 8 se enumeran estas especies minerales, sus fórmulas químicas y las correspondientes distancias aproximadas entre cada una de sus capas internas (d_{001}), en función a los valores de 2θ .

Tabla 8. Tabla para la identificación de los minerales de arcilla estudiados por el método de DRX en función a los valores de 2θ (en grados) y de d_{001} (en Å)

Especie mineral	Fórmula Química	2θ	d_{001} (aprox.)
Caolinita	$Al_4[Si_4O_{10}](OH)_3$	12,3°, 24,6°22	7,2 Å y 3,62 Å
Illita	$K_y Al_4(Si_{8-y}, Al_y) O_{20}(OH)_4$	8,8°	10 Å
Clorita aluminica	$(Mg_2 Al_3)(Al Si_5 O_{10})(OH)_3$	6,3 a 7°	14 Å a 12,6 Å
Pirofilita	$Al_4[Si_8O_{20}](OH)_4$	9,8-8,8°	9-10 Å
Cuarzo	SiO_2	20,8° y 26,6°	4,26 Å y 3,34 Å
Goetita	$\alpha - Fe O \cdot OH$	21	4,21 Å

Sección S.1 (km 1,88 de la Carretera Nauta - Iquitos (Figura 2))

En los diagramas de DRX mostrados en la Figura 2 se aprecia que en todos los niveles estudiados de esta sección predomina la caolinita (hasta una profundidad de 5,5 m), la cual se incrementa hacia el tope de la misma. Hacia la base se tiene un contenido menor de ilita y cuarzo. El cuarzo disminuye y aumenta alternadamente hacia la superficie. La ilita se hace mínima a los 3,5 m de profundidad y finalmente desaparece a los 1,5 m para dar paso a la clorita aluminica, la cual se mantiene hasta el nivel más superior estudiado (a 20 cm de profundidad). En los últimos 1,5 m de la sección se observa la presencia de goetita.

Sección S.3 (km 2,56 de la Carretera Nauta - Iquitos (Figura 3))

La presencia de la caolinita destaca en toda la sección (hasta los 4 m de profundidad), tal como se puede ver en la Figura 3. En la base se observan contenidos mínimos de ilita, cuarzo y goetita. A los 2 m de profundidad desaparece la ilita y aparece la pirofilita, mientras que la goetita permanece en forma continua hasta el tope, y el cuarzo, al igual que en la sección anterior disminuye y aumenta alternadamente hasta la superficie. A 1m de profundidad se observa la presencia de clorita aluminica, cuyo contenido se incrementa hacia el tope.

Sección S.10 (km 7,22 de la Carretera Nauta - Iquitos (Figura 4))

También en esta sección de 20 m de profundidad, se observa principalmente a la caolinita, desde la base, y en incremento hacia el tope (Figura 4). La base de esta sección presenta además ilita y cuarzo, con cantidades menores de pirofilita (la cual desaparece), y goetita. La ilita va disminuyendo paulatinamente hasta los 3,5 m de profundidad, a partir de donde se altera a clorita aluminica en el último metro de la sección. El cuarzo y la goetita disminuyen hacia el tope (el contenido de ambos es mínimo a 1m de profundidad).

Sección S.17 (km 14,6 de la Carretera Nauta - Iquitos (Figura 5))

En los diagramas de DRX de la Figura 5 se observa el predominio de la caolinita en toda la sección (de 15 m de profundidad). En la base además se tienen ilita, cuarzo y goetita. El contenido de ilita disminuye hasta los 4,5 m de profundidad. La clorita aluminica aparece a 1 m de la superficie, y se incrementa hacia el tope. Los contenidos de cuarzo y goetita disminuyen hacia arriba hasta hacerse mínimos en el tope.

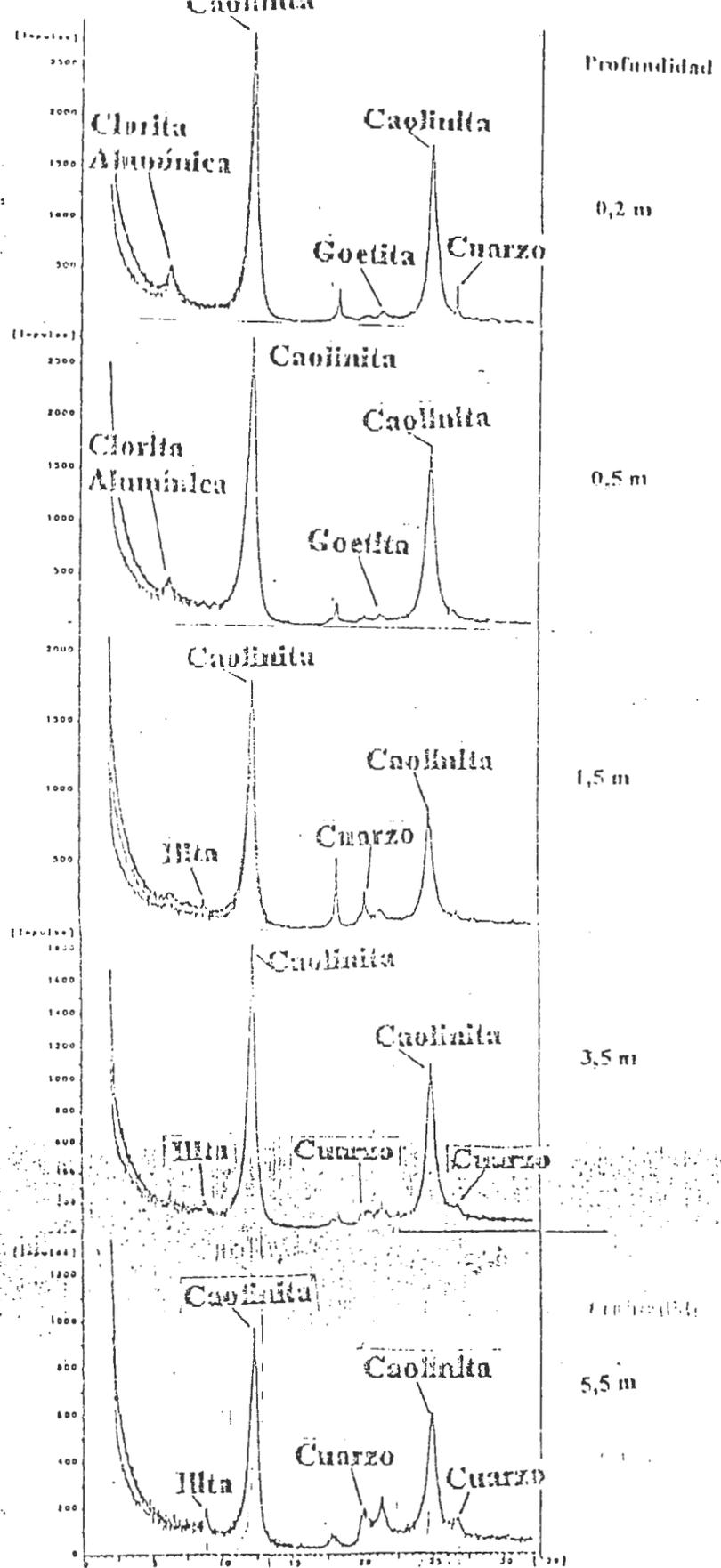


Fig. 2. Diagrama de DRX para las arcillas de la sección S.1 (km 1,88 de la Carretera Nauta - Iquitos). Obsérvese la abundancia de caolinita en toda la sección. La alteración de illita a clorita aluminica no es muy conspicua. El contenido de cuarzo en los diferentes niveles no es constante. La goetita aparece hacia el tope. (Modificado a partir de Rebata 1997)

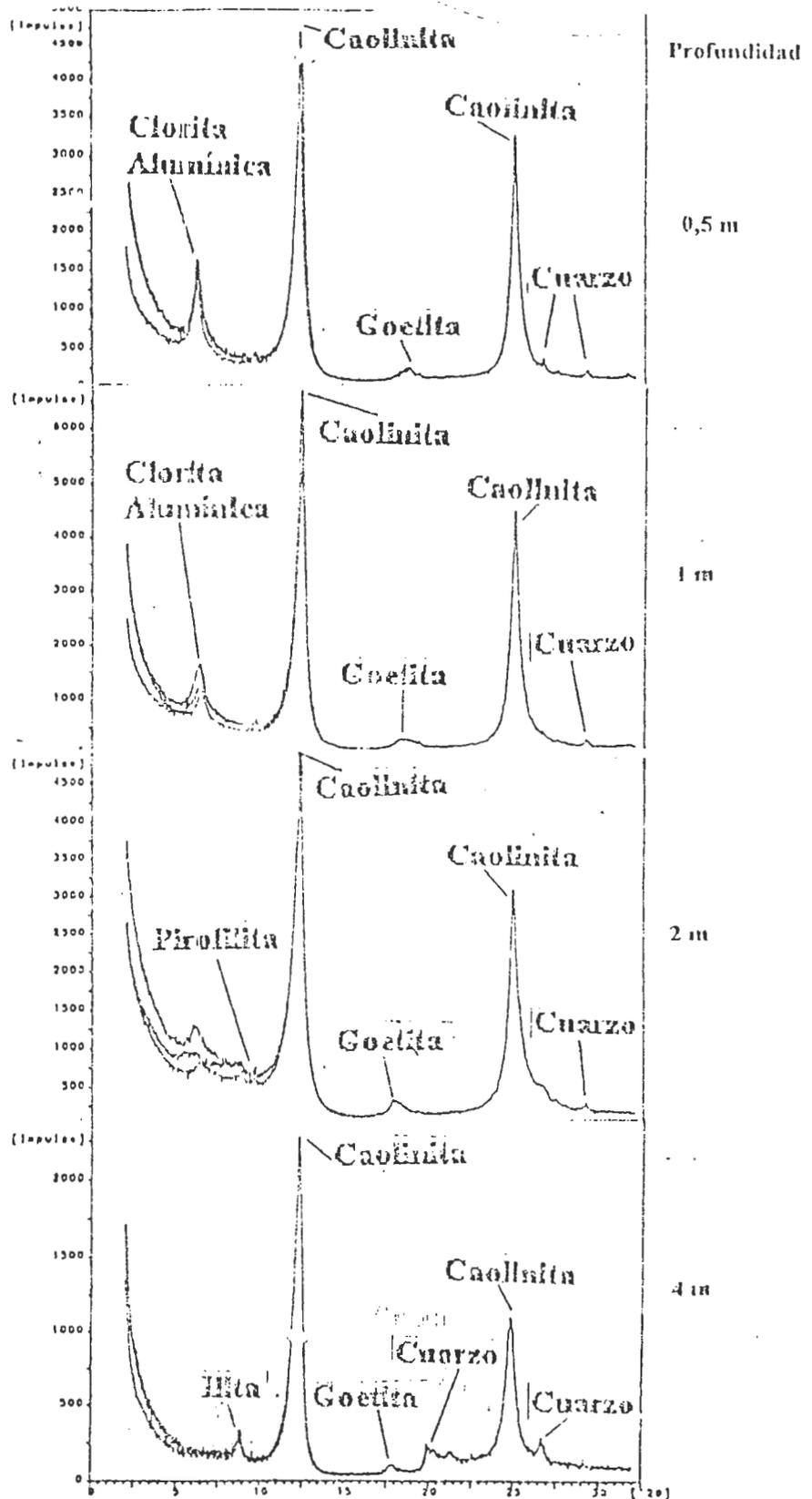


Fig. 3. Diagrama de DRX para la sección S.3 (km 2,56 de la Carretera Nauta - Iquitos). El predominio de la caolinita es evidente. La alteración de ilita a clorita aluminica no es tan evidente, apareciendo la pirofilita como mineral intermedio. Los contenidos de cuarzo y goetita decrecen hacia el tope. (Modificado a partir de Rebaia 1997)

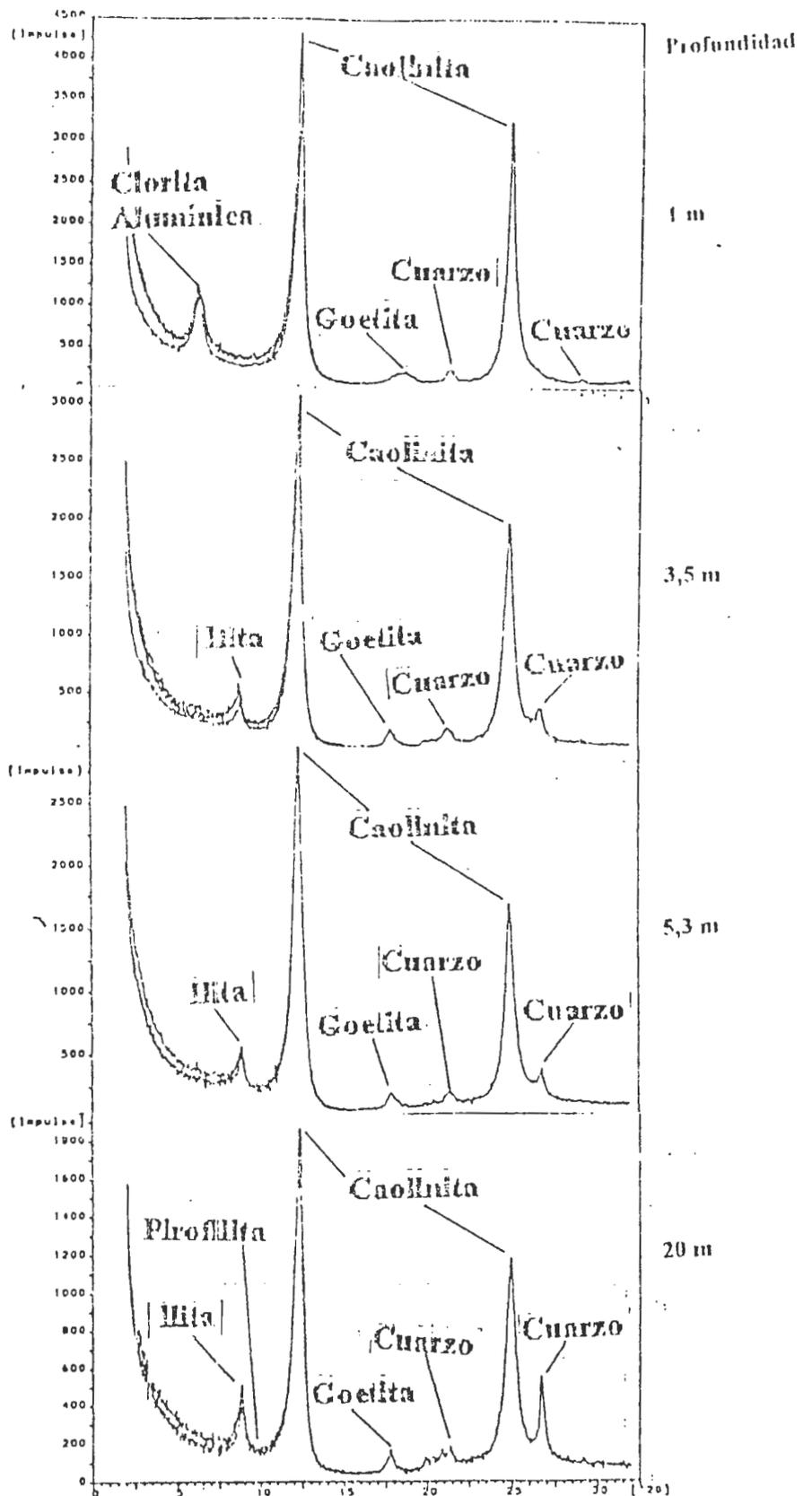


Fig. 4. Diagrama de DRX de la sección S.10 (km 7,22 de la Carretera Nauta - Iquitos). El alto contenido de caolinita ya es característico en la zona. La alteración de illita a clorita aluminica es bastante evidente. El cuarzo y la goetita decrecen hacia el tope. El contenido de pirofilita es mínimo. (Modificado a partir de Rebata 1997)

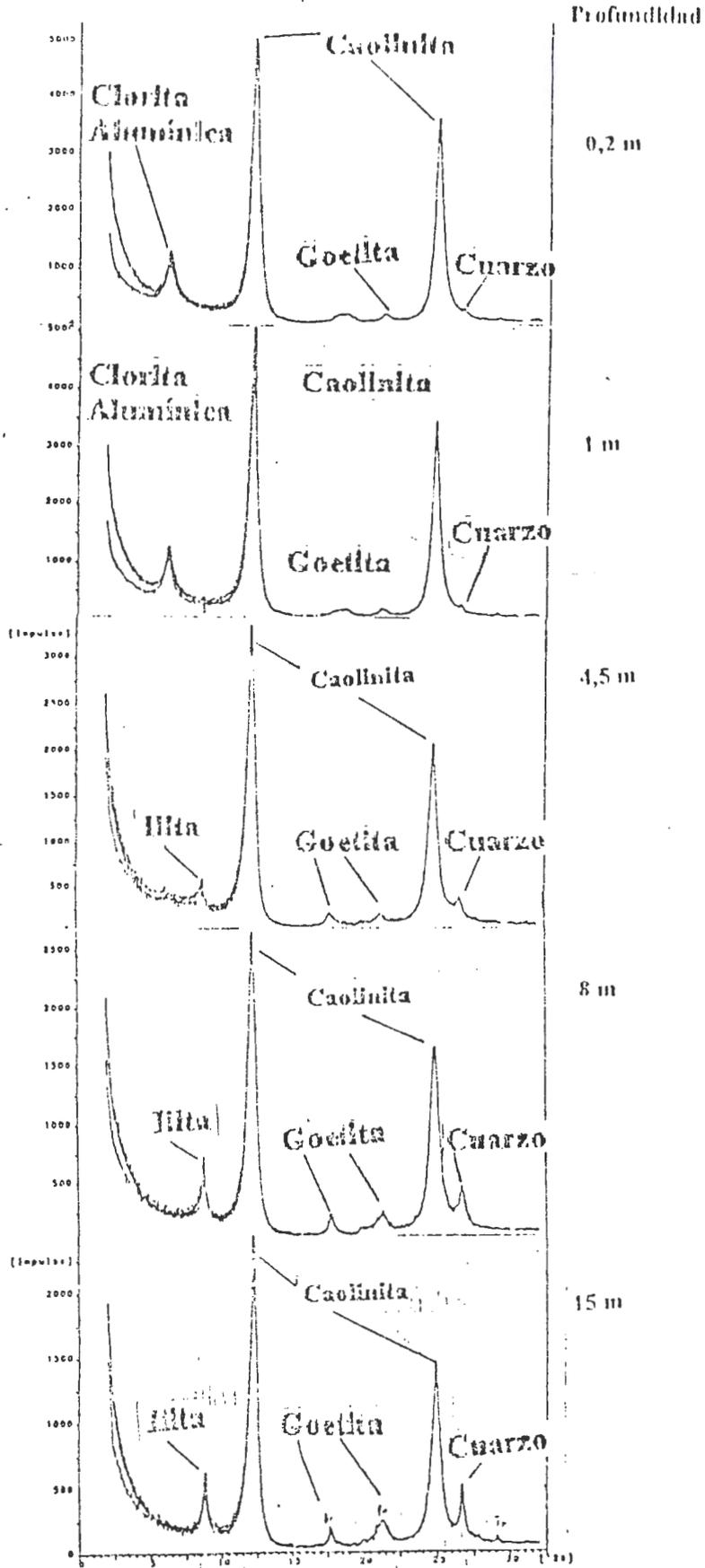


Fig. 5 . Diagrama de DRX de la sección 14,6 a lo largo de la Carretera Nauta - Iquitos). Sección representativa de los suelos antiguos de la región Amazónica formados bajo condiciones húmedo - tropicales y de fuerte meteorización. Se caracteriza por la predominancia de caolinita, la alternación de illita a clorita aluminíca, y la presencia de goetita y cuarzo en toda la sección. (Modificado a partir de Rebata 1997)

VI. Interpretación

1. Sobre la fraccionometría

En todas las secciones estudiadas la fraccionometría es granodecreciente hacia el tope. En cada muestra en forma individual se tiene un alto contenido de las porciones de limos, entre el rango de 79,1% - 28,2 %, con un promedio del 49,2%. La presencia de las fracciones arcillosas hacia el tope de todas las secciones es típica de los procesos de bio-homogeneización durante la formación de los suelos (Kaufman et al., en edición).

De acuerdo a la fraccionometría de la sección S.1 (de 4 m de profundidad), el metro más inferior se caracteriza por un predominio de la porción de arena sobre las porciones de limo y arcilla (arena limoarcillosa a arcillolimosa), mientras que el tope de la sección presenta dos porciones dominantes : la arcilla y la arena. Una primera posibilidad es que el cambio de arena a arcilla se interprete como una disminución de la energía depositacional en el sistema (secuencia granodecreciente hacia arriba). Otra posibilidad es que la sección originalmente haya estado compuesta por arenas y que este cambio fraccionométrico se deba a la acción de la meteorización, que originaría la alteración de las arenas a arcillas, dadas las condiciones de alta temperatura y humedad características de esta área. En algunos casos, las arcillas secundarias preservan estructuras sedimentarias tales como rizaduras y laminación sesgada (Rebata, 1997) ; confirmando que originalmente fueron arenas. Ambas posibilidades no son excluyentes, ya que se podría tener una secuencia granodecreciente hacia arriba donde la meteorización solamente haya afectado a los niveles arcillosos de origen primario, los cuales habrían sufrido una alteración por meteorización a arcillas secundarias ; o donde la meteorización haya afectado tanto a las arenas como a las arcillas sin cambiar completamente sus propiedades texturales.

La sección S.5 presenta una fraccionometría uniforme en sus 8,26 m de profundidad, con el predominio de la porción de arena. Esta porción se caracteriza como arena limosa, con una excepción a 1 m de profundidad donde se caracteriza como arena limoarcillosa. La presencia de un mayor contenido de arcillas hacia el tope podría deberse a una disminución local de la energía depositacional del sistema. El que este cambio textural haya sido causado solo por los procesos de meteorización es poco probable.

La fraccionometría de la sección S.16 (8,6 m de profundidad) se caracteriza por el predominio de la porción de arena en los dos metros más inferiores (arena limosa). En los siguientes tres metros y medio predomina la porción de limo (limo arenoarcilloso a arcilloarenoso). Hacia el tope nuevamente predomina la porción de arena (arena limoarcillosa). Este cambio de arena a limo y de limo a arena podría interpretarse como un cambio de la energía depositacional del sistema de baja a alta, observándose una secuencia granodecreciente hacia arriba seguida por una granocreciente hacia arriba. Ambas secuencias formarían un ciclo. Al igual que en la sección anterior, la posibilidad de que los procesos de meteorización por sí mismos hayan ocasionado los cambios texturales, es poco probable.

2. Sobre la mineralogía de arenas

En la sección S.1, de acuerdo a los resultados de la sección delgada M-107, se observa un predominio de granos de cuarzos policristalinos que han sufrido deformaciones, ya que muestran bordes suturados entre los cristales, junto con fracciones líticas de metanoritas y abundantes plagioclasas. Estos componentes indican que los granos de arena provienen principalmente de rocas metamórficas (gneisses y esquistos). La presencia de zircón y muscovita podría indicar una fuente ígnea ácida. El ortopiroxeno indicaría una fuente ígnea ultrabásica (Pettijohn, 1988). El alto contenido de cuarzo (62 %) indicaría una influencia fluvial en el sistema, asumiendo que estos sedimentos fueron depositados en un ambiente subacuático, para así excluir a los depósitos eólicos. El moderado contenido de feldespatos y fracciones líticas podría indicar que las áreas fuente se ubican a poca o moderada distancia o que el ambiente depositacional fue de energía moderada a baja.

En la sección S.2, de acuerdo a los resultados de la sección delgada M-22, se aprecia también el predominio de los granos de cuarzo policristalino, incluyendo a las metacuarcitas, con signos de deformación, y de origen metamórfico. El alto contenido de cuarzo (92 %) podría indicar un ambiente fluvial predominante durante la depositación. El contenido mínimo de plagioclasas y fracciones líticas podría indicar que las áreas fuente se ubican a gran distancia, o que el ambiente depositacional fue de alta energía. Las fracciones líticas de areniscas indicarían que la fuente pudo también ser originalmente sedimentaria.

En ambas secciones, la presencia de fracciones líticas de arcillas azuladas como minerales accesorios podría ser causado, en parte, por la lioculación de las arcillas, las cuales habrían formado agregados del tamaño de las arenas y permanecido en la malla correspondiente durante el tamizado.

3. Sobre la mineralogía de arcillas

La arcilla predominante es la caolinita, que es un producto de meteorización que caracteriza a los suelos fuertemente lluviosos de las regiones húmedo-tropicales (Irion 1984). En los suelos de la tierra firme el contenido de arcillas es alto hacia el tope de las secciones (Kauffman et al., en edición).

En las secciones S.1, S.3, S.10 y S.17, el predominio de la caolinita y la presencia de la illita (profundidades máximas 5,5 m, 4 m, 20 m y 15 m, respectivamente) señalaría que estos son depósitos residuales formados por la meteorización de los feldespatos, muscovita y otros silicatos enriquecidos en aluminio, presentes originalmente en los sedimentos. El contenido mínimo de illita en comparación al contenido de caolinita nos indicaría que hubo una baja fijación del potasio durante los procesos de meteorización. La ubicación de la illita en los sectores inferiores de todas las secciones estudiadas podría ser característica de procesos de sericitización bajo condiciones de meteorización o de ciclos repetitivos de inundaciones y sequías actuando sobre esmectitas (Deer et al., 1995). La alteración de illita a clorita aluminica se podría interpretar como una mayor intensidad de la meteorización, asociada al enriquecimiento en hierro de los sedimentos hacia el tope de las secciones estudiadas. Asimismo, ya que la clorita aluminica marca el máximo grado de avance de la alteración de los minerales de arcilla (Irion 1984), su presencia en la parte superior de todas las secciones estudiadas indicaría una dirección de abajo hacia arriba para el avance de la meteorización.

En la sección S.1, el hecho que la caolinita se observe tanto en la porción de arena como en la de arcilla apoya la posibilidad de que el cambio fraccionométrico observado de arena a arcilla en la sección sea un cambio preexistente originado por una disminución de la energía depositacional en el sistema, y que la meteorización haya actuado sobre ambas porciones. Pudiéndose considerar una removilización en el sistema. El aumento y disminución alternada del cuarzo en los diferentes niveles estudiados de la sección se debería a los procesos de concentración del mismo dado su origen detrítico. La presencia de goetita indicaría un alto contenido de hierro hacia el tope de esta sección, y condiciones oxidantes en las partes superiores del sistema. Todo esto caracteriza a suelos tropicales muy meteorizados (Bormemisza, 1982).

En la sección S.3, la interpretación para la ocurrencia de la caolinita e illita es muy similar a la anterior sección. Pero, aquí los contenidos de goetita desde la base hasta el tope caracterizarían a todos los niveles como enriquecidos en hierro. La presencia de pirofilita podría indicar una fuente de origen metamórfico o de composición silícea para los sedimentos de esta sección. Esta sección también se habría formado bajo condiciones tropicales con una fuerte meteorización.

En la sección S.10 la presencia de caolinita e illita se interpretan en forma similar a las secciones anteriores. La presencia de pirofilita en la base podría indicar que el aporte de la fuente, sea metamórfica o de composición silícea, habría cesado a tal nivel (20 m de profundidad). El decremento de la concentración del cuarzo hacia el tope indicaría una disminución en la energía depositacional. El menor contenido de la goetita hacia el tope, indicaría una menor disponibilidad del hierro en el sistema. Igualmente, en esta sección habría imperado condiciones tropicales con un gran avance de los procesos de meteorización.

En la sección S.17 la interpretación para la ocurrencia de la caolinita, illita, cuarzo y goetita son similares a la sección anterior. La presencia de goetita en esta sección indicaría igualmente que estos sedimentos habrían sufrido una intensa meteorización bajo un clima húmedo tropical. Los diagramas de DRX de esta sección serían un ejemplo representativo de un ambiente tipo estuario dominado por mareas (Iñon, com. per. 1997).

VII. Discusión

1. La fraccionometría de los sedimentos como base para la determinación del ambiente depositacional

Los estudios fraccionométricos indican un alto contenido de finos en la porción de arena; es así como la mayoría de las muestras es clasificada como una arena calificada por una mezcla de limo y arcilla, en un mayor o menor grado. La alta proporción de materiales finos podría deberse a la inmadurez de los sedimentos (mineralógicamente hablando) o al avance de los procesos de meteorización (que causarían una pseudo inmadurez). En el primer caso, el transporte sufrido por los materiales clásticos habría sido de mínimo a

moderado, indicando un área fuente ni muy lejana ni muy cercana. En el segundo caso, la presencia de materiales finos no estaría relacionada única y exclusivamente con el transporte sufrido por los materiales clásticos, y la energía del sistema, sino que también estaría relacionada a la neofonnación de minerales de arcillas en las arenas causada por la alteración de los feldespatos presentes originalmente en los sedimentos transportados (proceso de meteorización). La neofonnación de minerales de arcilla implica la formación de minerales secundarios más estables (de bajas temperaturas). En la naturaleza, el segundo caso es más probable, como ya fue fundamentado por Friedman et al. (1992), quienes en su clasificación de las rocas sedimentarias indican que la presencia de materiales limoarcillosos está condicionada además de a los niveles de energía en la localidad de deposición, a otros factores tales como la disponibilidad de limos y arcillas en el ambiente deposicional, y la filtración post-deposicional de los minerales de arcillas en una arena. Desde el punto de vista edafológico, el incremento gradual de la arcilla en el metro más superior del suelo, puede deberse a la removilización de la arcilla tanto por la erosión selectiva en la superficie del suelo como por la iluvación de la arcilla al subsuelo (Maññan et al., en edición). La neofonnación de arcillas estaría controlada por la intensidad de la iluvación del lugar, el comitamiento del ambiente formacional, la temperatura y la humedad (McBride 1994). Todo esto hace más compleja la interpretación de la génesis de los sedimentos, sin embargo la gran decrecencia fraccionométrica observada en las secciones analizadas (aunque no es concluyente en sí misma para interpretar el ambiente deposicional), concuerda con las descripciones sedimentológicas realizadas a lo largo de la carretera Nanau - Iquitos (Rebata, 1997), donde gracias a las estructuras sedimentarias preservadas, la textura y la mineralogía de los sedimentos observados se interpreta que todos estos materiales fueron depositados en un ambiente subacuático con un predominio fluvial (primeros cuatro kilómetros de la Carretera Nanau - Iquitos; Rebata, 1997 : Unidad III).

2. La mineralogía de las arenas como base para el entendimiento de la génesis de los sedimentos y para la determinación del tipo de área de suministro

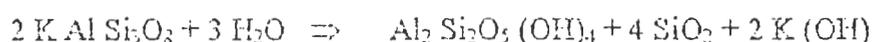
Las arenas analizadas bajo el microscopio fueron clasificadas sobre la base de triángulos composicionales para areniscas (Friedman et al. 1992, clasificación de Folk), bajo el criterio de uniformidad existente en las porciones mineralógicas determinantes: en ambos casos se tienen al cuarzo, los feldespatos y las fracciones líticas como elementos principales. Para fines de la clasificación, el contenido de finos es considerado como matriz. La terminología empleada para la clasificación trata de ser lo más sencilla y clara posible. De las dos clasificaciones presentadas en los resultados, aquella según Friedman et al. (1992) sería la más acertada debido a que el término "grauvaca" puede causar confusiones por su connotación genética. Ya que este estudio mineralógico no es representativo (dos localidades), solamente nos puede dar una idea muy puntual sobre las áreas de aporte de los sedimentos mas no indicar la procedencia de los mismos. Las áreas de aporte podrían ser de tres fuentes, una principal y las otras dos subordinadas. La principal sería la fuente de origen metamórfico. Las otras dos, estarían compuestas por rocas ígneas ácidas y por rocas ultrabásicas. El alto contenido de cuarzo en la porción de arena proveniente de un nivel con estratificación sesgada podría ser explicado como el resultado de un reciclaje fluvial en suelos meteorizados (Linna et al., en edición), corroborando la interpretación sobre la base de los resultados fraccionométricos y sedimentológicos, anteriormente expuestos para la

3. La mineralogía de arcillas como base para el entendimiento de los procesos de meteorización y la formación de los suelos.

Los estudios mineralógicos de arcillas, realizados en cuatro localidades a lo largo de la Carretera Nauta - Iquitos, son representativos del área ya que caracterizan a los procesos de meteorización y formación de suelos típicos para las zonas con climas húmedo tropical (Irion, 1984). Según la clasificación de suelos elaborada por Kauffman et al. (en edición), en esta región se tienen dos grupos principales de suelos en la tierra firme: los Ferralsoles y Acrisoles (calificados como suelos caoliniticos fuertemente lixiviados), y los Ferralsoles o Cambisoles Ferrálicos (calificados como suelos francos fuertemente lixivialos). En el área de estudio, los procesos de meteorización habrían sido muy fuertes y se habrían producido durante un tiempo bastante prolongado, debido a que el contenido de bases intercambiables de los suelos resultantes es mínimo (Kauffman et al., en edición). Estos suelos estarían caracterizados por la predominancia de caolinita, la alteración de illita a clorita aluminica, y la presencia de goetita. Los suelos caoliniticos presentan una baja fertilidad, dada su baja capacidad de intercambio de cationes (Bornemisza 1982). Los diagramas de DRX de la sección S.17, serían un ejemplo representativo de suelos antiguos sometidos a fuertes procesos de meteorización por un tiempo prolongado (Irion, com. per. 1997). Los suelos desarrollados en zonas tropicales se caracterizan por su capacidad de intercambio de aniones dando como resultado suelos compuestos de minerales con cargas variables o anfóteros (Mc.Bride 1994).

La gran proporción de caolinita indicaría que originalmente se tuvieron arenas félsespáticas, las cuales proveyeron el téldespato necesario, previa pérdida de potasio, para la formación de los minerales de arcilla tales como la caolinita y (en menor grado) la illita.

La reacción química principal por hidrólisis es la siguiente:



La illita se formará cuando exista una fijación del potasio disponible.

Así la mayoría de la caolinita y el cuarzo serían detríticos con un origen edáfico. Su formación habría sido in situ. Un ejemplo similar se tiene en los suelos de la Amazonía Central (Irion 1984). La illita presente también se podría haber formado por un proceso de sericitización en las partes bajas de las zonas con meteorización, y por ciclos repetitivos de inundación y sequía actuando sobre las esmectitas (Deer et al. 1995). Ya que estos depósitos de arcillas han sido reportados sobre una unidad posiblemente correlacionable con el tope de la Formación Pebas (Unidad I, Rebata 1997), la cual se caracteriza por una litología de arcillas esmectíticas, es muy probable que la illita presente en las secciones estudiadas en la presente investigación provenga de la alteración de las esmectitas dado el carácter de inundación periódica que distingue un ambiente deposicional con predominio de la dinámica fluvial. La desaparición de la illita hacia el tope de las secciones, donde se altera a clorita aluminica, se debería al avance de la meteorización, ya que según Bornemisza (1982), en los suelos fuertemente meteorizados no se la encuentra por ser inestable. El

proceso de meteorización química es el siguiente: se produce una expulsión de los iones alcalinos, por la cual la illita pierde potasio, seguido de una fijación de (Fe, Mg), por la cual el potasio es sustituido por magnesio (Deer et al. 1995). El sistema propio para esta reacción se caracterizaría también por sus condiciones oxidantes, lo cual es evidenciado por la presencia de la goetita y la pirofilita, todos ellos minerales producto de meteorización y el enriquecimiento en hierro (Deer et al. 1995).

VIII. Conclusiones

1. Los estudios fraccionométricos en sí mismos caracterizan las secciones estudiadas principalmente como secuencias gradodecrescentes de arenas limosas a limoarcillosas, corroborando la información sedimentológica existente.
2. Los estudios mineralógicos de las arenas en el área de estudio caracterizan a los sedimentos como arenas cuarzosas feldespáticas limoarcillosas con un alto contenido de cuarzo policristalinos y fracciones líticas de metamorfitas. Estos estudios por ser poco representativos no ayudan a establecer el área de procedencia pero sí indicarían una fuente principal de tipo metamórfico. El gran porcentaje de cuarzo señala un ambiente depositacional de alta energía. Esto unido con la información sedimentológica sobre estructuras sedimentarias, nos permite interpretar el ambiente depositacional como de tipo fluvial (para los primeros cuatro kilómetros de la Carretera Nana - Iquitos).
3. Los estudios mineralógicos de las arcillas indican el predominio de la caolinita en el área, como producto de la alteración de feldespatos. La formación de este mineral de arcilla habría sido in situ dado el clima húmedo tropical imperante. Los suelos caoliniticos resultantes (Acrisoles, Ferrisoles o Cambisoles Ferrálicos) indicarían una fuerte meteorización durante un tiempo bastante prolongado.

IX. Agradecimientos

Mi más profundo agradecimiento para todos aquellos profesores que me incentivaron para seguir el camino de la investigación. Quisiera mencionar muy especialmente a los Prof. Salvador Mendivil E., Matti Räsänen y Ari Lima, quienes me introdujeron en el fascinante mundo de la sedimentología y petromineralología. También agradezco la colaboración del Prof. Dr. Georg Irion del Instituto Senckenberg en el estudio de la mineralogía de las arcillas. Igualmente, quisiera agradecer de todo corazón a Marcello Incafi por sus valiosas observaciones geológicas, recomendaciones y paciencia durante la preparación de este manuscrito. Asimismo, agradezco a la Universidad de Turku, que hizo posible mi participación en este proyecto de investigación. Finalmente, mi agradecimiento a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por la publicación de este artículo.

Mi más profundo agradecimiento para todos aquellos profesores que me incentivaron para seguir el camino de la investigación. Quisiera mencionar muy especialmente a los Prof. Salvador Mendivil E., Matti Räsänen y Ari Linna, quienes me introdujeron en el fascinante mundo de la sedimentología y petromineralogía. También agradezco la colaboración del Prof. Dr. Georg Irion del Instituto Senckenberg en el estudio de la mineralogía de las arcillas. Igualmente, quisiera agradecer de todo corazón a Marcello Imaña por sus valiosas observaciones geológicas, recomendaciones y paciencia durante la preparación de este manuscrito. Asimismo, agradezco a la Universidad de Turku, que hizo posible mi participación en este proyecto de investigación. Finalmente, mi agradecimiento a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por la publicación de este artículo.

X. Referencias

- Bomemisza, E. 1982 : Introducción a la química de suelos. Secretaría de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D.C., p. 8-19.
- Deer, W. A., Howie, R. A. & Zussman, J. 1995 : An introduction to the rock - forming minerals. 2da de. 2da. impresión. Longman Group LTD., Inglaterra. 696 pp.
- Dumont, J., Lamotte, S. & Fournier, M. 1988: Neotectónica del Arco de Iquitos (Jenaro Herrera, Perú). Boll. Soc. Geol. del Perú. Vol. 77: 7-17.
- Friedman, G. M., Sanders, J. E. & Kopaska - Merkel, D. C. 1992 : Principles of sedimentary deposits- Stratigraphy and sedimentology. Macmillan, Inc. E.E.U.U. p.142-143.
- Hoorn, C. 1993 : Geología del Nororiente de la Amazonía Peruana: La Formación Pebas. En : Kalliola, R., Puhakka, M. and Danjoy, W.(eds.): Amazonía Peruana - Vegetación húmeda tropical en el llano subandino. PAUT-ONERN, Jyväskylä, Finland. p.69-85.
- Hoorn, C. 1994 : Miocene palynostratigraphy and palaeoenvironments of Northwestern Amazonia - Evidence for marine incursions and the influence of Andean tectonics. Tesis de doctorado, Universidad de Amsterdam. 156 pp.
- Irion, G. 1984 : Clay minerals of Amazonian soils. En : Sioli, H. (ed.) : The Amazon. Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. Dr. W. Junk Publishers. Holanda. p. 537-542.

- Kauffman, S., Paredes, G. & Marquina, R. (en edición) : Suelos en la zona de Iquitos. En : *Geoecología y desarrollo de la zona de Iquitos, Perú*. Eds. Kalliola, R. & Flores, S. (en edición).
- Kummel, B. 1948 : Geological reconnaissance of the Contamana region, Peru. *Boll. Geol. Soc. of America*. Vol. 59(12) : 1217-1265
- Linna, A. 1993 : Factores que contribuyen a las características del sedimento superficial en la selva baja de la Amazonía Peruana. *Amazonía Peruana - Vegetación húmeda tropical en el llano subandino*. En : Kalliola, R., Puhakka, M. and Danjoy, W. (eds.): *Amazonía Peruana - Vegetación húmeda tropical en el llano subandino*. PAUT-ONERN, Jyväskylä, Finlandia. p. 87-97.
- Linna, A., Irion, G., Kauffman, S., Wesselingh, F. & Kalliola, R. (en edición) : De la evolución de las geoformas a la heterogeneidad de los suelos : entendiendo las propiedades de los suelos en las áreas no inundables de la región de Iquitos En : *Geoecología y desarrollo de la zona de Iquitos, Perú*. Eds. Kalliola, R. & Flores, S. (en edición).
- Mendivil, S. E. 1979 : Adaptación terminológica en la clasificación sedimentaria clásica según su granulometría. *Boil. Soc. Geol. del Perú*. Tomo 62. p.225-237
- Mc.Bride, M. B. 1994 : *Environmental chemistry of soils*. Oxford. 389 pp.
- Müller, G. 1967 : *Methods in sedimentary petrology*. Universidad de Heidelberg, Alemania. 283 pp.
- Pettijohn, F. J. 1988 : Shape analysis, mineralogical analysis, chemical analysis, and mass properties. En : *Manual of sedimentary petrography*. Reimpresión de SEPM. Serie 13. p.463.
- Rebata, L. 1997: Description of Neogene - Quaternary tide and wave - influenced estuary sediments along Nauta - Iquitos Road, km 0 - 15, Loreto - Peru, NW Amazonia. Tesis de maestría, Universidad de Turku - Finlandia. 105 pp.
- Räsänen, M., Salo, J., Jungnert, H. & Romero Pittman, L. 1990: Evolution of the western Amazon Lowland relief-Impact of Andean foreland dynamics. *Terra Nova*, 2: 320-332.
- Räsänen, M., Linna, A., Irion, G., Rebata, L., Vargas, R. & Wesselingh, F. (en edición) : Geología y geoformas de la zona de Iquitos. En : *Geoecología y desarrollo de la zona de Iquitos, Perú*. Eds. Kalliola, R. & Flores, S. (en edición).
- Vonhof, H., Wesselingh, F. & Ganssen, G. 1997 : Reconstruction of the Miocene Western Amazonian aquatic system : molluscan ecology and isotopic signatures (en publicación.).
- Wilson, M. J. 1987 : X-ray powder diffraction methods. En : Wilson, M.J. (ed.) : *A handbook of determinative methods in clay mineralogy*. Blackie, Glasgow and London.