

Composición mineralógica de algunos suelos del norte del departamento de Magdalena, Colombia

Mineralogical composition of some soils from the north of the department of Magdalena, Colombia

Sonia Esperanza Aguirre-Forero , José Rafael Vásquez Polo  y Nelson Piraneque* 

Programa de Ingeniería Agronómica, Facultad de ingeniería, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia

Resumen

Los análisis mineralógicos de suelos son necesarios para explicar características físico-químicas genéticas y taxonómicas inherentes a los mismos y su evaluación integral con el fin de obtener conocimiento real y completo del recurso y su manejo adecuado. En este trabajo se propuso como objetivo identificar la composición mineralógica de seis zonas ubicadas en el norte del departamento del Magdalena, región aledaña a la Sierra Nevada de Santa Marta Colombia, localizada en clima cálido seco. Para ello, se seleccionaron suelos donde se desarrollan los cultivos agrícolas de mayor importancia en la región y de bosques aledaños a fin de establecer limitaciones y potencialidades. El estudio fue descriptivo con recopilación de información edafoclimática de la zona y recolección de muestras para su posterior análisis mineralógico. Los resultados evidenciaron predominio de clima cálido seco y muy seco con temperatura promedio de 27 °C suelos de régimen ústico. La fracción mineral de arena está asociada a contenidos de cuarzo y feldspatos mientras que la fracción fina, reporta biotita y Haloisita en 100 % de las muestras. En las zonas 2 y 4 evidenciaron además contenidos de esmectita, en la zona 3 clorita y en la 2 se registró una muestra halita (1,3 %). El análisis de la composición porcentual mineralógica confirma que los suelos estudiados presentan bajo grado evolutivo debido a las condiciones de humedad ústico, que controla el desarrollo de los suelos, lo que limita la transformación de los minerales fácilmente alterables.

Palabras clave: mineralogía de arenas; mineralogía de arcillas; difracción de rx; fertilidad real del suelo; fertilidad potencial del suelo; suelos tropicales

Abstract

The mineralogical analyses of soils are necessary to explain the genetics, taxonomic, and physical-chemical characteristics and their critical evaluation to obtain actual and complete knowledge of the resource and its adequate management. In this work, the objective was to identify the mineralogical composition of six subzones in the north of the department of Magdalena, a region adjacent to the Sierra Nevada de Santa Marta Colombia, in a dry climate. The soils of the most important crops in the area and surrounding forests were selected to establish limitations and potentialities. The study was descriptive with the compilation of edaphic and climatic information and mineralogical analysis. The results showed a predominance of dry and very dry warm climates with an average temperature of 27 °C and an ustic soil regime. The sand mineral fraction is associated with quartz and feldspar content. In contrast, the fine fraction reports Biotite and Haloisite in 100 % of the samples. Zones 2 and 4 also showed Smectite content; in zone 3, Chlorite, and zone 2, a Halite sample (1.3 %) was reported. The analysis of the percentage mineralogical composition confirms that the soils studied present a low evolutionary degree due to the ustic regime that controls the soil development, limiting the alteration of the most labile minerals.

Key words: sand mineralogy; clay mineralogy; diffraction rx; real soil fertility; potential soil fertility; tropical soils

*Autor de correspondencia: npiraneque@unimagdalena.edu.co

Editora: Saeko Gaitán

Recibido: 21 de abril de 2022

Aceptado: 30 de junio de 2022

Publicación en línea: 30 de junio de 2022

Citar como: Aguirre, S., Vásquez, J. y Piraneque, N. 2022.

Composición mineralógica de algunos suelos del norte del departamento de Magdalena, Colombia. *Intropica* 17(1):61-71

Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.4561>.



Introducción

La mineralogía es una rama de las Ciencias Geológicas que estudia la evolución de la fase sólida inorgánica de los suelos, permite identificar, describir e interpretar las características y presencia de los componentes mineralógicos resultado de la herencia y los procesos de oxidoreducción, deshidratación, recristalización, cementación, litificación, mineralización y sustitución de minerales que en conjunto se conoce como autogénesis, pero que puede variar según a la evolución sedimentario-pedológica de cada territorio (Imbellone *et al.*, 2016). Conocer parámetros mineralógicos es de gran beneficio para orientar prácticas agrícolas y rehabilitar suelos degradados, así como poder orientar y establecer trabajos en la zona de estudio. Los suelos presentes en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) presentan alta y variada heterogeneidad debido a la presencia de diferentes materiales parentales y la alta diversidad de condiciones biológicas y climáticas. El conocimiento existente sobre los suelos del departamento del Magdalena es bastante limitado y fragmentado lo que limita la planificación y el uso adecuado de la tierra.

Antecedentes

Los suelos en el departamento del Magdalena se han derivado de una gran variedad de materiales, tanto in situ como transportados. En el sector del macizo montañoso de la Sierra Nevada que se encuentra en el departamento del Magdalena, los materiales son de variada naturaleza y complejidad. Más de la mitad del macizo consta de rocas ígneas intrusivas félsicas e intermedias, caracterizadas por alto contenido de SiO₂, Al₂O₃, K₂O y Na₂O y moderados a bajos en FeO, MgO y CaO (Torres *et al.*, 2004). El resto, está constituido por rocas volcánicas y metamórficas entre las que sobresalen los gneises de protolito ígneo y esquistos de composición variada. El incipiente desarrollo de los suelos localizados en las partes altas asociado a las filas y vigas desarrollados a partir de diferentes materiales ígneos y metamórficos, se debe primordialmente a los procesos erosivos y continuos a que están sometidos; el proceso erosivo se opone, a través del tiempo, a la acción de los factores y procesos de formación, por lo que los suelos estarán en busca del equilibrio con su medio ambiente. En los planos de inundación de la planicie y valles aluviales, el proceso pedogenético se ve interrumpido continuamente por el aporte periódico de sedimentos a través de las inundaciones que enriquecen los suelos por aportes de las especies mineralógicas provenientes de las partes altas de la montaña, iniciándose muchas veces un nuevo ciclo de formación (Instituto Geográfico

Agustín Codazzi (IGAC), 2009).

Así, se diferencian dos zonas geomorfológicas: la zona montañosa al nororiente y una extensa planicie al suroccidente su génesis es de un ambiente anhidro y de alta presión en cuyas condiciones se han cristalizado las rocas madres originales, probablemente rocas ígneas desde composición silícea hasta andesitas y dacitas con complejo de rocas metamórficas y en el oeste, depósitos sedimentarios cuaternarios. Las características litológicas son: metagranodiorita anfibólica de textura granoblástica grano grueso a medio, con megacristales de anfíbol, algunos epidotizados en una matriz de cuarzo plagioclasa y feldespato potásico; anfibolita con fenocristales de plagioclasa, granitoide rico en cuarzo, anfibolita masiva con estructura traquítica, neis cuarzo feldespático con bandas anfibólicas y biotíticas, y calcita y anfibolita calcárea en una relación incierta (Hernández, 1996).

Por su parte, el clima es un factor formador determinante de los suelos, su acción no solo se traduce como causal diferenciadora de ellos, sino que la vegetación y los organismos presentes y condiciona o controla, junto con la forma de relieve, el agua efectiva, que, al pasar por los materiales edáficos, causa disolución, translocación, lixiviación, reorganización mineralógica y redistribución de materiales como coloides y nutrientes. En la megacuenca de sedimentación el clima es cálido seco, pertenece en su gran mayoría a la formación bosque seco tropical. La vegetación imperante de esta zona tiene poca influencia como factor formador de suelos debido a los escasos aportes de materia orgánica (Ghimire *et al.*, 2017; Piraneque *et al.*, 2018), las plantas son de escaso y fino follaje; así mismo, las altas temperaturas aceleran la mineralización de la materia orgánica.

A pesar del bajo contenido de materia orgánica, el humus evoluciona en condiciones de alternancia estacional de precipitación y temperaturas altas (los regímenes ústico y árido abarcan el 65 % de la zona).

Para el estudio de la mineralogía de los suelos en la región Caribe colombiana Malagón y Marino (1997) definieron ocho asociaciones que configuran la distribución y abundancia de especies minerales en la fracción arena de los suelos del Caribe colombiano. En forma sintética, estas asociaciones permiten diferenciar dos clases de suelos: a) Los cuarcíticos y b) Los feldespáticos; cada una de estas clases admite matices según los minerales accesorios que acompañan al mineral predominante; el caso de excepción lo constituyen dos porciones del área, una la zona periférica externa de la Sierra

Nevada de Santa Marta y la otra el extremo suroccidental de la región, en inmediaciones del Golfo de Urabá; en esas dos áreas los suelos contienen predominantemente minerales alterados. La fracción arcillosa de los suelos se agrupó en cuatro clases: esmectíticos, caoliniticos, micáceos y vermiculíticos. Estas clases configuran ocho asociaciones, en las cuales los constituyentes principales están acompañados por cuarzo, gipsita y micas o illita.

En la región se aprecia la amplia distribución de esmectita, dominante en toda el área con excepción de la Sierra Nevada y al sur- oriente de la Serranía del Perijá; de otra parte, la caolinita parece concentrarse más en áreas periféricas de la Sierra Nevada de Santa Marta, en una franja angosta al extremo inferior oriental de la región y en una porción del sector sur de la misma, donde aparecen también escasas franjas de suelos vermiculíticos. Los minerales micáceos se concentran en la Guajira, donde se intercalan con la ocurrencia de esmectita en las vecindades de la Serranía de La Macuira (Malagón y Marino, 1997).

Según Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC (2009) y Aguirre *et al.* (2015), la mineralogía de los suelos de las zonas estudiadas del departamento del Magdalena está dominada por Caolinita (5-30 %), Cuarzo (desde trazas hasta 50 %), micas (micas 5-50 %), feldespatos (trazas-30 %), montmorillonita (30-50 % en zona 2 y 4) y vermiculita (5-30 %). En la zona 3, que se encuentra en el límite entre el departamento del Magdalena con la Guajira, se caracteriza por la presencia de cuarzo (21-54 %), micas (5-50 %), vermiculita (5-30 %), feldespatos (10-30 %), hornblenda (9-20 %) y plagioclasas (10-58 %). La mineralogía de la región admite algunas interpretaciones respecto del origen de los materiales de los suelos, el grado de evolución o etapa intempérica y su fertilidad natural. En el primer caso, la mineralogía parece heredada de una mezcla de sedimentos marinos y continentales (principalmente en las zonas 3, 5 y 6), estos últimos probablemente en estados previos de meteorización, a juzgar por el amplio predominio de cuarzo y caolinita. Por cuanto se refiere al estado evolutivo de los suelos, la ocurrencia de esmectita llevaría a asignarles una moderada madurez, si se acepta que dicha especie es el resultado de procesos de alteración actuantes sobre micas e illita; concordantemente, la vermiculita constituiría también indicador de procesos pedogenéticos poco avanzados en los sectores indicados (Malagón y Marino, 1997).

El objetivo de la investigación fue identificar la mineralogía de seis zonas definidas por Vásquez (2014), ubicadas en el norte del departamento del Magdalena, región aledaña a la Sierra

Nevada de Santa Marta, localizados entre 0 y 1000 msnm donde se encuentran los cultivos agrícolas de mayor importancia en la región y de suelos de bosques aledaños; con el fin de establecer limitaciones y potencialidades del recurso.

Materiales y métodos

El enfoque metodológico de la investigación fue descriptivo con recopilación de características de la zona y muestreo de suelos en campo para su posterior análisis.

Área de estudio

El estudio se realizó en los municipios de Santa Marta, Ciénaga, Dibulla, Aracataca y Zona Bananera, considerados a partir de estudios previos (Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), 2009; Piraneque *et al.*, 2018) como la zona con cultivos de mayor importancia económica (*Coffea arabica*, *Elaeis guineensis*, *Mangifera indica*, cultivos frutales y de hortalizas) al noreste del departamento del Magdalena y localizados entre las coordenadas 11°36'58"- 8°56'25" N y 73°32'50"-74°56'45"O (figura 1).

Zonas de muestreo

Zona 1. Se encuentra en suelos de clima cálido húmedo, de filas y vigas, relieve ligero a fuertemente escarpado; originados de rocas ígneas y metamórficas; profundos y superficiales, bien drenados, texturas franco arenosos y franco arcillosos, bajo contenido de materia orgánica (1,1 a 1,7 %), reacción moderadamente ácida a neutra (pH 5,8 a 6,5) y fertilidad media a alta. Los cultivo predominante en la zona es el café (*Coffea arabica*).

Zona 2. Se encuentra en suelos de clima cálido seco, en posición de terrazas desarrollados a partir de sedimentos medios y gruesos, moderadamente profundos a profundos, bien a imperfectamente drenados, textura franco arcillosa a arenosa franca medias a gruesas y fertilidad moderada a alta, reacción ligeramente ácida a neutra y media saturación de bases, muy bajos contenidos de materia orgánica contenidos altos de cuarzo (80-86 %) y bajos en feldespatos (6-8 %). Cultivo predominante en la zona: palma africana o palma de aceite (*Elaeis guineensis*).

Zona 3. Se encuentran suelos de clima cálidos a seco en posición de marea y terrazas con relieve plano a ligeramente ondulado originados de sedimentos fluviomarinos, profundos, pobremente drenados de texturas francas, inundables, reacción ligeramente ácida a alcalina, bajos a muy bajos contenidos de materia orgánica y alta saturación de bases. Cultivo predominante en la zona el banano (*Musa* sp).

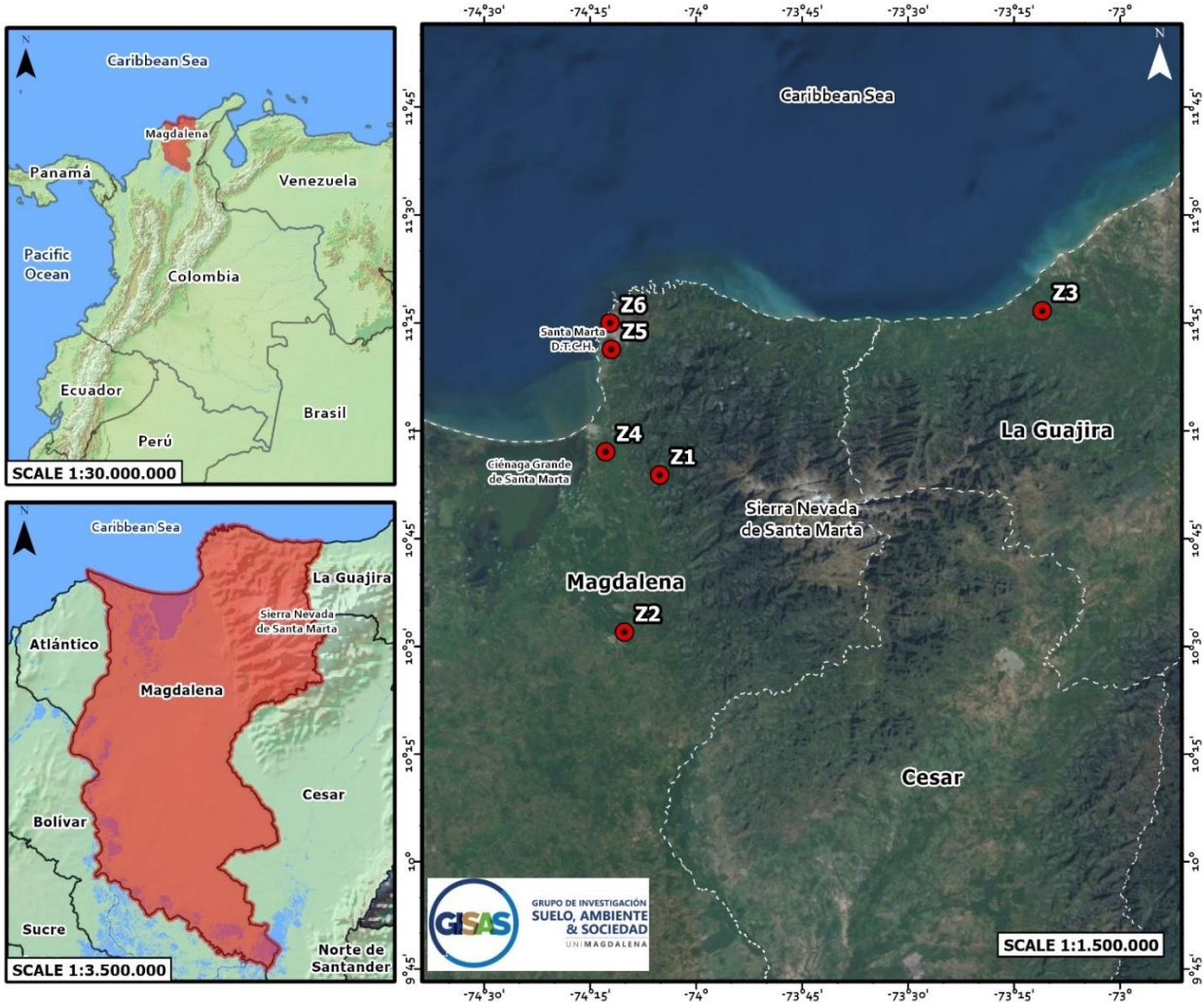


Figura 1. Localización de la zona de estudio y los sitios donde se realizó el muestreo para análisis mineralógico. Sistema geodésico de coordenadas WGS84, Proyección: Transversa de Mercator. Fuente modelo de sombras: imágenes de elevación digital ALOS PALSAR Radiometrically Terrain Corrected (RTC), Alaska Satellite Facility (ASF) 2011. Fuente imagen de fondo: World satellite imagery. Esri, Maxar y Earthstar Geographics.

Zona 4. Se encuentran suelos de clima cálido seco, superficiales, derivados de sedimentos aluviales medios, pobres a bien drenados con textura media a gruesa (franca, franco-limoso y arenoso), reacción extremadamente alcalina con alta saturación de bases y de sales. Cultivo predominante en la zona el banano (*Musa sp*) y Mango (*Mangifera indica*).

Zona 5. Se encuentran suelos de clima cálido muy seco superficiales derivados de sedimentos fluvio-marinos medios, texturas francas a franco limosas reacción alcalina, bajos contenidos de materia orgánica. Los cultivos frutales son los predominantes en la zona.

Zona 6. Se encuentran suelos de clima cálido muy seco, derivados de sedimentos fluvio-marinos finos, superficiales,

excesivamente drenados, texturas gruesas (Franco arcillosas, arenosas y franco arenosas), reacción moderada a fuertemente alcalina (pH superior a 8,5), bajos a muy bajos contenidos de materia orgánica. Los cultivos de hortaliza son los predominantes para esta zona.

Diseño de muestreo

Para efectuar la caracterización se realizó consulta exploratoria de documentos en el tema y, se programaron salidas de campo con el fin de recolectar información *in situ* de la vegetación, las variables ambientales y los tipos de suelos de la zona de estudio.

Durante el muestreo se realizó el reconocimiento preliminar de cada sitio y se pudo identificar dos condiciones de usos de los suelos que se basa en la implementación de cultivos y la

conservación de bosques. Con base a esta caracterización se realizó un muestreo aleatorio estratificado seleccionando en seis zonas diferenciadas por el tipo de uso del suelo: café-bosque en el municipio de Ciénaga, palma-bosque en el municipio de Aracataca, suelos preparado para el banano-bosque en el municipio de Dibulla, banano-mango-bosque en el municipio de Zona Bananera, frutales-bosque en el municipio de Santa Marta y hortalizas-bosque en el municipio de Santa Marta; en cada una de ellas, se escogieron dos sitios de muestreo, uno de cultivo y otro en el área de bosque, excepto en la zona 4 donde se seleccionaron tres sitios: dos de cultivo y uno de bosque. En cada condición se recolectó una muestra compuesta a partir de 10 sub-muestras de suelo por sitio entre 0 y 20 cm de profundidad, para un total de 13 muestras de suelos.

Análisis mineralógico

La separación de las fracciones (arena y arcilla) empleada para la identificación mineral se realizó teniendo en cuenta la metodología de separados del suelo por el método de la pipeta de Robinson; debido a la escasa proporción de materia orgánica (MO), no se aplicó ningún dispersante, lo que previene la formación de artefactos del tipo oxalato y de un incremento del ataque a los materiales primarios de mayor labilidad. Una vez obtenidas las fracciones se procedió a mineralogía óptica de arenas y mineralogía de arcillas por difracción de RX con radiación CuK α en un equipo Philips PM8203 difractometer (Philips, Wavre, Belgium).

Tabla 1. Caracterizaciones edáficas y climáticas de las zonas muestreadas. Fuente: Adaptado por los autores de IGAC (2009), Vásquez (2014), Soil Survey Staff (2014) y WRB (2014).

Característica	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6
Uso del suelo	Cultivo de café <i>Coffea arabica</i> y bosque húmedo tropical	Palma africana (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq) y bosque seco tropical	Suelo preparado para banano (momento del muestreo) y Bosque seco tropical	Cultivos de banano (<i>Musa</i> sp.) y mango (<i>Mangifera indica</i>) y bosque seco tropical	Cultivos de frutales y bosque seco tropical	Cultivo de hortalizas y Bosque muy seco tropical
No de Familias vegetales	16	8	14	14	14	10
Ubicación	Vereda Kennedy, Municipio Ciénaga	Municipio de Aracataca	Corregimiento las flores, Dibulla	Sector la aguja, Zona Bananera	Granja del SENA Agropecuario, Santa Marta	Granja Experimental Universidad del Magdalena, Santa Marta.
Coordenadas	10°53'52.27"N 74°05'09"W	10°32'00"N 74°10'09"W	11°16'41.2"N 73°11'01"W	10°57'06"N 74°12'48.19"W	11°11'-11°15'N 74°07'- 74°12' W	74°07' - 74°12' W 11°11' - 11° 15' N

Las muestras se analizaron por el método de polvo (Abad y Velilla, 2018) para la identificación y determinación semi-cuantitativa de fases minerales predominantes. El equipo trabajó con cátodo de cobre y longitud de onda 1,74 Å con barridos habituales entre 3°- 65° de ángulo 2 θ con salida sobre registro digital Philips PW 1710 y recogida de datos con ordenadores PC. El control y tratamiento de los difractogramas se efectuó con software X Powder (versión 2008) tanto para el análisis cualitativo como cuantitativo de las muestras. La fracción menor de 2 mm se obtuvo mediante suspensión y decantación, tras suspensión, aplicando la Ley de Stokes (Pelayo *et al.*, 2021).

Resultados

Características de clima y suelo

La descripción de las características de clima, vegetación y suelo se encuentran en la tabla 1. Con los resultados obtenidos los suelos de la zona pertenecen a los órdenes inceptisol (zonas 1, 3, 4 y 5) y entisol (zonas 2 y 6) lo que indican un bajo nivel de evolución en los suelos del Magdalena.

Análisis mineralógico de la fracción arena

La composición de minerales de la fracción arena se aprecian en la tabla 2 donde se aprecia que Cuarzo con 58 % y feldespatos con 13 % son los minerales más representativos en la zona de estudio confirmando el bajo desarrollo de los suelos de la zona tal como lo expresa IGAC (2009).

Composición mineralógica de suelos del norte del departamento del Magdalena

Continuación tabla 1

Característica	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6
Altitud	956 msnm	42 msnm	5 msnm	15 msnm	10 msnm	7 msnm
Clima	Cálido húmedo	Cálido seco	Cálido seco	Cálido seco	Cálido muy seco	Cálido muy seco
Temperatura media	24 °C	28,4 °C	27 °C	27 °C	30 °C	28 °C
Precipitación media	2000 mm	1200 mm	1245 mm	750 mm	880 mm	663 mm
Paisaje	Montaña	Planicie	Planicie	Planicie	Planicie	Planicie
Tipo de relieve	Filas y Vigas	Planos de inundación y terrazas subcrecientes	Relieve plano de marea y terrazas	Planos de inundación	Plano de marea	Planos de marea de la planicie fluviomarina
Pendiente	12-75%	<12 %	3-7 %	<12 %	1-3 %	1-3 %
Litología	Rocas metamórficas (neisses y esquistos cuarcíticos) e ígneas (granodiotitas y cuarzodioritas) granodioritas y cuarzomonzonitas)	Depósitos aluviales finos y medios	Depósitos superficiales clásticos, hidrogénicos mixtos	Sedimentos aluviales finos y medios	Sedimentos fluviomarinos finos y medios	sedimentos fluviomarinos finos y medios
Clasificación de suelos Soil taxonomy (2014)	Typic Eutrudepts	Typic Ustifluvents	Fluventic Haplustepts	Typic Haplustepts	Fluventic Haplustepts	Typic Ustipsamments
Régimen de humedad/temperatura	Údico Isohipertérmico	Ústico Isohipertérmico	Ústico Isohipertérmico	Ústico Isohipertérmico	Ústico Isohipertérmico	Ústico Isohipertérmico
Clasificación de suelos WRB (2014)	Cambisol háplico	Fluvisol háplico	Cambisol fluvéntico endogleyico	Cambisol fluvéntico endogleyico	Cambisol fluvéntico endogleyico	Arenosol háplico

Tabla 2. Composición semicuantitativa de minerales en la fracción arena fina (% en peso).

Zona	M	Usos	% Cuarzo	% Feldespatos	Otros – No determinado	
1	1	Café con sombrío		52	42	6
	2	Bosque		61,1	36	2,9
2	3	Cultivo de palma africana		67	30	3
	4	Bosque seco tropical secundario (relictos)		58	39	3
3	5	Suelo preparado para banano		60,9	35	4,1
	6	Bosque muy seco tropical		61,1	33	5,9
4	7	Cultivo de banano		53,5	41	5,5
	8	Cultivo de mango		64,3	30	5,7
	9	Bosque muy seco tropical		62,1	31	6,9
5	10	Frutales de clima cálido		50	45	5,0
	11	Bosque muy seco tropical		59,8	38	2,2
6	12	Maíz y hortaliza (aji)		58,3	39	2,7
	13	Bosque muy seco tropical		58	37	5

Análisis mineralógico de la fracción arcilla

Las arcillas presentan mayor variabilidad mineralógica que las arenas. En términos generales para todas las zonas los minerales dominantes fueron: biotita (62 %) y la haloisita con un (24 %) (tabla 3), no obstante, se presentan en menor proporción minerales como: el cuarzo (18-24 %) zonas 2 y 3; goethita (13 %), en concordancia con las condiciones climáticas húmedas presentes en la zona 1; feldespatos (4-13 %) zonas 2, 3, 5 y 6;

esmeclitas minerales 2:1 (3-22 %) zonas 2 y 4 caracterizando mayor evolución pedogenética en estos suelos; clorita (2-5%) zona 3; y halita 6 % en la zona 2 suelo cultivado. Los minerales tipo 2:1 dominaron esta fracción en las diferentes zonas, destacando las micas (biotita e illita) como formadores de estructuras básicas para la síntesis de especies arcillosas y a la haloisita del tipo (1:1) como la arcilla dominante y más importante en estos suelos.

Tabla 3. Composición semicuantitativa de minerales en la fracción arcilla (% en peso). Fuente: Adaptado de CSIC Madrid, Teresa González. Parte de trabajo de investigación de los autores.

Zona	M	Usos	Cuarzo	Goethita	Feldespatos	Biotita	Haloisita	Esméctica	Clorita	Halita
1	1	Café con sombrío	-	13	-	67	20	-	-	-
	2	Bosque	-	13	-	63	24	-	-	-
2	3	Cultivo de palma africana	18	-	13	29	21	13	-	6
	4	Bosque seco tropical secundario	24	-	11	30	13	22	-	-
3	5	Suelo preparado para banano	21	-	7	33	34	-	5	-
	6	Bosque muy seco tropical	24	-	12	32	30	-	2	-
4	7	Cultivo de banano	-	-	-	67	30	3	-	-
	8	Cultivo de Mango	-	-	-	82	18	-	-	-
	9	Bosque muy seco tropical	-	-	-	53	25	12	-	-
5	10	Frutales de clima cálido	-	-	9	65	26	-	-	-
	11	Bosque muy seco tropical	-	-	8	65	27	-	-	-
6	12	Maíz y Hortaliza (ají)	-	-	7	74	19	-	-	-
	13	Bosque muy seco tropical	-	-	4	75	21	-	-	-

Discusión

Características de clima y suelo

Cinco de las seis zonas (zona 2 a 6) están en el paisaje de planicie y clima cálido seco con temperaturas promedio que superan 27°C (tabla1). De estas, dos zonas corresponden a planos de inundación (zonas 2 y 4), la zona 3, planos de marea y terrazas y la 5 y 6, corresponden a planos de marea fluvio-marina. En estas cinco zonas, la alteración del bosque tropical favorece la expansión de vegetación herbácea espinosa y degradación del suelo, muchas especies de árboles en la temporada más seca detienen crecimiento y pierden sus hojas como estrategia para sobrevivir, el estrato herbáceo es pobre y discontinuo, lo que refirma escaso flujo de materia orgánica con alto grado de mineralización en zonas intervenidas, suelos expuestos a procesos de meteorización donde la evaporación es más alta que la precipitación, confirma el régimen de humedad presente (ústico), tienden a acumular sales (Aguirre *et al.*, 2021) e incrementan la mineralización de la materia orgánica (Aguirre *et al.*, 2015; Piraneque *et al.*, 2018). En contraste, en la zona 1 ubicada en las estribaciones de montaña con mayor humedad (ústico) se divisan diferentes estratos en el dosel de los árboles (plantas epifitas) con la acumulación de algunos restos orgánicos en la superficie del suelo y mayor oportunidad de aportes de materia orgánica lo que marca la evolución de las especies mineralógicas.

De acuerdo con Wilson (2019), la fase sólida inorgánica de los

suelos proviene del material geológico, o de los minerales generados durante la pedogénesis. La mineralogía descriptiva se ocupa de la clasificación de los minerales en grupos según sus propiedades comunes, principalmente propiedades químicas y estructurales. La difracción de rayos X (XRD) proporciona información importante sobre la historia de la alteración de los minerales y una importante visión de primer orden de las fuentes (para el caso de la zona 1 los esquistos, mientras que en las zonas de planicie una mezcla del producto de la meteorización de las rocas, presentes en la montaña como granitos, grano dioritas, etc., metamórficas esquistos gneises, ortoneises, etc. que pueden estar en las cuencas de los ríos que transportan los materiales que forman la planicie aluvial y fluvio-marina (en los casos donde el mar re TRABAJA los materiales aportados por los ríos.) y procesos responsables de la distribución; para este caso se estableció dos grupos la fracción arena y la fracción fina o arcilla.

Análisis mineralógico de la fracción arena

La fracción arena (0,05-0,25 mm) evidencia una composición simple y homogénea, con predominio del cuarzo (50-67 %) en todas las muestras contrastando con lo descrito por Aguirre *et al.* (2015), Gámez-Ramírez (2012) e Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2009) quienes reportan contenidos de cuarzo entre 21 y 96 %. Otro mineral dominante (tabla 2), en todos los casos fueron los feldespatos que representan del 36 al 50 %, situación reportada por Gámez-Ramírez (2012) y que contrasta por lo registrado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi

(IGAC) (2009) donde estos minerales los reporta en las zonas 1 (19 a 39 %), zonas 2 y 4 (desde trazas hasta 3%), zona 3 (15 a 30 %) y zonas 5 y 6 (10 a 30 %). Estos resultados están acordes a los descritos por Malagón y Marino (1997), quienes caracterizando la mineralogía de la fracción arena al microscopio petrográfico en suelos de la región Caribe colombiana, permitieron diferenciar dos grandes clases de suelos: cuarcíticos y feldespáticos.

Otros minerales descritos que representaron porcentajes inferiores al 5 % no fueron identificados por la técnica utilizada, sin embargo, Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2009) empleando técnica óptica, reportó la presencia de Hornblenda en concentraciones que van desde 2 % (en la zona 1) hasta 20 % en las zonas 3, 5 y 6, plagioclasas 4 a 7 % en zona 1 y 10 a 58 % en las zonas 3, 5 y 6 y biotita (4 a 6 % en zona 1 y trazas a 12 % en zonas 3, 5 y 6).

En suelos de la zona 1 clima cálido húmedo, desarrollados sobre neis y esquistos, se registró la presencia de cuarzo y feldespatos (tabla 2), además de algunos granos alterados principalmente plagioclasas sericitizadas, feldespatos caolinizados y opacos de alteración. En las demás zonas, con suelos derivados de sedimentos coluvio-aluviales y fluvio-marinos, en las áreas cálidas secas, los feldespatos dominan esta fracción; los componentes dominantes de la fracción arena, de los suelos derivados de granodiorita, cuarzodiorita y granito, en condiciones de clima cálido y seco, se componen principalmente de plagioclasa y feldespato potásico con algo de cuarzo y mica (Vásquez, 2014).

Los minerales primarios, son dominantes en estos suelos y de ellos se destacan las micas, con predominio de las biotitas, pero con una illitización incipiente y en un caso (zona 3) con una ligera cloritización, muy probablemente heredada de procesos hidrotermales o metamórficos que afectaron a las biotitas (Vásquez, 2014). El porcentaje de este mineral, que no se ha identificado en las arenas, representa valores superiores al 60 % (60-80 % de la fracción arcilla en las zonas 4, 5 y 6), mientras que en las zonas 2 y 3 se encuentra en torno al 30 %, marcando por el clima reinante (cálido seco) con bajo grado de alteración (tabla 3). Los feldespatos, otros minerales primarios lábiles en los trópicos húmedos, aunque no tanto en los secos, aparecen en proporciones del 5 al 10 % en las zonas 2, 3, 5 y 6, mientras que el cuarzo se encuentra en un porcentaje del orden del 20 % en las zonas 2 y 3, resultados que coinciden con lo descrito por Hernández (1996) quien afirma que "La región de la Sierra Nevada de Santa Marta es un mosaico geológico bastante complejo cuya explicación genética está todavía en estudio".

Análisis mineralógico de la fracción arcilla

La fracción arcilla otorga la fertilidad real o actual de los suelos. Muchas son materiales estratificados donde confluyen diversos minerales dentro de una tendencia común en la que las diferencias se establecen por sitio y son prácticamente irrelevantes y aleatorias en la diferenciación por uso del suelo. La composición mineralógica de la fracción fina pone de manifiesto que se trata de una paragénesis mineral de alteración incipiente como lo describen Mercado et al. (2021) y con escaso tiempo de evolución hacia condiciones de equilibrio (Besoain, 1985). Junto a minerales primarios lábiles, como la biotita, aparecen minerales neoformados como haloisita y en algunos casos esmectitas, minerales 2:1 (zonas 2 y 4), siempre acompañados por minerales más resistentes como feldespatos y en algunos casos (zonas 2 y 3) por cuarzo. Las especies mineralógicas dominantes en las diferentes zonas son la biotita (29 a 82%) y la haloisita (13 a 34%) acompañados por esmectitas (zonas 2 y 4), clorita (zona 3) y halita (zona 2).

Los minerales neoformados que son los indicadores de los procesos de alteración y neoformación y, por tanto, los que señalan la orientación genética de los suelos están constituidos por haloisita, ubicada en todas las muestras con un porcentaje entre 13 y 34% y esmectitas, (minerales 2:1) sólo presentes en planos de inundación y terrazas subcrecientes de las zonas 2 y 4 con porcentajes del 3 al 22% (Tabla 3). La presencia de haloisita indica que la alteración ni es excesivamente intensa, ni se han alcanzado condiciones de alta intemperización que estarían representadas por asociaciones de equilibrio con presencia de caolinita, asociada o no con gibbsita y goethita. Como estos minerales no se han identificado, excepto pequeñas cantidades de goethita en la zona 1 (13 %), se concluye que el grado de alteración es incipiente y que los procesos de neoformación no están favorecidos, produciéndose únicamente una cierta alteración de los feldespatos y biotitas como precursores de arcillas 2:1 que favorecerán la fertilidad y la capacidad de uso de estos suelos, con formación de un mineral no excesivamente ordenado como es la haloisita, pero sin que exista posibilidad de formas y metaestabilizar compuestos amorfos, de bajo grado de ordenación y elevada reactividad.

El drenaje moderado y no excesivamente rápido en el interior del suelo no permite la formación de gibbsita. Además, la práctica ausencia de infiltración, excepto en la zona 1, reduce todavía más los procesos de alteración y neoformación, pudiendo considerarse a los suelos estudiados como "sistemas abiertos, de alteración incipiente y escasamente sustractivos" (Vásquez, 2014), debido a la ausencia o minimización de las

pérdidas por lavado (ETP > P en todos los meses). La presencia de esmectitas en las zonas 2 y 4 debe relacionarse con una reducción del drenaje con la consiguiente ampliación del tiempo de residencia, pero puede ser producida en los suelos actuales o bien en el área fuente de la que proceden los sedimentos.

En síntesis, para los suelos estudiados de la región del Magdalena a pesar de las elevadas temperaturas la meteorización física y la alteración de minerales es escasa y la neoformación de minerales en equilibrio con las condiciones superficiales está muy restringida. Todo ello, está relacionado con las características que impone el carácter semiárido a árido derivado del balance de agua con acumulación de materiales.

Existen diagramas termodinámicos que permiten predecir la sucesión de formación de los minerales a medida que cambia el pH y la concentración de las soluciones (Churchman y Lowe, 2012). La reacción general es:

Mineral primario → Solución → Mineral secundario

Una secuencia de minerales secundarios que se desarrollan por neoformación a partir de minerales no laminados y por transformación (degradación) de silicatos laminados (Modificado de Besoain, 1985) que fue expuesta por Imbellone *et al.* (2016) y puede orientar los posibles procesos pedológicos prospectivos en la zona de estudio son:

Plagioclasa → (sericita) → vermiculita → montmorillonita → Al-esmectita → caolinita → gibbsita

Feldespato-K → montmorillonita → caolinita → gibbsita

Vidrio → geles, alofano → montmorillonita → haloisita → caolinita → gibbsita

Transformación por degradación de silicatos laminados:

Biotita → (clorita) → vermiculita → montmorillonita → Al-esmectita → caolinita → gibbsita

Illita → interstratificados illita-vermiculita → vermiculita → interstratificados vermiculita-montmorillonita → montmorillonita → caolinita → gibbsita

Dado que la mineralogía de arenas y de arcillas tienen marcada influencia en las propiedades físicas (estructuración, distribución de poros, retención de humedad, plasticidad y erodabilidad, entre otras), biológicas (fijación de C, formación de humus, fijación biológica de nitrógeno y regulación climática, entre otras), y químicas (almacenamiento y disponibilidad de nutrientes, pH, entre otras) de los suelos tal como lo mencionan

Delgado y Gómez (2016) y Kome *et al.* (2019) este trabajo presenta grandes implicaciones prácticas pues de él se pueden desprender estudios de fertilidad actual y potencial, lo que es de gran interés para la producción de cultivos en la zona de estudio.

De lo anterior se puede entrever que la zona 1 de montaña, con clima cálido húmedo, presenta limitaciones por pendientes escarpadas, alto grado de procesos erosivos y afloramientos rocosos que unidos a los elevados contenidos de cuarzo, feldespatos y biotita otorgan, principalmente por éstos dos últimos más la oportunidad de mayor acumulación de materia orgánica, alta fertilidad potencial pero baja actual o real, por lo que su uso debe estar enmarcado en la agroforestería o forestal propiamente dicho.

En la zona 2, el clima cálido seco, unido a la baja pendiente, favorecen los procesos de sedimentación y de inundación, aquí la vegetación natural dio paso a la implantación de palma africana, de allí la menor proporción de familias vegetales encontradas. Los contenidos de cuarzo, feldespatos, hornablenda, plagioclasas, biotita y haloisita, verifican el bajo grado de evolución del suelo con alta fertilidad potencial, pero la actual limitada por las altas temperaturas, baja precipitación, acumulación de sales en superficie (manifestada por la presencia de contenidos de Halita), baja CIC, bajos contenidos de materia orgánica, lo que supone manejo adecuado del drenaje mediante obras ingenieriles y de la fertilización para mantener la producción de los cultivos.

En la zona 3, con relieve plano de marea y terrazas en clima cálido, las inundaciones y la profundidad efectiva son sus principales limitantes para el desarrollo de cultivos, presenta altos contenidos de cuarzo, feldespatos, biotita, haloisita y pequeños contenidos (2-5%) de clorita filosilicato posiblemente proveniente de la alteración de la biotita, confirmando bajo grado de evolución del suelo el cual muestra medios contenidos de materia orgánica en superficie y bajos a muy bajos en profundidad, con horizontes con alta densidad aparente lo que dificulta el movimiento del agua y el aire. El déficit de precipitación obliga a obras de riego y drenaje para el emprendimiento de cultivos.

En la zona 4 los suelos ubicados en plano de inundación de ríos que bajan de la sierra nevada, presentan relieve plano, presentándose inundaciones de corta duración en épocas de lluvias o de crecientes de los ríos y nivel freático elevado. Las altas temperaturas asociadas a la baja precipitación y excesiva evapotranspiración dan lugar a la formación de sales y/o sodio que debe ser adecuadamente manejado para que la producción

agrícola (mango y banano) no se vea afectada. La presencia de cuarzo, feldespatos, biotita, haloisita y pequeñas cantidades de esmectita, permite entrever que son suelos potencialmente fértiles pero que actualmente muestran bastantes limitaciones. En la zona 5 los suelos conformados por los sedimentos fluviomarinos originan suelos imperfectamente drenados con alta saturación de bases, bajos contenidos de materia orgánica y horizontes con densidad aparente elevada. La presencia de cuarzo, feldespatos, biotita y haloisita verifican el bajo grado de evolución del suelo. Las principales limitantes para el desarrollo de los cultivos son los encharcamientos ocasionales, baja precipitación, altas temperaturas y profundidad efectiva.

Finalmente en la zona 6, con altos contenidos de cuarzo, feldespatos, biotita y haloisita se muestran suelos arenosos superficiales, con elevados contenidos de sales y elevado nivel freático pero con buen drenaje, muy bajos contenidos de materia orgánica. Los minerales de cuarzo, feldespatos, biotita y haloisita abundan en estos suelos, de allí su bajo grado de evolución. La zona presenta baja precipitación lo que no da lugar a la alteración de los minerales y por tanto es necesario recurrir a prácticas de fertilización y riego para obtener buenas cosechas.

Conclusiones

Con base a la caracterización de la zona de estudio se puede concluir que el clima junto con el relieve y la vegetación, son los factores que más influyen proceso de meteorización de las rocas y en el desarrollo de los suelos. En la zona, prevalece la meteorización física mientras que los procesos químicos, que dependen exclusivamente del agua son escasos dadas las condiciones climáticas reinantes.

El 98 % del aluminio corresponde a la estructura de los silicatos, sin mucha influencia en las condiciones de los suelos estudiados.

Los suelos de las áreas cálidas muestran fertilidad moderada ya que la fracción gruesa presenta cantidades elevadas de cuarzo, moderadas de feldespatos que al alterarse formarán montmorillonita mejorando la fertilidad real de los suelos y la fracción fina (que muestra la fertilidad real de los suelos) aún es escasa e incipiente. En todo caso, las características físicas, químicas y mineralógicas de los suelos estudiados responden a los materiales parentales y al clima dominante.

La fracción fina del suelo está integrada por proporciones bajas de haloisita y presencia significativa de micas (biotita) cuya alteración conlleva la formación de clorita, vermiculita, montmorillonita y esmectita arcillas del grupo 2:1 de alta

reactividad las cuales incrementarían la CIC de los suelos y su fertilidad real, lo que podría mejorar la productividad agrícola de la región.

En las condiciones de estudio, los suelos se pueden considerar como sistemas abiertos de alteración incipiente y escasamente sustractivos debido a que la evapotranspiración excede la precipitación en todas las épocas del año. Por otro lado, la presencia de esmectita en las zonas 2 y 4 puede deberse a la reducción del drenaje ya que se aumenta el tiempo de residencia pero también puede provenir de las zonas de donde provienen los sedimentos lo que pone de manifiesto que, para incrementar la productividad de los suelos es necesario recurrir a mejorar las prácticas de riego, drenaje, fertilización, manejo de sales, incremento de materia orgánica, reducción de la compactación y recurrir a sistemas agroforestales de producción de cultivos.

El análisis de la composición mineralógica confirma que los suelos estudiados están poco meteorizados y presentan un bajo grado evolutivo, donde las condiciones de los minerales primarios son estables y donde la humedad escasa y el elevado pH, no permiten la alteración de los minerales de mayor labilidad un ejemplo de esto lo constituyen los feldespatos potásicos que son difícilmente alterables en las condiciones del estudio.

No se presenta una trayectoria simple de alteración de los minerales encontrados en el estudio. En presencia de clima seco a muy seco se generan secuencias muy distintas de minerales arcillosos presentando un índice de alteración muy bajo.

El presente trabajo es el inicio de la aplicación de técnicas analíticas mineralógicas de suelos en la región Caribe y contribuye al área de edafología haciendo énfasis en la parte geoquímica ya que se logró determinar la composición mineralógica en los suelos en el área de estudio con aplicaciones prácticas en el manejo del suelo y la producción de cultivos en la zona de estudio.

Referencias

- Abad, I., y Velilla, N. 2018. ¿De qué está hecho este material? Una introducción al uso e interpretación de las técnicas básicas de caracterización de los minerales. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 26(3): 265-265. Doi: <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/343212/434359>.
- Aguirre, S.E., Piraneque, N.V., y Abaunza, C.F. 2021. Species with agroforestry-systems potential in the Magdalena state, Colombia. *Información tecnológica* 32(5): 13-28. Doi: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000500013>.

- Aguirre, S.E., Piraneque, N.V. y Rodríguez, J. 2015. Relationship between the nutritional status of banana plants and black sigatoka severity in the Magdalena region of Colombia. *Agronomía Colombiana* 33(3):348-355. <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v33n3/v33n3a08.pdf>.
- Besoain, E. 1985. *Mineralogía de arcillas de suelos*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). URL: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A9804e/A9804e.pdf>. Consultado: 07 de junio 2022.
- Churchman, G.J. y Lowe, D.J. 2012. Alteration, Formation, and Occurrence of Minerals in Soils. En: Huang, P.M., Li, Y. y Sumner, M.E., Editors. *Handbook of Soil Science. Properties and Processes*. 2nd Edition, CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton.
- Delgado, A. y Gómez, J.A. 2016. The Soil. Physical, Chemical and Biological Properties. En: Villalobos, F.J. y Fereres, E. Editores. *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture*. Springer, Cham.
- Gámez-Ramírez, D. 2012. Análisis mineralógico de sedimentos en zonas de playa entre Costa Verde y la bahía de Taganga (departamento del Magdalena). Informe Técnico Final. Santa Marta. Url: <https://www.drummondLtd.com/estudios-mineralogicos-en-playas-de-santa-marta>. Consultado: 07 de junio 2022.
- Ghimire B, Ghimire R, VanLeeuwen B, y Mesbah A. 2017. Cover crop residue amount and quality effects on soil organic carbon mineralization. *Sustainability* 9:2316. Doi: <https://doi.org/10.3390/su9122316>.
- Hernández, M. 1996. Geología de las Planchas 11 Santa Marta y 18 Ciénaga. Ministerio de Minas y energía, Bucaramanga Colombia. URL: <https://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010010024387/Documento/pdf/0101243871102000.pdf>. Consultado: 07 de junio 2022.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 2009. Estudio General de suelos y zonificación de Tierras. Departamento del Magdalena, escala 1:100000. Bogotá D.C.
- Imbellone, P.A., Beilinson, E. y Aguilera, E.Y. 2016. Micromorfología de suelos. En: Pereira, F. y Torres, M. Editores. *Suelos y Geología Argentina: Una visión integradora desde diferentes campos disciplinarios*. Asociación geológica argentina. Avellaneda, Argentina. UNDAV Ediciones, Universidad Nacional de Avellaneda, Buenos Aires.
- Kome, G., Enang, R., Tabi, F. y Yerima, B. 2019. Influence of Clay Minerals on Some Soil Fertility Attributes: A Review. *Open Journal of Soil Science* 9: 155-188. Doi: <https://dx.doi.org/10.4236/ojss.2019.99010>.
- Malagón, D. 2003. Ensayo sobre tipología de suelos colombianos-énfasis en génesis y aspectos ambientales. *Revista Academia Colombiana de Ciencias* 27(104): 319-341.
- Malagón Castro, D. y Marino Santana, L. 1997. Los suelos de la región del Caribe colombiano. *Revista Suelos Ecuatoriales* 27: 15-25.
- Mercado, M.M., Peralta, F.L., Pons, M.J., Franchini, M.B., Impiccini, A. y Rainoldi, A.L. 2021. *Análisis geoquímico y caracterización mineralógica de la alteración y mineralización en secciones de los depósitos Loma de la Plata y Valle Esperanza, distrito Navidad, Chubut, Argentina*. *Revista De La Asociación Geológica Argentina* 78(4):512-538.
- Pelayo, M., Villar, M. V., Fernández, A. M., y Pérez del Villar, L. 2021. Estudio mineralógico, geoquímico, físico-mecánico y de las aguas intersticiales de muestras procedentes de los yacimientos bentónicos de Morrón de Mateo, Pozo Usero, El Toril, San José y El Corralete. CIEMAT. Url: <http://documenta.ciemat.es/bitstream/123456789/955/1/BARRAYAC2.pdf>. Consultado: 07 de junio 2022.
- Piraneque, N., Aguirre, S. y Reis, A. 2018. Carbon sequestration in a Typic Ustipsamment under semiarid conditions. *Spanish Journal of Soil Science* 8(3): 293-305. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2018.V8.N3.01>.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington D.C.
- Torres, R.L., García-Casco, A. y Molina, J. 2004. Petrología metamórfica, asistente de prácticas. Departamento de Mineralogía y Petrografía Universidad de Granada. URL: <https://www.ugr.es/~petgquim/descargas/CPM.pdf>. Consultado: 07 de junio de 2022.
- Vásquez, J. R. 2014. Contenido, formas y mecanismos de estabilidad del carbono orgánico en suelos del departamento del Magdalena (Colombia), bajo diferentes tipos de usos del suelo. Tesis doctoral Universidad Santiago de Compostela, España.
- Wilson, M. J. 2019. The importance of parent material in soil classification: A review in a historical context. *Catena* 182: 104131. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104131>.
- WRB. World Reference Base for Soil Resources. 2014 update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.