

SUELOS DE LA CUENCA DEL SANTO DOMINGO. SECTOR LOS FRAILES. (CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA). MÉRIDA-VENEZUELA

Jorge Manrique, Guido Ochoa y Jajaira Oballos

Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Instituto de Geografía y Conservación de los Recursos Naturales Renovables, Laboratorio de Suelos. Mérida-Venezuela.

RESUMEN

Se estudiaron 32 perfiles clasificados como Typic Humitropepts (11) y Lytic Humitropepts (21) de una parcela ubicada en la cuenca alta del Río Santo Domingo. Sector Los Frailes. Estado Mérida. Los suelos se desarrollan en depósitos Fluvioglaciales. Los parámetros estudiados: textura, retención de humedad, carbono orgánico, nitrógeno, bases cambiables, acidez cambiante, capacidad de intercambio catiónico responden a la posición geomorfológica que ellos ocupan. A pesar de que los suelos pertenecen a un mismo Orden, los parámetros estudiados permiten diferenciar genéticamente grados evolutivos entre los mismos. La materia orgánica es la causa fundamental de la alteración del material parental y en consecuencia la alteración es bioquímica.

Palabras Clave: Depósitos Fluvioglaciales, génesis, posición geomorfológica, bioquímica

ABSTRACT

Thirty-two profiles, classified as Typic Humitropepts (11) and Lytic Humitropepts (21), from an area located in the upper basin of the Santo Domingo River, Los Frailes Sector, Mérida State, were studied. The soils developed on fluvioglacial deposits. The parameters studied: texture, water retention capacity, organic carbon, nitrogen, exchangeable bases, exchangeable acidity, cation exchange capacity, depend upon the geomorphologic position they occupy. In spite of the fact that the soils belonged to the same Order, the parameters studied allowed the genetic differentiation of degrees of evolution. Organic matter is the fundamental cause for the alteration of the parent material, and consequently, the alteration is biochemical.

Key words: Fluvioglacial deposits, genesis, geomorphologic position, biochemical.

INTRODUCCIÓN

El grupo de investigación Medio y Pedología que funciona en el Instituto de Geografía adelanta un estudio sobre la génesis de suelos de la Cuenca del Río Santo Domingo ubicada entre los estados Mérida y Barinas. Dentro de este contexto la zona objeto de estudio es el Sector Los Frailes, localizado en la parte alta de la cuenca a unos 2.800 metros de altitud, en el Municipio Cardenal Quinteto, comprendido entre las coordenadas 8° 49'26" de Latitud y 70° 46'00" de Longitud (Figura 1). El área está constituida en su totalidad por un abanico de origen Fluvioglacial. El desarrollo de los suelos en el sector está influenciado por los diferentes factores formadores (materiales parentales, clima, relieve, vegetación, etc.), pero es de esperar que bajo las condiciones del medio, dominadas por altas precipitaciones y bajas

temperaturas, la materia orgánica juegue un papel importante en la génesis de los suelos a través de los ácidos orgánicos y los complejos órgano-minerales, a las cuales ellos dan nacimiento. Duchaufour (1991), sostiene que la alteración bioquímica está íntimamente unida a la acción de la materia orgánica, esta alteración parte de los horizontes humíferos y progresa hacia los horizontes inferiores. Este tipo de alteración se denomina complexolisis y se presenta en medios muy ácidos, con débil actividad biológica y con un humus dominante tipo mor o moder, éste es el caso de la zona de Mucubají (2800-3500 msnm). Bajo estas condiciones se está en presencia de un medio de podsolización que no se materializa con la existencia de Espodosoles en el área. El objetivo de este trabajo es caracterizar los suelos desde el punto de vista físico-químico para hacer interpretaciones en función de la génesis de los mismos.

SITUACION RELATIVA NACIONAL

SITUACION RELATIVA REGIONAL



FIGURA 1. Localización del área de estudio.

METODOLOGÍA

Con la finalidad de determinar la naturaleza de la heterogeneidad de los suelos, se utilizó como método de selección de las muestras el muestreo anidado, en el cual la selección de la muestra se fundamenta en la aleatorización y en la dirección, este muestreo aleatorio garantiza, por lo menos teóricamente, que cada unidad de muestreo tenga igual probabilidad de ser seleccionada. Para diseñar el esquema del muestreo anidado se tomó una toposecuencia, ordenada y sistematizada en relación a criterios topográficos, litológicos, climáticos, diferencias de vegetación, entre otros. En la cual se determina y relaciona las variaciones verticales (diferencia en horizontes entre un suelo y otro a lo largo de la secuencia), estudiadas desde el punto de vista morfológico y analítico. Morfológicamente se estudió la forma, constitución y organización del espacio, tomando en cuenta parámetros relacionados con las diferencias de relieve, organización pedológica específica y distribución del espacio. Mediante estos criterios se delimitó un área de 300 x 300 m, perteneciente al sector Los Frailes. Para este muestreo se consideraron cuatro niveles, asociados con distancias de muestreo de 100, 50, 25, y 12,5 m. Los niveles de diseño se seleccionaron con base en las dimensiones del área. Cuatro es un número de niveles jerárquicos adecuado, ya que es la cifra mínima que permite detectar la persistencia en el cambio de pendiente del variograma que se genere. El número de repeticiones en el primer nivel (100 metros), fue de 4, en los niveles restantes se tomaron dos repeticiones; obteniéndose un total de 32 observaciones ($4 \times 2 \times 2 \times 2 = 32$). La recolección de las muestras se realizó mediante el uso del barreno. Las determinaciones analíticas realizadas fueron: *Granulometría*, por el método de Bouyoucos. (IGAC, 1973); *Retención de Humedad a 1/3 y 15 atm*, por el método de las ollas de presión; *pH en H₂O y KCl*, relación 2:1, método Potenciométrico (IGAC, 1973); *Carbono Orgánico*, método de Walkley y Blanck. (Soil Conservation Service, 1967); *Capacidad de Intercambio Catiónico*, método del Acetato de Amonio, 1N, pH7. (Jackson, 1964); *Bases Intercambiables*, extracción Ca, Na, Mg, K, método de Espectrofotometría de llama; *Nitrógeno*, método Micro-Kjeldahl con modificaciones de Winkler; *Acidez Intercambiable*, método Yuan. (1969) y *Materiales Amorfos*, método de Fluoruro de Sodio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas de los suelos

Granulometría: La clase textural de los suelos en el área va de franco arenoso (69%) a franco (31%) (Cuadro 1). Se observa que las texturas gruesas dominan en el área. Al tomar en consideración los promedios de las diferentes fracciones para las posiciones geomorfológicas, se observa que la mayor concentración de arena se presenta en los suelos desarrollados en la posición cóncava (61,87%) y el menor contenido para los de la posición plana (50,72%), valores intermedios se presentan para las posiciones convexa y cóncava-convexa (53,2% y 55,10%, respectivamente). Para los contenidos de arcilla, el menor valor se encuentra en los suelos desarrollados en la posición cóncava (10,8%) y el mayor en los de la posición plana (18,48%), en las posiciones convexo y convexo-cóncava son similares (12%). Estas distribuciones de arena y arcilla, en los suelos ubicados en la posición cóncava debe responder a la mayor concentración de agua, lo cual frena la alteración de los materiales. Es de entender que en la parte plana las condiciones permitan una mayor alteración de los materiales. En la convexa es posible que se produzca una ligera erosión que favorezca el transporte de los materiales.

La presencia de contenidos de arcilla y de limo relativamente altos (45.4%) para la zona, plantea algunos interrogantes, ya que bajo las condiciones climáticas presentes en el área, la alteración de los materiales parentales (Gneis y granitos del Complejo Iglesias) debe generar en lo fundamental texturas gruesas, con bajos contenidos de arcilla, por lo cual se podrían plantear algunas hipótesis: a) un desgaste del material por la fricción de las lenguas glaciales originando granos o partículas muy pequeñas en las que se crearon los contenidos de limo y arcilla; b) los contenidos de arcilla y limo responden a intrusiones de materiales finos de otras formaciones, o una facie sedimentaria que se acuñó al Complejo Iglesias, o una facie no representativa del Complejo Iglesias, la cual presenta rocas más básicas y de texturas más finas; c) por efectos tectónicos las quebradas fueron bloqueadas y formaron represamientos múltiples, los cuales acumularon texturas finas al fondo de las lagunas y cuando colapsaron arrastraron los sedimentos hacia el fondo de los valles. Cualquiera de las hipótesis señalada podría explicar la alta

CUADRO 1. Características físicas y químicas de los suelos del Sector Los Frailes.

P	COLOR	PROF. cm.	P. GEOMOR.	α	A	L	R. HUMEDAD (%)		pH		C.O.	N	C/N	C.I.C.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S. B.	AL ³⁺	H ⁺	Ca ²⁺ ·	Mg ²⁺ ·	Prueba del NaF (pH)									
							1/3 atm	15 atm	Agua	KCl														%		umol Kg ⁻¹				2'	15'	30'	60'
1.1	10 YR2/2	0-35	CON-CONV	54,4	11,2	34,4	34,9	20,5	5,2	4,3	7,8	0,48	16,3	23,8	0,30	0,22	0,18	0,06	3,2	0,71	0,48	0,01	0,01	10,67	10,72	10,70	10,71						
1.2	10 YR3/1	0-34	CON-CONV	54,4	15,2	30,4	39,2	23,7	5,7	4,4	7,9	0,48	17,3	27,5	0,72	0,42	0,21	0,07	5,1	0,95	0,24	0,06	0,06	10,37	10,75	10,89	10,71						
	10 YR 2/2	34-66	CON-CONV	60,4	6,4	31,2	27,4	17,1	5,6	4,5	5,2	0,25	20,9	19,5	0,22	0,13	0,06	0,11	2,6	0,95	0,46	0,02	0,02	10,72	10,90	10,63	10,67						
1.3	10 YR 2/1	0-23	CON-CONV	60,4	12,4	27,2	37,2	31,2	4,9	4,0	6,2	0,66	12,4	49,1	1,89	0,47	0,23	0,07	6,5	2,14	0,48	0,07	0,07	9,30	9,68	9,34	9,50						
	7,5 YR 2/6	23-44	CON-CONV	66,4	6,4	25,2	52,4	32,7	5,4	4,2	8,0	0,46	17,4	31,9	0,80	0,22	0,07	0,06	3,7	3,10	0,24	0,36	0,36	10,46	10,56	10,49	10,56						
1.4	10 YR 2/1	0-23	CON-CONV	52,4	10,4	37,2	42,4	28,2	4,7	4,1	6,1	0,54	15,1	30,6	0,08	0,20	0,23	0,07	1,9	3,81	0,00	0,13	0,13	10,66	10,71	10,71	10,76						
1.5	10 YR 3/1	0-46	PLANA	52,4	14,4	33,2	36,9	24,1	4,7	4,3	6,0	0,41	19,4	31,5	0,95	0,38	0,19	0,06	5,0	1,90	0,24	0,37	0,37	10,63	10,74	10,75	10,81						
1.6	10 YR 3/2	0-56	PLANA	46,4	16,4	37,2	35,0	22,1	4,8	4,2	7,9	0,43	16,5	32,4	0,29	0,20	0,15	0,05	2,1	2,86	1,43	0,21	0,21	10,53	10,65	10,66	10,73						
	10 YR 5/6	56-80	PLANA	40,4	38,4	21,2	22,9	16,0	5,1	4,3	4,9	0,11	44,6	11,9	0,10	0,12	0,13	0,06	3,5	1,43	0,00	0,03	0,03	10,56	10,69	10,69	10,75						
1.7	10 YR 2/1	0-46	CON-CONV	46,4	14,4	37,2	38,9	23,6	4,9	4,3	6,0	0,48	16,7	29,1	0,68	0,28	0,33	0,06	4,8	2,14	0,48	0,42	0,42	10,73	10,78	10,78	10,84						
1.8	10 YR 2/1	0-34	CON-CONV	46,4	10,4	41,2	53,3	32,3	5,1	4,4	6,1	0,67	12,0	35,0	0,15	0,19	0,21	0,06	1,7	1,43	0,00	0,22	0,22	10,85	10,94	10,92	10,95						
2.1	10 YR 2/1	0-46	CONCAVA	52,4	12,4	35,2	36,1	23,1	4,8	4,2	6,0	0,44	18,1	27,1	0,67	0,15	0,15	0,06	1,6	2,14	0,24	0,22	0,22	10,71	10,84	10,86	10,89						
2.2	10 YR 3/1	0-70	CON-CONV	56,4	12,4	29,2	32,6	22,2	4,9	4,2	5,3	0,52	10,2	25,0	0,23	0,14	0,12	0,05	2,2	2,38	0,24	0,29	0,29	10,70	10,90	10,83	10,85						
2.3	10 YR 2/1	0-56	CON-CONV	60,4	16,4	29,2	38,9	26,8	4,8	4,1	6,0	0,48	16,7	36,0	0,16	0,16	0,13	0,07	1,4	4,06	0,00	0,13	0,13	10,73	10,70	10,76	10,80						
2.4	10 YR 2/1	0-28	CON-CONV	54,4	10,4	35,2	40,8	26,0	4,9	4,1	6,1	0,74	11,0	33,1	0,15	0,21	0,25	0,06	2,0	3,81	0,00	0,13	0,13	10,62	10,67	10,66	10,71						
2.5	10 YR 3/1	0-30	CON-CONV	56,4	10,4	33,2	37,6	19,6	4,9	4,3	6,0	0,46	17,3	25,5	0,17	0,17	0,11	0,06	2,0	2,38	0,24	0,15	0,15	10,77	10,82	10,85	10,89						
2.6	10 YR 3/1	0-57	CON-CONV	56,4	12,4	29,2	31,7	20,0	5,2	4,3	6,1	0,32	25,2	22,5	0,77	0,26	0,19	0,06	5,7	1,43	0,24	0,52	0,52	10,80	10,87	10,91	10,96						
2.7	10 YR 3/1	0-39	CON-CONV	56,4	12,4	29,2	33,7	19,0	4,9	4,3	6,1	0,32	19,1	23,1	0,15	0,13	0,11	0,06	2,0	1,90	0,24	0,10	0,10	10,85	10,86	10,92	10,93						
	10 YR 3/2	39-61	CON-CONV	56,4	12,4	29,2	26,5	16,6	5,1	4,5	5,2	0,21	24,7	16,9	0,15	0,10	0,09	0,05	2,3	0,00	0,96	0,09	0,09	10,87	10,94	10,97	10,99						
2.8	10 yr 3/1	0-40	CON-CONV	56,4	10,4	33,2	34,6	22,4	5,4	4,3	6,3	0,44	14,4	25,6	0,60	0,32	0,13	0,05	5,1	2,14	0,24	0,55	0,55	10,83	10,87	10,91	10,94						
3.1	10 YR 3/1	0-40	PLANA	57,2	11,6	31,2	37,4	22,7	5,1	4,2	6,4	0,38	16,9	24,4	0,21	0,15	0,15	0,04	2,2	2,62	0,90	0,16	0,16	10,85	10,86	10,87	10,88						
3.2	10 YR 2/1	0-32	CONCAVA	53,2	13,6	33,2	36,6	21,7	5,2	4,3	6,3	0,50	12,6	24,4	0,51	0,23	0,19	0,05	4,0	2,38	0,00	0,56	0,56	10,62	10,64	10,67	10,69						
3.3	10 YR 3/1	0-28	CON-CONV	56,2	13,6	31,2	43,6	26,2	5,0	4,1	6,0	0,68	11,7	30,6	0,64	0,28	0,29	0,06	4,5	3,20	0,00	0,50	0,50	10,62	10,66	10,71	10,75						
3.4	10 YR 3/2	0-45	PLANA	57,2	11,6	31,2	36,2	21,8	4,8	4,2	7,8	0,38	21,8	26,9	0,14	0,14	0,10	0,04	1,6	3,87	0,00	0,08	0,08	10,74	10,80	10,83	10,87						
3.5	10 YR 2/1	0-32	CON-CONV	57,2	11,6	31,2	36,2	22,8	5,2	4,3	7,9	0,46	17,1	25,0	0,77	0,15	0,09	0,05	4,2	2,62	0,00	0,12	0,12	10,66	10,78	10,81	10,84						
3.6	10YR 2/1	0-44	CON-CONV	59,2	11,6	29,2	34,2	26,0	5,7	4,4	6,0	0,58	13,8	27,5	2,48	0,16	2,55	0,06	19,1	1,67	0,00	1,92	1,92	10,70	10,78	10,81	10,84						
3.7	10 YR 2/1	0-37	CON-CONV	57,2	11,6	31,2	36,9	24,4	5,0	4,2	7,8	0,46	17,0	30,0	0,14	0,10	0,14	0,05	1,4	3,81	0,48	0,11	0,11	10,72	10,84	10,85	10,88						
	10 YR 3/3	37-52	CON-CONV	61,2	7,6	31,2	30,2	18,5	4,8	4,4	6,2	0,26	23,9	19,4	0,16	0,14	0,07	0,05	2,1	2,38	0,48	0,06	0,06	10,85	10,95	10,98	11,02						
3.8	10 YR 2/1	0-36	CON-CONV	55,2	9,6	35,2	36,7	22,1	4,9	4,3	7,8	0,43	16,1	23,6	0,13	0,15	0,10	0,05	1,8	2,96	0,00	0,11	0,11	10,82	10,93	10,95	10,98						
4.1	10 YR 2/1	0-42	CONCAVA	55,2	11,6	33,2	44,4	30,4	4,8	4,0	6,0	0,56	14,4	37,5	0,96	0,28	0,16	0,05	1,4	4,52	0,24	0,13	0,13	10,66	10,76	10,77	10,80						
4.2	10 YR 2/1	0-42	CONCAVA	53,2	11,6	35,2	37,1	25,9	5,1	4,2	6,4	0,44	14,5	27,5	0,13	0,15	0,08	0,06	1,5	3,10	0,00	0,12	0,12	10,67	10,73	10,80	10,87						
4.3	10 YR 2/2	0-43	CONCAVA	59,2	11,6	29,2	32,3	21,7	5,3	4,2	5,3	0,34	16,5	25,0	0,26	0,28	0,13	0,06	4,9	1,90	0,24	0,38	0,38	10,66	10,75	10,81	10,88						
4.4	10 YR 2/1	0-66	CONCAVA	71,2	7,6	21,2	43,9	33,1	5,6	4,2	6,0	0,66	14,3	29,4	4,17	0,58	0,07	0,06	16,7	2,14	0,00	0,66	0,66	9,88	9,87	9,96	10,00						
4.5	10 YR 3/2	0-28	CON - CONV	47,2	17,6	36,2	38,0	24,7	5,2	4,0	6,3	0,14	14,4	26,9	1,28	0,34	0,30	0,05	7,6	2,96	0,00	0,60	0,59	9,96	10,24	10,35	10,44						
	10 YR 3/4	28-49	CON-CONV	43,2	23,6	33,2	29,4	20,0	5,1	4,2	5,2	0,25	20,6	18,8	0,30	0,16	0,09	0,05	3,2	2,62	0,00	0,10	0,10	10,42	10,57	10,65	10,72						
	10 YR 5/6	49-88	CON-CONV	51,2	15,6	29,2	28,0	20,8	5,3	4,5	5,0	0,15	33,1	16,3	0,21	0,11	0,07	0,05	2,7	0,80	0,96	0,03	0,03	10,56	10,67	10,83	10,88						
4.6	10 YR 4/6	0-20	CON-CONV	49,2	15,6	31,2	23,6	18,3	5,3	4,4	5,0	0,18	28,0	16,9	0,22	0,12	0,07	0,05	2,7	0,96	0,00	0,03	0,03	10,56	10,73	10,77	10,85						
	10 YR 3/2	20-60	CON - CONV	45,2	17,6	37,2	32,3	20,9	5,1	4,2	5,3	0,30	17,6	21,9	0,34	0,15	0,10	0,05	2,9	2,38	0,00	0,06	0,06	10,63	10,69	10,75	10,82						
4.7	10 YR 2/1	0-23	CON-CONV	51,2	11,6	37,2	51,4	29,6	5,6	3,9	6,0	0,67	12,0	41,3	2,91	0,47	0,22	0,05	8,9	3,33	0,00	0,40	0,40	10,06	10,11	10,12	10,11						
4.8	10 YR 2/2	0-32	CON - CONV	55,2	11,6	33,2	48,1	33,7	4,9	4,0	6,2	0,68	12,0	39,4	0,36	0,06	0,33	0,06	2,0	4,52	0,24	0,15	0,15	9,88	9,94	10,01	10,06						

proporción de la fracción fina (arcilla más limo) en los suelos. Pero la distribución de esta fracción en los suelos desarrollados en las diferentes posiciones geomorfológicas, coincide en cierto modo con el trabajo actual de transformación, a pesar de que el mismo es bastante lento por las condiciones del medio.

Retención de Humedad: La retención de humedad en el suelo está influenciada por la fracción fina (arcilla + limo) y los contenidos de materia orgánica. Para la zona estudiada, se nota que los valores de la fracción fina para los suelos en las diferentes posiciones se distribuyen de la manera siguiente: cóncavo-convexo (44,95%), plana (49,28%), cóncavo (40,50%) y convexo (46,80%), lo cual responde a lo afirmado en la parte correspondiente a la textura. Los contenidos de materia orgánica para los suelos en las mismas posiciones son: 12,20%; 12,09%; 13,06%; 10,93%. Al relacionar los valores de la fracción fina con los de retención de humedad se encuentra para los suelos de las diferentes posiciones analizadas, variaciones no significativas, por cuanto, los valores de retención de humedad son muy homogéneos y varían entre 12,07% y 13,29%, valores considerados altos o muy altos.

Color de los Suelos: Los colores de los suelos en el área objeto de estudio para las diferentes posiciones geomorfológicas, muestra que los colores más oscuros se encuentran en los suelos de las posiciones cóncavas y convexas, mientras que los más claros en las posiciones planas y cóncava-convexas. Esta distribución responde a la dinámica de acumulación y transformación de la materia orgánica, en las zonas cóncavas y planas. En las otras zonas (convexas y cóncavo-convexas) puede pensarse, que en las zonas convexas no se produce una erosión fuerte y que exista una cierta concentración de agua que impida la transformación de los materiales vegetales y ellos se acumulen generando las coloraciones oscuras. Al relacionar los colores en función de la génesis de los suelos, se tiene que de manera indirecta, los colores oscuros pueden indicar la acción de la materia orgánica, a través de los ácidos orgánicos, en la transformación de los materiales minerales.

Propiedades químicas de los suelos.

pH: Los valores de pH H_2O en los suelos del área van de moderadamente ácidos a fuertemente ácidos, ellos oscilan entre 5,65 y 4,65. Su distribución en los

suelos de acuerdo con las posiciones que ocupan, no muestran diferencias significativas entre las posiciones cóncavo, cóncavo-convexo y convexas (valores en el orden de 5,10 a 5,12) mientras que en la posición plana el valor es de 4,88. Lo cual se corresponde con el grado de mineralización de la materia orgánica (el valor más alto de la relación C/N lo presentan los suelos de la posición plana) que conlleva a una alta producción de ácidos orgánicos complexantes que contribuyen con la acidificación del suelo. Bajo las condiciones en las cuales se desarrollan los suelos estudiados la acción de los ácidos orgánicos es fundamental en la transformación de los materiales.

La diferencia de valores entre el pH KCl y el pH en agua es de aproximadamente una unidad lo que indica que la capacidad de intercambio es básicamente catiónica.

Bases Intercambiables ($Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+$). En términos generales, en los suelos estudiados, los contenidos de bases cambiables son bajos a muy bajos. Ellos siguen la distribución clásica en cuanto a sus contenidos: $Ca > Mg > K > Na$

Los valores promedios en función de las posiciones que ocupan los suelos son para la posición cóncava ($6,17 \text{ cmol kg}^{-1}$), la cóncavo-convexo ($3,80 \text{ cmol kg}^{-1}$), la plana ($2,88 \text{ cmol kg}^{-1}$) y la convexa ($2,78 \text{ cmol kg}^{-1}$). Estos valores responden a lo que se ha venido afirmando en relación a la dinámica del agua, la concentración de bases es mayor en la posición cóncava por acumulación de los constituyentes exportados desde las posiciones convexas. Desde el punto de vista pedogenético es importante, ya que se comienzan a marcar diferencias entre los suelos, que se verían reflejadas en sus propiedades, así como en su clasificación.

Los bajos contenidos de calcio, magnesio, potasio y sodio en estos suelos responde quizás a la baja susceptibilidad a la alteración que presentan las rocas, ello no permite la incorporación de los elementos que se encuentran en los minerales que las constituyen. Otra posible explicación a estas bajas concentraciones de cationes básicos es la suministrada por Manzanilla (1990), él cual señala la existencia de un derretimiento de los glaciales, que genero grandes flujos de agua, causando un aumento en el transporte y un rejuvenecimiento en las laderas. Explicación aplicable al área por encontrarse esta en el límite inferior de las morrenas.

Acidez Intercambiable ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$): En los suelos del área predomina el aluminio intercambiable sobre el hidrógeno intercambiable, él representa en promedio el 89% del total, y el hidrógeno el resto. Los valores de la acidez de los suelos en las diferentes posiciones son: 2,53 cmol kg^{-1} (posición cóncava-convexa), 2,81 cmol kg^{-1} (posición plana), 2,86 cmol kg^{-1} (posición cóncava) y 2,74 cmol kg^{-1} (posición convexa). Los mayores valores los presentan los suelos de la posición cóncava y plana, en los cuales existen igualmente altos contenidos de carbono orgánico. Los suelos fuertemente ácidos (pH 4,5 a pH 5,7) poseen una concentración de aluminio soluble muy alta, en estas condiciones las arcillas se descomponen parcialmente. El aluminio se encuentra como Al^{3+} e hidróxido de aluminio y es fuerte en hidrógeno. En estas condiciones el ion dominante es el aluminio, ya que el H^+ se encuentra fuertemente retenido por los enlaces covalentes. Así, se observa que existen correlaciones simples, altamente significativas, entre la acidez intercambiable con el pH en agua y en KCl ($r = -0,59$ y $-0,79$, respectivamente; $n = 42$) y el carbono orgánico ($r = 0,48$).

Capacidad de Intercambio Catiónico: Los resultados de la CIC muestran una alta a muy alta CIC de los suelos del área, con valores que van desde 21,9 cmol kg^{-1} a 48,1 cmol kg^{-1} . Los mismos disminuyen en profundidad. Al discriminar los valores de los suelos en función de la posición que ocupan se observa que en los suelos de la posición cóncava la CIC es de 29,75 cmol kg^{-1} , en los de la convexa 25,24 cmol kg^{-1} , en los de la cóncava-convexa 27,19 cmol kg^{-1} , y en los de la plana 25,40 cmol kg^{-1} . La CIC de los suelos se atribuye a las arcillas y a los compuestos húmicos, al discriminar los aportes a la misma de cada uno estos constituyentes, se tiene que el aporte de la arcilla es insignificante y que la CIC de estos suelos depende en lo fundamental de la materia orgánica. Sin embargo, al determinar la CIC efectiva (suma de cationes extraídos en KCl) se tiene que la capacidad de intercambio catiónico de los suelos disminuye considerablemente.

Materia orgánica: Los valores de materia orgánica en los suelos son extremadamente altos, varían entre 9,13% y 14,07%. Ellos disminuyen en profundidad. Los altos contenidos de materia orgánica responden a las bajas temperaturas y a la alta acumulación de agua, lo cual hace que exista una tasa de acumulación de materia orgánica elevada

que casi conduce a la formación de turberas. Al discriminar los valores de materia orgánica en los suelos ubicados en las diferentes posiciones se observa que los valores más altos se presentan en los suelos de las posiciones cóncavas (13,06%), y los más bajos en los de las convexas (10,93%), para los de las posiciones planas y cóncava-convexas no existen diferencias significativas (12,09%).

Desde el punto de vista genético se observa que en la medida que la materia orgánica se descompone, los ácidos orgánicos generados causan transformación de los materiales minerales. Ello coincide con la alta correlación observada para las posiciones planas entre el carbono orgánico y la fracción fina.

El carbono orgánico muestra correlaciones altamente significativas con el nitrógeno ($r = 0,75$), la capacidad de intercambio catiónico ($r = 0,75$), la retención de humedad a 1/3 atm ($r = 0,74$), retención de humedad a 15 atm ($r = 0,67$), el croma ($r = -0,64$), el value ($r = -0,61$) y significativas con la arcilla, el pH en KCl y el aluminio. No se observa correlación con el Calcio.

De acuerdo con Tavant et al (1994), el calcio es la variable que presenta la más alta correlación con la materia orgánica, ello se explica por la interacción entre el calcio y las moléculas orgánicas que forman complejos orgánicos-metálicos en solución o floculados. Para el caso de Los Frailes, los valores de calcio son muy bajos y el efecto estabilizador de los suelos se atribuye en lo fundamental al aluminio. Este comportamiento podría asociarse a las condiciones propias del medio, el cual presenta una tendencia a la podsolización (fuerte acidez, material parental arenoso, precipitación que excede a la ETP, bajas temperaturas, 12 °C en promedio), que no se ve expresada por la presencia de Espodosoles en el área.

La regresión múltiple entre los variables más significativas, que determinan la variabilidad del carbono orgánico de los suelos del sector Los Frailes, se expresa con la siguiente ecuación:

$$\%CO = 4.07 + 1,73N + 0,0591CIC + 0,0636RH1/3atm - 0,0559RH15atm - 0,089Value - 0,085Croma.$$

($n = 42$; $R=0.78$, altamente significativa al 0,01. Explica el 60,3% de la variabilidad del carbono orgánico)

Relación Carbono/Nitrógeno: Los valores de la relación C/N oscilan entre 10,19 y 28,00. Al analizar el comportamiento de los valores de la relación C/N de los suelos para las diferentes posiciones geomorfológicas, se tiene que en los suelos de las posiciones cóncavas la relación es de 16,31, en las planas 19,14, en las convexas 13,56 y en las cóncavas-convexas 17,45. Dichos valores se ajustan al grado de mineralización de la materia orgánica, que puede considerarse como real para el área objeto de estudio, sin embargo, el valor encontrado para los suelos de la posición convexa es relativamente más bajo que los otros valores, lo cual señala una mayor mineralización de la materia orgánica favorecida por una menor concentración de agua en el suelo.

Ochoa et al (1981), señalan una correlación positiva y altamente significativa entre la relación C/N con la altitud y con la precipitación. Esta correlación se mantiene para la zona objeto de estudio, en la cual los altos valores de la relación C/N se corresponden a las condiciones físico-naturales del medio (altitudes superiores a 2800 msnm y altas precipitaciones).

Los valores promedios para las variables Capacidad de intercambio catódico, pH, Relación Carbono Nitrógeno y Porcentaje de Saturación de Bases, conducen a definir el tipo de humus como EUMODER, humus indicativo de evolución orgánica parcial (Berthelin et al, 1994).

Materiales Amorfos: Algunos autores Zebrowski (1975), Malagón (1995), COLCIENCIAS (1973), utilizan la prueba del FNa para indicar la presencia de materiales amorfos en los suelos, los cuales son un indicio de actividad volcánica. De acuerdo con este método los suelos estudiados muestran una concentración de materiales amorfos en todas las posiciones. En estos suelos la presencia de materiales amorfos y su relación con eventos de actividad volcánica podría asociarse a una de las diferentes opiniones existentes sobre la litología que conforma el Complejo Iglesias, así según González de Juana et al. (1980), citados por La Marca (1997), la litología del Complejo Iglesias corresponde a una secuencia sedimentaria metamorfizada, que incluye principalmente esquistos y gneises cuarzo feldespáticos bandeados, aunque localmente se ha indicado ortogneises biótíticos, anfíbolitas y gneises anfíbolíticos, esquistos cuarzo-muscovítico-fedespático de grano grueso, anfíbolitas plagioclásico-

hornabléndica, metareniscas y cuarcitas. Marechal (1993), citado por La Marca (1997) considera que gran parte de los gneis y las rocas verdes del Complejo Iglesias, en la región de Estanques-Tabay, son de origen magmático. Testamarck et al (1991), citados por La Marca (1997), consideran que estas rocas quizás representen “vestigios de un complejo eruptivo heterogéneo antiguo, asociado a secuencias magmáticas ácidas y básicas”. También podría pensarse en que estos compuestos amorfos responden a una meteorización rápida de las cenizas volcánicas no cristalinas, que caen de la atmósfera procedentes de grandes erupciones volcánicas ocurridas en otras partes del mundo, que llegan a través de las corrientes de aire atmosférico (caso Pinatuvo en Filipinas). Estas suposiciones deben ser corroboradas con el estudio de secciones finas de rocas en la zona de estudio.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Los suelos presentes en el área, de acuerdo con Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1994), se clasifican como Typic Humitropepts y Lytic Humitropepts.

La evolución de estos suelos es el resultado de una serie de eventos que siguen la siguiente secuencia:

- Intemperismo físico (alturas superiores a 2800 m) y físico-biológico, expresado de manera fundamental en la acción de la materia orgánica sobre los materiales basales cristalinos (Complejo Iglesias).
- La alteración de los materiales se ve amortiguada de acuerdo con la posición en la cual se desarrollan los suelos: cóncava o convexa. En el primero de los casos se presenta una mayor acumulación de restos orgánicos producto de la presencia de altos contenidos de agua, en la segunda los contenidos de material verde son inferiores. En uno u otro caso no hay pérdidas por mecanismos erosivos. Ello conduce a diferenciar en lo fundamental perfiles a horizontes A/C, y en menos cuantía perfiles a horizontes A/B/C. En todos los casos los suelos pertenecen al orden Inceptisol.

CONCLUSIONES

El medio bioclimático de alta montaña caracterizado por bajas temperaturas y una fuerte humedad determinan que el desarrollo de los suelos del sector está gobernado en lo fundamental por la dinámica de la materia orgánica (acumulación y baja

descomposición), en el cual el mecanismo de alteración es la acidólisis. Este proceso no se ve reflejado con la presencia de Spodosoles en el área, ello parece estar fundamentalmente relacionado con los altos contenidos de arcilla + limo que presentan los suelos (superiores al 45%). Los suelos presentes son de bajo grado de desarrollo (Typic Humitropepts y Lytic Humitropepts) y se caracterizan por poseer texturas francas y franco arenosas, altos contenidos de materia orgánica, pH ácidos, bajo % de saturación de bases y un complejo adsorbente dominado por el aluminio. Estas propiedades para la zona de estudio varían en función de la posición en la cual se desarrollen los suelos (cóncava o convexa), lo cual permite establecer diferencias entre los mismos, a pesar que ellas todavía no son lo suficientemente contrastantes como para que se manifiesten a nivel de la clasificación. Lo cual pone de manifiesto la fuerte influencia que ejerce el relieve en la distribución de los suelos de alta montaña.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTHELLIN, J., LEYVAL C. y TOUTAIN F. 1994. Biologie des sols: rôle des organismes dans l'altération et l'humification. In: *pedologie. 2 Constituants et propriétés du sol*. Bonneau M., Souchier, B. Deuxième édition. Masson. p:143-237
- BOYER, J. 1976. L'aluminium échangeable: indices agronomiques, évaluation et correction de sa toxicité dans les sols tropicaux. *Cah. ORSTOM. sér. Pédol. XIV 4: 259-269*
- BLOOM, P.R., M.B. MCBRIDE y R.M. WEAVER. 1979. Aluminum organic matter in acid soils: Salt-Extractable aluminum. *Soil Sci. Soc. Am. J. 43: 813-815*
- COLCIENCIAS. 1973. Génesis, clasificación y aptitud de explotación de algunos suelos de la orinoquia y la Amazonia colombiana. Bogotá. 185 p.
- DUCHAUFOR, PH. 1991. *Pédologie. Sol, végétation et environnement*. Masson. Paris. 289p.
- HARGROVE W.L., G.W THOMAS. 1981. Extraction of aluminum from aluminum-organic matter complexes. *Soil Soc. Soc. Am. J. 45: 151-153*
- LA MARCA, E. 1997. Origen y Evolución de la Cordillera de Mérida, Andes de Venezuela. Cuadernos de la Escuela de Geografía, N° 1. Fac. Cs. Forestales y Ambientales. ULA. 110p.
- MALAGÓN, D. 1995. Suelos de Colombia: origen, evolución, clasificación, distribución y uso. Inst. Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá. 632 p.
- MANZANILLA, R. 1990. Caracterización e interpretación de una toposecuencia de la Selva Nublada de la vertiente norte de la Sierra Nublada. Estado Mérida, Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, ULA. Mérida. 190p.
- OCHOA, G. y D. MALAGÓN. 1981. Génesis de algunos en la Cuenca media y Alta del río Motatán. Estados Mérida y Trujillo. Serie Suelos y Clima. ULACIDIAT. 86p
- OCHOA, G. 1983. Caracterización mineralógica y génesis de una secuencia de suelos desarrollados en depósitos aluviales del río Ticoporó. Estado Barinas. Venezuela. Imprenta Universitaria. ULA. Mérida. 180p.
- SOIL SURVEY STAFF. 1994. *Keys to Soil Taxonomy*. United States Department of Agriculture Soil Conservation Service. Sixth Edition. 306p.
- TAVANT, Y., H. TAVANT y S. BRUCKERT. 1994. Variation du carbone organique en fonction des propriétés des sols et de l'altitude dans le Jura (France). *Geoderma, 61 N° 1-2. 133-141*
- ZEBROWSKI, C. 1975. Etude d'une climatoséquence dans l'île de la Réunion. *Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Pédol. XIII N° 3/4. 255-278*