

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES GENERADORES
DE SUELOS AGRÍCOLAS EN LA ZONA DE CARLOS REYLES,
DURAZNO**

por

María Raquel CAGGIANO BRACCO

TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Magíster en Ciencias Agrarias
opción Ciencias del Suelo

**MONTEVIDEO
URUGUAY
Junio 2019**

Tesis aprobada por el tribunal integrado por Dr. Claudio Gaucher, Ing. Agr. PhD.
Jorge Hernández, e Ing. Agr. MSc. Antonella Celio, el 11 de junio de 2019.
Autora: Ing. Agr. Raquel Caggiano. Director: Dr. Jorge Bossi, Co-director: Dr.
Gonzalo Blanco.

Dedico este trabajo a mis estudiantes de grado de Agronomía porque, aunque sin saberlo, son ellos quienes me impulsan a más.

AGRADECIMIENTOS

A Daniel, mi compañero de vida, mi soporte y sostén, quien siempre estuvo para darme ánimos, leer el manuscrito y hacer las traducciones.

Al G.D. Geología por su soporte y sus aportes durante todo este tiempo.

Al Profesor Dr. Jorge Bossi.

A los Sres. Custer, Fernández, Gelós y Carrión, productores de Carlos Reyles.

Al Laboratorio del Dpto. de Suelos y Aguas de la F. de Agronomía; Recursos Minerales del Cure 33 y al Centro de Investigaciones Geológicas de La Plata por su disposición en el procesamiento de las muestras.

A los estudiantes de las ediciones 2015-16-17 del curso de posgrado de Geología del Uruguay.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN.....	VII
SUMMARY.....	VIII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS PARA LA ZONA DE CARLOS REYLES, DURAZNO.....	2
1.1.1. <u>Formación Asencio</u>	3
1.1.2. <u>Formación Mercedes</u>	6
1.2. VERTISOLES.....	9
2. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	11
2.1. ÁREA DE RELEVAMIENTO.....	11
2.2. METODOLOGÍA DE CAMPO.....	13
2.2.1. <u>Muestreo de horizontes C</u>	13
2.2.2. <u>Relevamiento geológico</u>	14
2.3 METODOLOGÍA DE LABORATORIO.....	15
2.3.1. <u>Determinación del tamaño de partícula</u>	15
2.3.2 <u>Difracción de Rayos X</u>	16
2.2.3. <u>Láminas delgadas</u>	17
3. <u>RESULTADOS</u>	18
3.1. RELEVAMIENTO DE CAMPO.....	18
3.1.1. <u>Relevamiento geológico</u>	18
3.1.1.1. Sector 1	18
3.1.1.2. Sector 2.....	20
3.1.1.3 Sector 3	22
3.1.1.4 Sector 4.....	25

3.1.2. <u>Relevamiento de suelos y horizontes C</u>	28
3.1.2.1. Sector 1.....	29
3.1.2.2 Sector 2.....	34
3.1.2.3 Sectores 3 y 4.....	36
3.2. RESULTADOS DE LABORATORIO.....	39
3.2.1. <u>Láminas delgadas</u>	39
3.2.2. <u>Estimación del tamaño de partículas minerales de los principales horizontes C</u>	42
3.2.3. <u>Difracción de Rayos X</u>	45
4. <u>DISCUSIÓN</u>	53
5. <u>CONCLUSIONES</u>	57
6. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	60
7. <u>ANEXOS</u>	62

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es determinar el material generador de suelos para el área de Carlos Reyles, Durazno y su relación con la geología local. Para ello se estudiaron cuatro sectores donde se realizó relevamiento geológico y muestreo de horizontes C. Para los horizontes C se estimó el tamaño de partículas minerales por el método Bouyoucus y la Difracción de Rayos X para cuantificar la composición mineral y el tipo de mineral arcilloso dominante. Para las litologías más representativas (areniscas ferrificadas, silicificadas y sin ferrificar) se realizaron láminas delgadas para su visualización en microscopio petrográfico. Estas indican, que la composición y distribución de minerales son similares, teniendo como diferencias entre ellas que fueron afectadas por procesos diagenéticos posteriores. Con respecto a una de las zonas que mostraba microrrelieve gilgai, el material corresponde a una arenisca fina de matriz arcillo limosa, la cual no había sido reportada en la zona como material geológico, asociándose la misma a los niveles areniscos de Fm. Fray Bentos. Los restantes horizontes C relevados mostraron características similares a las litologías aflorantes muestreadas, tanto para la zona E como W del área de estudio. En la zona E, los suelos resultantes son arenosos, de colores pardo grisáceo, con profundidades variables (70-100 cm), con mineralogía dominante compuesta por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y proporciones de arcilla que van de muy escasa a escasa, donde el mineral arcilloso dominante es caolinita. Para la zona W, donde aparece el microrrelieve gilgai, los suelos resultantes son más profundos (> 100 cm), oscuros, con alto contenido de arcilla con respecto a los de la zona E. La mineralogía dominante en el C está compuesta por cuarzo y plagioclasa, con una proporción de arcilla media. En las zonas de estos sitios donde no se reconoce microrrelieve, la mineralogía de los horizontes C es similar a los observados para el S de la zona W. Los minerales arcillosos dominantes de la fracción arcilla de los todos los horizontes C en esta zona corresponden principalmente a esmectitas.

Palabras clave: material generador, arcillas, microrrelieve, diagénesis.

**CHARACTERIZATION OF THE PARENT MATERIALS IN
AGRICULTURE SOILS IN THE AREA OF CARLOS REYLES, DURAZNO
SUMMARY**

The objective of this work is to determine the parent material of the area of Carlos Reyles, Durazno, as well as the rest of the area and its relation with the local geology. We have studied four different places where geological survey was performed as well as sampling of horizons C. For the horizons C we estimated the size of the mineral particles by using the Bouyoucus method and X Ray Diffraction to quantify the mineral composition and the kind of dominant clay mineral. For the main representative lithologies we made thin sheets for a better visualization in the petrographic microscope. These indicate, for the different lithologies, a similar composition and distribution of minerals, having as differences between them that they were affected by subsequent diagenetic processes. With respect to the gilgai microrelief, the material belongs to a fine sandstone of silty clay matrix, which had not been reported in the area as a geological material, associating the same with the sandstone levels of Fray Bentos Formation. The survey of horizons C showed similar features to the sampled outcropping lithologies, as if to the zone East (E) and West (W) of the study area. In the zone E, the resulting soil are sandy, grayish brown colors with varying depths (70-100 cms), with a dominant mineralogy composed of quartz, plagioclase, potassium feldspar with an amount of clay that goes from little to very little, where the dominant clay mineral is the kaolinite. For the zone W, where appears the gilgai microrelief the resulting soils are deeper (>100 cms), dark, with a higher clay content respect to the zone E. The dominant mineralogy in the C is composed by quartz and plagioclase, with an average proportion of clay. In the areas of these sites where the microrelief is not recognized, the mineralogy horizons C are similar to those observed for the S of W zone. The dominant clay minerals of the clay fraction of every horizon C in this area belong mainly to the smectite group.

Keywords: parent material, clay, microrelief, diagenesis

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de los materiales parentales de suelos es de suma importancia para comprender la variabilidad existente de los mismos en el Uruguay. Tomando como base la Carta Geológica del Uruguay (Bossi y Ferrando, 2001), puede observarse la variabilidad de materiales geológicos presentes en el país, con lo cual es posible correlacionar los mismos con los diferentes tipos de suelos descritos en las cartas de suelos. Citando a Walther (1909): “ Lo que llamamos suelo, no es otra cosa que una formación nueva originada de la descomposición de minerales y rocas, ya directa en el mismo lugar, ya después de un transporte más o menos largo por el agua y el viento. No puede, pues, el suelo, lo mismo que su composición química, ser conocido después de su nacimiento y formación, si es desconocido el material que formaba aquel producto de descomposición”.

En el presente trabajo, se hará énfasis en caracterizar los materiales generadores de suelos agrícolas en la región de Carlos Reyles, Durazno, Uruguay. Dicha región presenta como característica principal, una alta distribución de zonas con microrrelieve gilgai, (distinguibiles por fotointerpretación), probablemente asociado a la presencia de vertisoles, los cuales se cree que pueden ser originados por el miembro Yapeyú de la formación Asencio.

Para el desarrollo de la presente investigación se planteó como objetivos: determinar el material generador de las áreas fotointerpretadas con microrrelieve gilgai de la zona de Carlos Reyles, en el departamento de Durazno; caracterizar los materiales parentales de suelos y su relación con los suelos de la zona.

Para el cumplimiento de los objetivos planteados, se presentan las siguientes hipótesis de trabajo: El material generador de los posibles vertisoles rúpticos asociados al microrrelieve gilgai en foto aérea son las areniscas blancas y friables del miembro Yapeyú de la Fm. Asencio; las zonas donde no aparece el microrrelieve gilgai están relacionadas a las corazas de ferrificación del miembro del Palacio de la Fm. Asencio y de la Fm. Mercedes, lo cual supone que los suelos presentes serán diferentes a los anteriores.

REYLES, DURAZNO

geológicos a las formaciones que se describen a continuación.

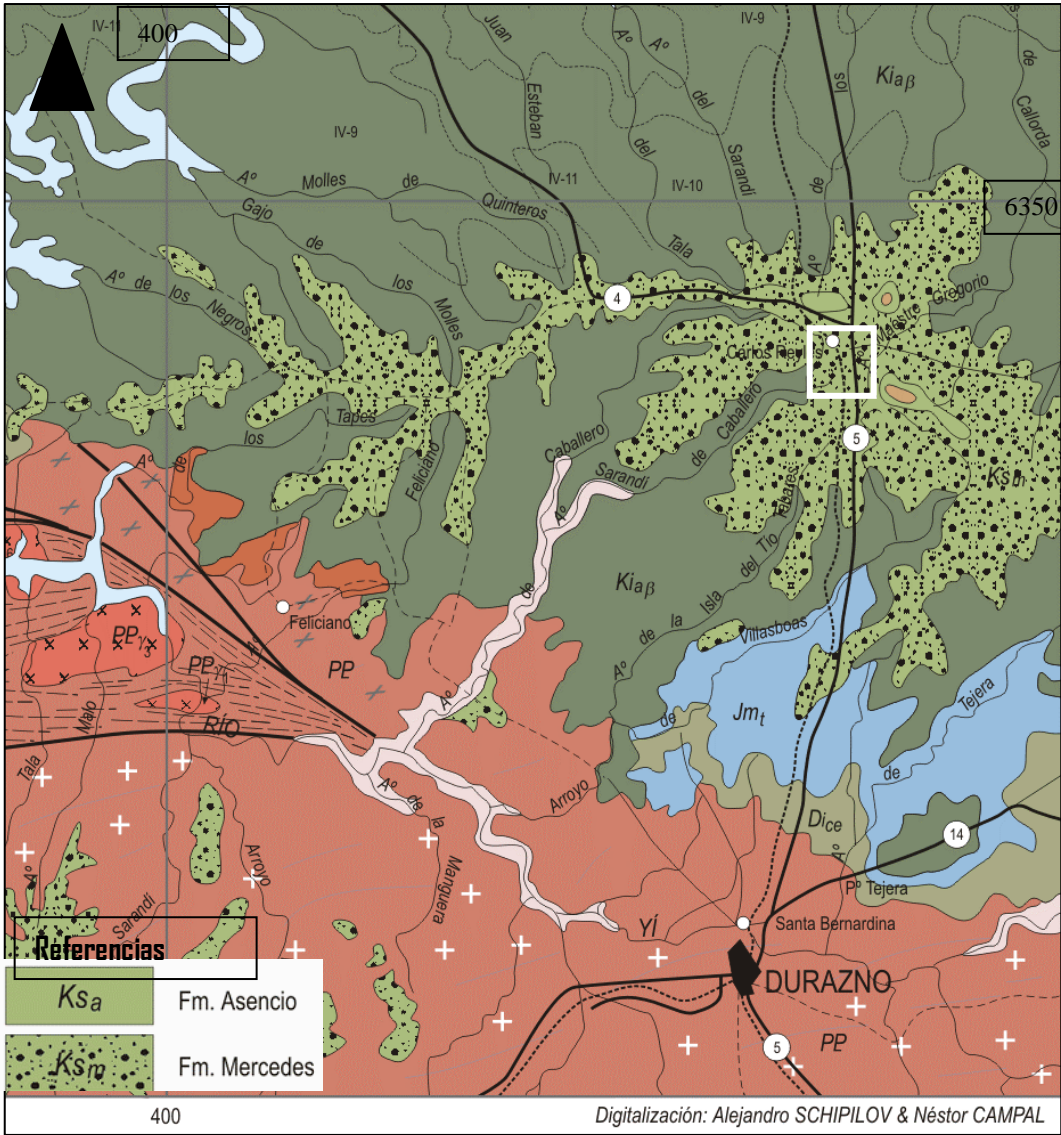


Fig. No.1. Porción de la carta geológica del Uruguay (escala original 1/500.000).

Bossi y Ferrando (2001).

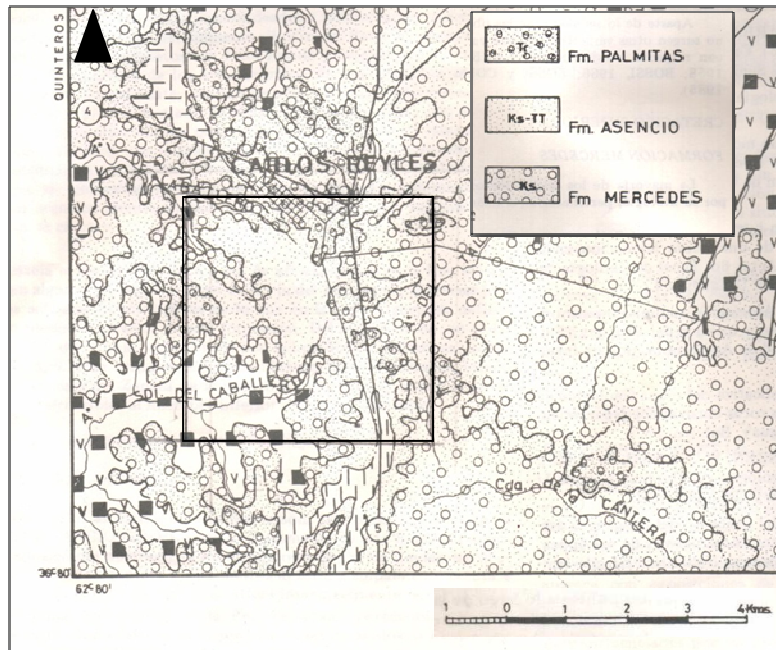


Fig. No.2. Porción de la carta geológica de la hoja Molles (escala original 1/100.000; recalculada: 1/136.000).
Ford (1990)

1.1.1 Formación Asencio

Las areniscas de Asencio fueron descritas por Walther (1931) como areniscas de titanosaurio. Bossi (1966), la define como Formación, con la siguiente descripción litológica: areniscas de grano fino, color rosado pálido y algo de cemento en base a illita y CaCO_3 ; grano bien seleccionado y con buen redondeamiento. La composición mineralógica corresponde a arenas ácidas con 80% de cuarzo, 15% de feldespatos alcalinos y algo de plagioclasas.

La potencia de dicha formación es de 25 m, con contacto inferior con Fm. Mercedes (arenas gruesas con niveles de cantos), totalmente gradual.

Bossi y Navarro (1988) la incluyen en el Grupo Paysandú junto con Fm. Mercedes y Fm. Guichón (Cretácico superior)

La peculiaridad que presenta dicha formación es su sector cuspidal que sufrió fenómenos diagenéticos de silicificación y ferrificación.

Bossi y Navarro (1988) proponen dividirla en dos miembros, siendo Yapeyú el inferior y del Palacio el superior.

El miembro Yapeyú corresponde a las areniscas descritas para la formación (Bossi, 1966) mientras que el miembro del Palacio corresponde a las areniscas intensamente ferrificadas, formando corazas y carapachos.

Ford y Gancio (1988) estudiando el perfil del Cerro Vera, determinaron (para este lugar) que las corazas de ferrificación, las areniscas moteadas subyacentes y las decoloradas inferiores un origen de paleosuelos por la presencia de pedotúbulos, cutanes de arcilla y óxido (ferriargilanes) de iluviación, y glébulos. Estos autores realizaron un estudio de los minerales arcillosos por Difracción de Rayos X determinando una dominancia de esmectitas como mineral arcilloso en la base y su pasaje a caolinita en los estratos superiores (llegando a la dominancia en la coraza ferrificada).

Según Ford (1990) en la memoria explicativa de la carta geológica 1/100.000 de la hoja Molles, la Fm. Asencio puede definirse como areniscas medias, de selección regular a buena, con granos redondeados, cuarcítica, con cemento arcilloso, con impregnaciones irregulares de óxidos de hierro, determinando un moteado muy característico, medianamente coherentes, macizas, de color blanco amarillento a blanco grisáceo con manchas rojas.

Para las corazas ferrificadas presentes en la zona, Ford (1990) las atribuye a la Fm. Palmitas, siendo las litologías descritas como conglomerados cuyos clastos están constituidos por formas concreciónáceas endurecidas de óxidos de hierro (hematita), formados sobre un material areno-arcilloso cuarcítico. El autor indica que es posible que la formación de estas formas concreciónáceas estén relacionadas a procesos de acumulación absoluta de óxidos de hierro en el material originario, donde la hematita ha reemplazado en parte, a la matriz arcillosa primitiva. Afirma además que son frecuentes los clastos en cuyo interior se conservan formas fósiles de nidos de insectos (Roselli, 1938; citado por Ford 1990)

Genise et al. (2004), citado por Genise et al. (2011), definen a la Formación Asencio como una secuencia silicoclástica delgada (5-15 m), oscura, roja y endurecida compuesta por arenitas de cuarzo, que exhibe modificaciones generalizadas y avanzadas por procesos de formación de suelo (ferralización y lixiviación) y contiene

una icnofauna muy diversa. La parte superior de la unidad se denota por una discordancia erosiva debajo de la Formación Fray Bentos del Oligoceno Tardío.

Bellosi et al. (2004) así como Ford y Gancio (1988) distinguieron dos facies superpuestas y de interposición: duricostras ferruginosas y lechos nodulares. La combinación de estas dos facies produce perfiles poligenéticos complejos de la Formación Asencio. Tales facies son comunes en los entornos húmedos tropicales erosivos o ligeramente sedimentarios que contienen lateritas. Las duricostras ferruginosas corresponden a paleosuelos endurecidos, bien estructurados y argílicos con abundantes microgránulos hematíticos de arcilla roja.

Bellosi et al. (2004) sugiere que de los perfiles lateríticos se ha preservado principalmente la “zona glebular”, conformada en su sección inferior por un ferricrete (facies de costra ferruginosa) y un horizonte desmantelado (facies nodular) en su sección superior. Esta última facies corresponde a los discutidos “conglomerados” de la Formación Asencio, los cuales se interpretan aquí como acumulaciones residuales por desintegración de los ferricretes.

La alternancia de ambas facies respondería a fluctuaciones en el régimen hidrológico, bajo un clima cálido y húmedo, posiblemente con precipitaciones de 1300-1700 mm/año. Los ferricretes se originaron en condiciones de fuerte contraste pluvial (desechamiento), mientras que el desmantelamiento ocurrió en lapsos de sostenido incremento en las precipitaciones y saturación del suelo (rehidratación).

Las lateritas apiladas de la Formación Asencio constituyeron individualmente paleosuperficies de meteorización en un ambiente tectónico estable, de leve subsidencia. El avanzado grado de desarrollo reconocido tanto para los ultisoles originales, como para las duricostras y horizontes desmantelados sugiere que cada ciclo que involucró procesos de sedimentación, edafización, ferricretización y desmantelamiento, habría consumido uno a varios millones de años.

1.1.2 Formación Mercedes

La Formación Mercedes es una unidad de color claro (blanco, rosa, gris) de hasta 100 m de espesor que representa el relleno parcial de la cuenca "Litoral del Río Uruguay". Está compuesta de areniscas de grano medio a fino, escasamente clasificadas, conglomerados finos a medianos y escasas lutitas rosadas o verdosas (Bossi y Navarro, 1988). Las areniscas presentan un 10% de porosidad, una matriz de arcilla abundante (35%) grisácea o amarillenta y corresponde a los wackes feldespáticos. El cemento de relleno de poros silíceos o de carbonato es frecuente en estas areniscas. Pazos et al., (1998) describieron cuerpos de canales lenticulares con areniscas entrecortadas hacia arriba, capas cruzadas, conglomerados y depósitos intercanales pedogenizados formados en un entorno de sedimentación fluvial serpenteante. Localmente y en la sección superior, también se producen calizas blancas y rocas silíceas (Alonso-Zarza et al., 2011). La Formación Mercedes tiene huevos y huesos de saurópodos (Perea et al., 2009, Facio y Gancio, 1993) y se considera de edad Cretácico superior.

Ford y Gancio (1990a), en la memoria explicativa de la hoja Algorta, proponen la subdivisión de la Fm. Mercedes en dos miembros claramente distinguibles por su litología: un miembro inferior en el que dominan las psefitas y un miembro superior psamítico, en el que se localizan fósiles de cáscaras de huevo de dinosaurios.

Según estos autores, el miembro inferior está constituido por depósitos psefíticos densos, con algunas intercalaciones calcáreas y pelítico calcáreas, variando vertical y lateralmente la granulometría. En algunas partes el aspecto de los conglomerados matriz soportados es macizo, sin percibirse la estructura original del depósito; en otras en cambio, son visibles estructuras cruzadas, a veces tabulares, y en escasos lugares fueron vistas estructuras de canales de corte y relleno. El tamaño de los clastos es muy variable de un estrato a otro, alcanzando en ocasiones el tamaño de 1 dm³, mayoritariamente procedente de rocas del basamento, aunque también en menor proporción, del área basáltica. La diagénesis silícea que ha afectado a estas rocas, es en gran parte la responsable de obliterar las estructuras originales.

El miembro superior (biozona informal, propuesta por Ford y Gancio (1990a): areniscas con huevos fósiles de dinosaurios), se caracteriza por presentar litologías homogéneas desde el punto de vista textural, comparado con el miembro inferior. Se trata de areniscas finas a medias, de selección regular, con granos de arena gruesa generalmente muy redondeados, dispersos, cuarcítica, maciza, de color rosado, a veces amarillento, afectado por una diagénesis silícea que no es tan intensa como en el miembro inferior.

Ford (1990), en la memoria explicativa de la carta Molles, plantea que la mayoría de los afloramientos atribuidos a la Fm. Mercedes, por su litología, pertenecerían al miembro superior de esta unidad, tal como se lo definió y cartografió en la hoja Algorta, y que se corresponden con las areniscas con huevos fósiles de dinosaurios (Ford y Gancio, 1990a). Se trata de areniscas medias a gruesas, de selección regular, muy homogénea en su granulometría, con algunos granos de arena gruesa dispersos, subredondeados a redondeados, cuarcíticas, con cemento arcilloso, parcialmente silicificada. Estas areniscas se presentan en los afloramientos con color rosado y macizas, sin estructuras visibles. La mayoría de los afloramientos son en pequeñas escarpas discontinuas lateralmente, probablemente debido a diferencias en la silicificación y/o en el grado de alteración que las afecta. En algunas partes, la meteorización ha penetrado profundamente en estas areniscas, determinando una notable pérdida de coherencia y una acentuada susceptibilidad a la erosión, formando cárcavas muy características, en las que se conservan relictos en forma de pilotes o columnas de la misma arenisca menos alterada, que sobresale del piso de la cárcava. En el extremo SW de la hoja, sobre la Ruta 5, afloran areniscas calcáreas blancas, muy silicificadas, idénticas a las del Paso Zapata de la hoja Bizcocho, atribuibles al miembro inferior de la Fm. Mercedes.

Ford y Gancio (1990b), en la memoria explicativa de la hoja Bizcocho, describen que en los alrededores del Paso Zapata sobre el arroyo Bequeló son particularmente importantes las facies calcáreas de la Fm. Mercedes. Se trata de niveles de calizas blancas arenosas, con elementos clásticos dispersos e intercalaciones de niveles conglomerádicos, presentándose en general muy silicificadas.

Goso y Perea (2003), definen a la Fm. Mercedes como una unidad con gran diversidad litológica, la cual incluye litologías clásticas (areniscas y conglomerados) así como calcáreas, ferrificadas y silicificadas. Este autor propone agrupar todas las litologías en dos miembros: Yapeyú y del Chileno. Dentro del Miembro Yapeyú, se definen areniscas finas, de colores que varían entre el blanco y el blanco grisáceo; presentan en estratos de buena selección; los clastos en su mayoría son cuarzosos y redondeados en un 85-90%. A su vez, el autor plantea que los clastos feldespáticos presentan una incipiente alteración. El tipo de cemento es calcáreo.

Para el Miembro del Chileno, el autor plantea que las litologías están representadas por areniscas muy gruesas y conglomerados, que se presentan en estratos que van de decimétricos a métricos, con colores que varían entre el blanco-grisáceo y el rojo amarillento. Los megaclastos están constituidos por cuarzo, basalto en el sector Norte y por granitos, gneisses, cuarcitas y esquistos en la porción Sur de la cuenca. La matriz de estos conglomerados es arena media a fina y ocasionalmente pelítica. Son pobremente seleccionados. Subordinadamente aparecen areniscas medias a gruesas, de color gris claro, con más del 90% de los clastos cuarzosos y subredondeados a subangulosos. Presentan matriz constituida por arena fina, con pocos granos de limo que aparecen cubiertos por el cemento. El contenido de cemento calcáreo y de sílice es variable, lo cual hace variar el grado de consolidación.

Goso y Perea (2003), plantean que los depósitos de la Fm. Mercedes pueden haber sido las sedimentitas que más modificaciones epigenéticas han sufrido, con procesos de ferrificación, calcretización y silicificación como responsables de intensas transformaciones de esos depósitos silicoclásticos.

A su vez, Goso (1999), citado por Goso y Perea (2003), indica que las litofacies ferrificadas corresponden a la denominación edafoestratigráfica de Geosuelo del Palacio, el cual está compuesto por areniscas finas ferrificadas, a veces con preservación de las geometrías estratales; con corazas sustentadas por estructuras columnares de diámetro métrico con diferentes alturas.

1.2 VERTISOLES

Los suelos de tipo vertisoles se caracterizan por ser suelos arcillosos, que presentan grietas en alguna estación del año o caras de deslizamiento dentro del metro superficial del perfil (Gisbert Blanquer *et.al*, 2011).

Este autor plantea que el material parental de este tipo de suelos lo constituyen sedimentos con una elevada proporción de arcillas esmectíticas, o producto de alteración de rocas que las generan, siendo suelos minerales caracterizados por su elevado contenido de arcillas del tipo 2:1 tipo montmorillonita.

Por lo tanto es posible manejar que las areniscas descritas como M. Yapeyú (Bossi y Navarro, 1988) son el posible material parental, dado que dominan en esta, el mineral arcilloso esmectítico tomando los antecedentes de Ford y Gancio (1988).

Según Brady y Weil (2017) el principal proceso de formación de suelo que afecta a los vertisoles pasa por períodos de secado y humectación. Los vertisoles tienen un alto contenido (> 30%) de arcillas pegajosas, hinchables y de tipo retráctil a una profundidad de 1 m o más.

La mayoría de los vertisoles son oscuros, incluso de color negruzco a una profundidad similar. Sin embargo, a diferencia de la mayoría de los otros suelos, el color oscuro de los vertisoles no es necesariamente indicativo de un alto contenido de materia orgánica. El contenido de materia orgánica de los vertisoles oscuros típicamente varía de tanto como 5 o 6% a tan poco como 1%.

Estos autores indican que los vertisoles se desarrollan típicamente a partir de materiales de origen calcáreo, basáltico u otros materiales parentales ricos en calcio y magnesio. La presencia de estos cationes favorece la formación de arcillas de tipo expansibles. Los ambientes propicios para la formación de estos suelos son cálidos subhúmedos a semiáridos con vegetación nativa generalmente del tipo pastizales. Generalmente ocurren cuando el clima presenta periodos húmedos y secos alternos de varios meses cada uno. En temporadas secas, la arcilla se encoge, haciendo que los suelos desarrollen grietas profundas y anchas que son diagnósticas para este orden. El suelo superficial generalmente forma estructura granular, de los cuales un número significativo de agregados puede desprenderse en las grietas, dando lugar a

una inversión parcial del suelo. Esto explica la asociación con el término invertir, del cual esta orden deriva su nombre.

Cuando llegan las lluvias, el agua que entra a las grandes grietas humedece la arcilla en los subsuelos, haciendo que se hinche.

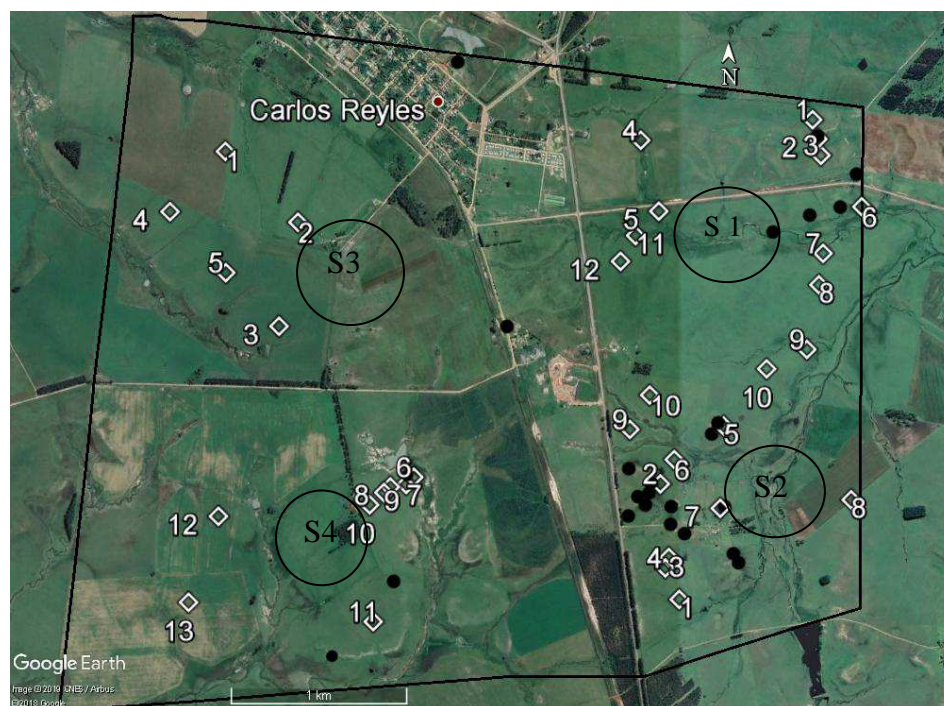
La contracción e hinchazón repetida de la arcilla del subsuelo da como resultado una especie de movimiento "oscilante" imperceptiblemente lento de grandes masas de tierra. A medida que el subsuelo se hincha, los bloques de tierra se desprenden de la masa y se frotan bajo presión, dando lugar en el subsuelo a superficies brillantes, acanaladas y tituladas llamadas slickensides. Eventualmente, este movimiento hacia adelante y hacia atrás puede formar depresiones en forma de cuenco con perfiles relativamente profundos rodeados por áreas ligeramente elevadas en las que se ha producido poco desarrollo del suelo y en las cuales el material parental permanece cerca de la superficie. El patrón resultante de microcrestas o microdepresiones en la superficie de la tierra, llamado gilgai, el cual es generalmente discernible solo cuando el suelo está sin labrar.

Por su parte, Durán y García Préchac (2007) indican que, a nivel de la clasificación de suelos del Uruguay (Altamirano et al., 1976), los vertisoles son suelos del orden melánico, los cuales presentan como características contacto lítico a más de 50cm, contenido de arcilla igual o mayor a 35%. Según estos autores, algunas de las propiedades siempre presentes son grietas de desecamiento en algún periodo del año y caras de deslizamiento; dentro de otras propiedades destaca el autogranulado, el microrrelieve gilgai y evidencias de automezclado.

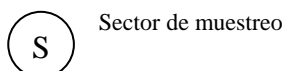
2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. ÁREA DE RELEVAMIENTO

El área de relevamiento está comprendida en las inmediaciones del poblado de Carlos Reyles, Durazno. Se tomó como documento cartográfico de referencia la foto aérea 152-139 del MGA-MDN-CBCSPGNV (1967) a escala 1/20.000, en la cual se encuentran los 4 sectores donde se realizó el trabajo de campo. Los mismos fueron identificados como Sector 1 (S1), Sector 2 (S2), Sector 3 (S3) y Sector 4 (S4) tanto para el relevamiento geológico como edafológico. En la figura que se presenta a continuación se muestra la ubicación de los mismos.



Referencias:



Referencias: los puntos en negro corresponden a lugares donde se realizó el muestreo geológico; los rombos numerados a donde se realizaron perfiles de suelo y muestreo de horizonte C.

Fig. No.3. Área de relevamiento.

Para la zona fotointerpretada con microrrelieve gilgai se expone a continuación la figura No.4, la cual corresponde a una porción de la foto aérea 152-139, donde se puede observar el patrón característico.



Fig. No. 4. Porción de la foto 152-139, con detalle de microrrelieve gilgai. Escala recalculada 1/23.000

2.2. METODOLOGÍA DE CAMPO

2.2.1 Muestreo de horizontes C

El muestreo de horizontes C se realizó con taladro holandés (extensible a 3 metros), en forma de transectas para la zona fotointerpretada con microrrelieves gilgai. Se eligió la metodología de transectas a los efectos de tomar puntos de muestreo y corroborar la correspondiente secuencia de horizontes y su frecuencia. El muestreo en transectas abarca el establecimiento de una o más transectas a través de la superficie del área de estudio, donde las muestras son tomadas a intervalos regulares o según las unidades topográficas a lo largo de las mismas. La longitud de la transecta y el número de muestras a tomar determinan el espaciamiento entre los puntos de muestreo a lo largo del mismo. (Fuente: Protocolo de muestreo de suelos V 1.0)

En cada punto de muestreo se procedió a sacar el perfil de suelo llegando al horizonte C, a fin de describirlo, destacar sus principales características, y se acondicionaron las muestras para realizarle la estimación de tamaño de partículas en el laboratorio del Dpto. de Suelos y Aguas de la Facultad de Agronomía.

También se prepararon las muestras a los efectos de realizar la determinación del tipo de mineral arcilloso presente en las mismas, por la técnica de difracción de rayos X, realizados en el Centro de Investigaciones Geológicas, La Plata, Argentina.

2.2.2 Relevamiento geológico

Para el relevamiento geológico se procedió a recorrer la zona en base a la fotointerpretación planteada en la figura 5, ubicando en cada probable área de afloramiento puntos de descripción. Dicho relevamiento fue realizado para la totalidad del área planteada por el recuadro de la fig. 3 a los efectos de poder conocer el comportamiento geológico de la zona. Para las áreas donde no se encontraron afloramientos naturales o artificiales el relevamiento fue apoyado por la observación de los horizontes C de los suelos, a fin de poder interpretar la geología de esas zonas y llegar a elaborar un mapa geológico del área de estudio.

Luego de descritos los diferentes puntos de afloramientos para cada material geológico, se procedió a tomar muestras de las litologías dominantes para la realización de láminas delgadas, a los efectos de conocer las composiciones de las mismas. Las láminas delgadas y las descripciones petrográficas se realizaron en el laboratorio del PDU "Geología y Recursos Minerales" del Centro Universitario Regional Este (CURE) Treinta y Tres.



Fig. No. 5. Fotointerpretación del área de estudio en base a la foto 152-139 del MGA-MDN-CBCSPGNV (1967)

2.3 METODOLOGÍA DE LABORATORIO

2.3.1 Determinación del tamaño de partícula.

Se utilizó el método Bouyoucus modificado, Versión 1.0 de Zamalvide y Paladino (2017).

El método Bouyoucus estima la distribución por tamaño de partículas del suelo por medidas de la densidad de las suspensiones de las mismas en agua. Trabajando con suelos molidos y tamizados a 2 mm mide limo + arcilla (menor a 50 micras) y arcilla (menor a 2 micras). Limo y arena se estiman por diferencia.

Procedimiento

Pesar con precisión al 0.01 g 50 gr de suelo seco al aire. Colocar en vaso de bohemia el suelo y agregar aproximadamente 50mL de agua. Agregar 5 mL de perhidrol y observar reacción. Al atenuarse la reacción agregar otros 5 mL y luego colocar en plancha comenzando a 60° y ascendiendo hasta 90°, observando la reacción. Seguir agregando perhidrol de a 5 mL hasta fin de reacción y obtención de colores claros. Para la mayoría de los suelos es suficiente un total de 20 mL de perhidrol.

El ataque suele tardar 2 hs aproximadamente.

Mantener en plancha tapado por 30 min a 1 hora para eliminar restos de perhidrol. Retirar de la plancha, dejar enfriar y llevar volumen a aproximadamente 250 mL y agregar 50 mL de dispersante; en frasco semi lleno con 250 mL de agua, colocar en el agitador recíproco toda la noche a 80 golpes/minuto.

Colocar el tamiz dentro del embudo y este sobre la probeta. Transferir con ayuda de piceta cuantitativamente a la probeta de 1 L tamizando y lavando exhaustivamente la arena. Tener cuidado de no sobrepasar el enrase de 1 l.

Pasar la arena del tamiz a cápsula de porcelana de unos 3 a 5 cm de profundidad. Ir eliminando luego de sedimentar en cápsula, los excesos de agua. Pasar finalmente la arena a placas de Petri. Secar las arenas a 105°, enfriar y pesar.

La sedimentación y las medidas del densímetro deben realizarse a temperaturas de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$. Realizar una prueba en blanco con 1 L de agua con 50mL de dispersante.

Enrasar la probeta a 1 L. tomar temperatura. Agitar con varilla con cilindro 10 veces y anotar la hora. Las lecturas se realizan a las 2 y 6 hs.

Colocar suavemente el densímetro y realizar la lectura en el menisco superior.

Luego de obtenidos los valores se colocan en una planilla Excel donde se calcula el porcentaje de arcilla y por diferencia se obtiene el porcentaje de limo y arena.

2.3.2. Difracción de rayos X

Metodología (Centro de Investigaciones Geológicas, La Plata, Argentina. Encargado: Dr. Daniel Poiré).

A través de la DRX se estudia la composición mineralógica de distintas muestras, mediante los análisis de roca total y orientada (arcillas).

La técnica de roca total consiste en el análisis por difracción de rayos X de una muestra representativa del total de la roca. La misma se obtiene moliendo un trozo de roca hasta la obtención de un polvillo muy fino (malla 230 ASTM), que se coloca en un portamuestras de aluminio y se compacta uniformemente, obteniéndose una superficie lisa y regular para ser expuesta a los rayos X. de esta manera se identifican todos aquellos componentes minerales de una roca, que se encuentran en una proporción mayor al 3%.

Los análisis de muestra orientada para arcillas, se realizan sobre el polvillo obtenido, pero llevándolo previamente a suspensión en agua destilada. Luego se lleva el preparado a un vibrador ultrasónico durante 5 minutos, para que el material muy fino (menor a 4 micrones) quede en suspensión. Después de un tiempo determinado y de acuerdo a la ley de Stokes, se extrae la muestra con pipeta de la sección subsuperficial de la suspensión y se la lleva a un portaobjetos para su secado a temperatura de laboratorio. De esta manera los argilominerales se sedimentan lentamente sobre el mismo, adquiriendo una orientación preferencial según el plano (001). Esta muestra es denominada natural.

Para realizar la identificación y cuantificación de las arcillas, también se realizan dos ensayos más sobre muestras denominadas glicolada y calcinada. La primera se obtiene exponiendo el preparado natural a los vapores de etilenglicol, durante 24 hs. La calcinada se logra colocando el preparado natural en estufa, a 550°C durante 2 horas.

Una vez interpretados los difractogramas y reconocidos los minerales presentes en cada muestra según normas y procedimientos internacionales y propios, se realiza su análisis semicuantitativo y se vuelcan los resultados en las tablas composicionales correspondientes.

2.3.3. Láminas delgadas

Para la elaboración de las láminas delgadas se siguió el procedimiento que se detalla a continuación.

Tomando la muestra, lo primero a realizar es un corte, con una cortadora de disco diamantado, refrigerado por agua. Se cortan las rocas en prismas rectangulares (tacos) de 4*3*1 cm aproximadamente. El taco se deberá desbastar por una de las caras, utilizando polvo de carburo de silicio de diferente tamaño de grano (hasta llegar a 800 mallas) y mezclado con agua sobre cristales esmerilados.

Sobre la cara pulida se pega el porta objeto utilizando resina epoxy y haciendo presión para que no queden burbujas. Se dejan los tacos sobre la plancha caliente unos minutos, y una vez pegados ya están listos para cortar.

Se realiza el primer corte del taco con la laminadora Uniproc Woco 50, sacando una lámina de 1 mm de espesor. La lámina de 1 mm se desbasta con el disco de pulimento en la misma máquina, para reducir la lámina a 100 micrones de espesor.

Posteriormente se desbasta la lámina delgada utilizando polvo de carburo de silicio hasta obtener un espesor de 30 micrones. Finalmente se cubre con resma epóxica y cubreobjetos para su observación bajo microscopio petrográfico.

3. RESULTADOS

3.1. RESULTADOS DE RELEVAMIENTO DE CAMPO

3.1.1 Relevamiento geológico

Para caracterizar geológicamente el área de estudio se procedió a recorrer la zona, relevando los afloramientos rocosos más importantes, para cada uno de los sitios. Con las descripciones de cada uno de los afloramientos (tanto naturales como artificiales), la descripción de las muestras de campo y la descripción de horizontes C para zonas donde no se encontró litología aflorando, el resultado es el que se presenta en el siguiente mapa.

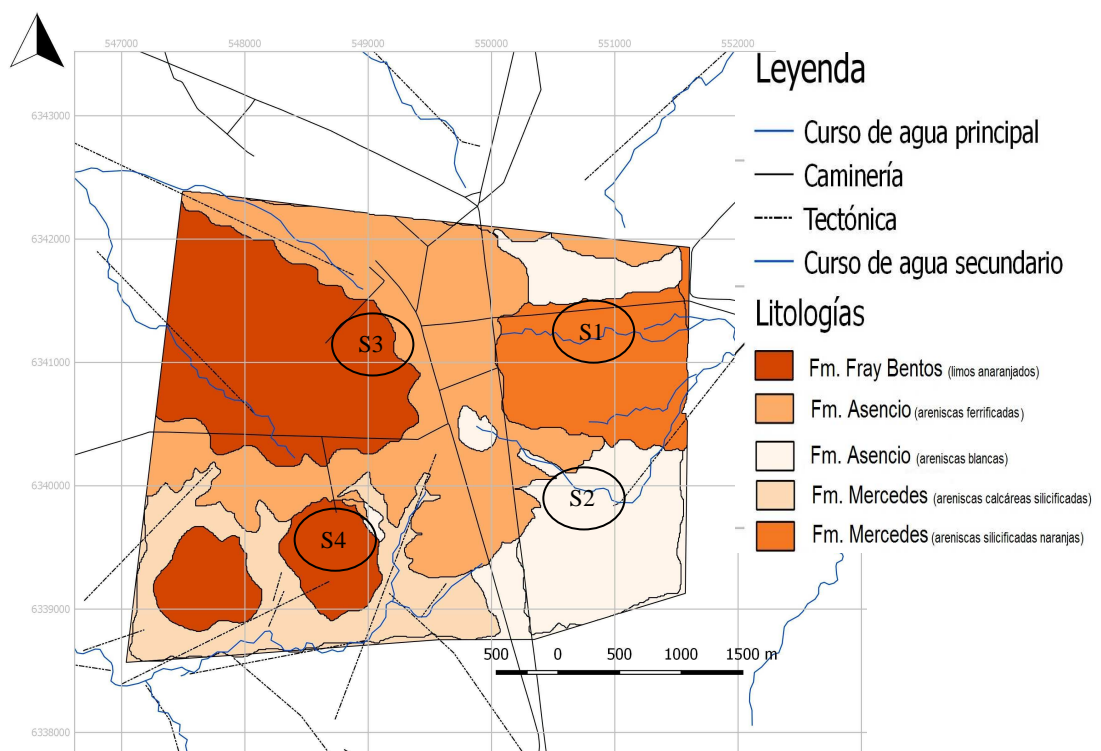


Fig. No. 6. Mapa litológico de los materiales parentales

3.1.1.1. Sector 1

Para el sitio 1 (S1), existe un comportamiento diferencial de las litologías y los afloramientos vistos a campo. La zona NE del sitio presenta afloramientos tipo carapacho, ferrificados en su techo, con un pasaje gradual a litologías sin ferrificar. En el punto UTM 551349m/6341781m/138m, se encuentra una extensa coraza de

areniscas ferrificadas, con relictos de columnas. Esta arenisca presenta concreciones de óxido de hierro en toda la extensión. Por debajo de la misma se encuentran indicios de areniscas sin ferrificar. El punto donde se encuentra la transición de la litología ferrificada con la no ferrificada es UTM 551344/6341784. Hacia la cima del afloramiento la ferrificación es total (UTM 551355/6341792/140m). (Fig. 7: A y B). Para la zona SE del S1, aparecen aflorando litologías en afloramientos rasantes, en forma de escarpa, discontinua, las cuales son areniscas de grano fino, silicificadas, de color naranja tenue. Presentan venillas de óxido de hierro y pequeños clastos de cuarzo diseminados en la matriz de la roca. Estos afloramientos se asocian al curso de agua. (Fig.7: C y D).



Fig. No.7. A. Contacto areniscas ferrificadas y no ferrificadas; B. Areniscas sin ferrificar con relictos de columnas; C. Afloramiento rasante de areniscas silicificadas anaranjadas; D. Detalle areniscas silicificadas.

3.1.1.2 Sector 2

Al W del sector 2 (S2) predominan las litologías sin ferrificar entre las cotas 110 y 120 m. Para cotas superiores a 120 m, comienzan a aparecer las corazas ferrificadas, en algunos casos con grumos de óxido de hierro, los cuales son tenaces; se visualizan también columnas aisladas. La roca dominante es una arenisca de grano fino. Por debajo de las areniscas ferrificadas grumosas, se encuentran areniscas sin ferrificar, blancas, con buena selección, tamaño de grano medio, redondeados, de composición cuarzosa, con algunos pequeños nódulos de óxido de hierro. (Fig.8: A, B, C, D y E).



Fig. No.8. A. Corazas ferrificadas; B y C. Columnas aisladas rodeadas de areniscas sin ferrificar; D. Contacto areniscas ferrificadas grumosas con areniscas ferrificadas; E. Detalle contacto areniscas grumosas con areniscas sin ferrificar.

En la zona centro N del sector 2 para el punto UTM 550743; 6340111, se aprecia un extenso afloramiento que presenta en la cima areniscas ferrificadas con glóbulos y nódulos de óxido de hierro; en el medio arenisca ferrificada fuertemente diaclasada de forma horizontal y en la base arenisca sin ferrificar con algunos moteados férricos (Fig.9 A y B)

Para el punto UTM 550779; 6340174 se visualizan más de 200 columnas aisladas, dispersas, redondas, ovaladas, irregulares, algunas ferrificadas a muy corta distancia unas de otras. Algunas presentan glóbulos de óxido de hierro. En algunos casos las columnas están de a dos. (Fig.9: C, D y E)



Fig. No.9. A y B. Areniscas ferrificadas con glóbulos y nódulos de óxido de hierro en contacto con areniscas sin ferrificar. C, D y E. Columnas aisladas asociadas al afloramiento.

En la zona S del sector 2 predominan los afloramientos de areniscas sin ferrificar, con algunos moteados de óxido de hierro. También aparecen las mismas areniscas pero silicificadas, con algunos clastos pequeños de cuarzo visibles.

3.1.1.3 Sector 3

Para el Sector 3, se observan dos comportamientos diferenciales desde el punto de vista geológico. Por un lado, en el punto UTM 549590; 6340721; 142 m. se encuentra un afloramiento al costado del camino (4-5 m de largo), compuesto por areniscas blancas, diaclasadas de forma vertical (ese no es continuo). Aparecen algunas columnas y arenisca ferrificada con nódulos. En algunas partes aparece silicificación cubriendo un plano. Nuevamente aparecen nódulos ferrificados con nidos de véspidos sueltos en el afloramiento. (Fig. 10)



Fig. No.10. Afloramiento al costado del camino, UTM 549590; 6340721m.

Por otro lado, hacia el W del sitio, se observa mediante fotointerpretación microrrelieve, y no aparecen afloramientos superficiales. Realizando el relevamiento de horizontes C, se encontró que en el área abarcada por el microrrelieve, el regolito presenta una arenisca fina con matriz arcillo limosa de color anaranjado con concreciones de carbonato de calcio. Todo esto sucede por encima de la cota 120 m.

Fuera del área de estudio, sobre la ruta nacional N° 4, en las coordenadas UTM 547184, 6343485, 130 m se observa un perfil el cual puede visualizarse en la Fig.11.

El mismo está compuesto por arenisca fina con matriz arcillo limosa de color anaranjado con abundantes concreciones de carbonato de calcio.



Fig. No.11. Afloramiento en ruta 4, UTM 547184, 6343485, 130 m.

Para este sector también se tomó como punto de observación las Grutas del Parque de Carlos Reyles. Las litologías presentes en la parte superior de la gruta son areniscas ferrificadas, tenaces, de coloración rojiza de grano fino. Por encima de las mismas aparecen areniscas grumosas, con nidos de véspidos, con presencia de óxido de hierro. En la parte inferior de la coraza ferrificada, la cual es sostenida por columnas también ferrificadas se encuentra la misma arenisca blanca sin ferrificar, friable, descrita para los sitios anteriores. (Fig.12)



Fig. No.12. Grutas de Carlos Reyles.

3.1.1.4 Sector 4

Para el sector 4, se observan diferencias entre las litologías encontradas. En el punto 549021, 6339887, se encuentra un afloramiento subhorizontal en forma de escarpas, asociados a un paisaje de lomadas suaves, donde las litologías predominantes son areniscas de grano medio a fino, similares a las encontradas en los sitios anteriores, con nódulos de óxido de hierro. (Fig.13: A, B y C)

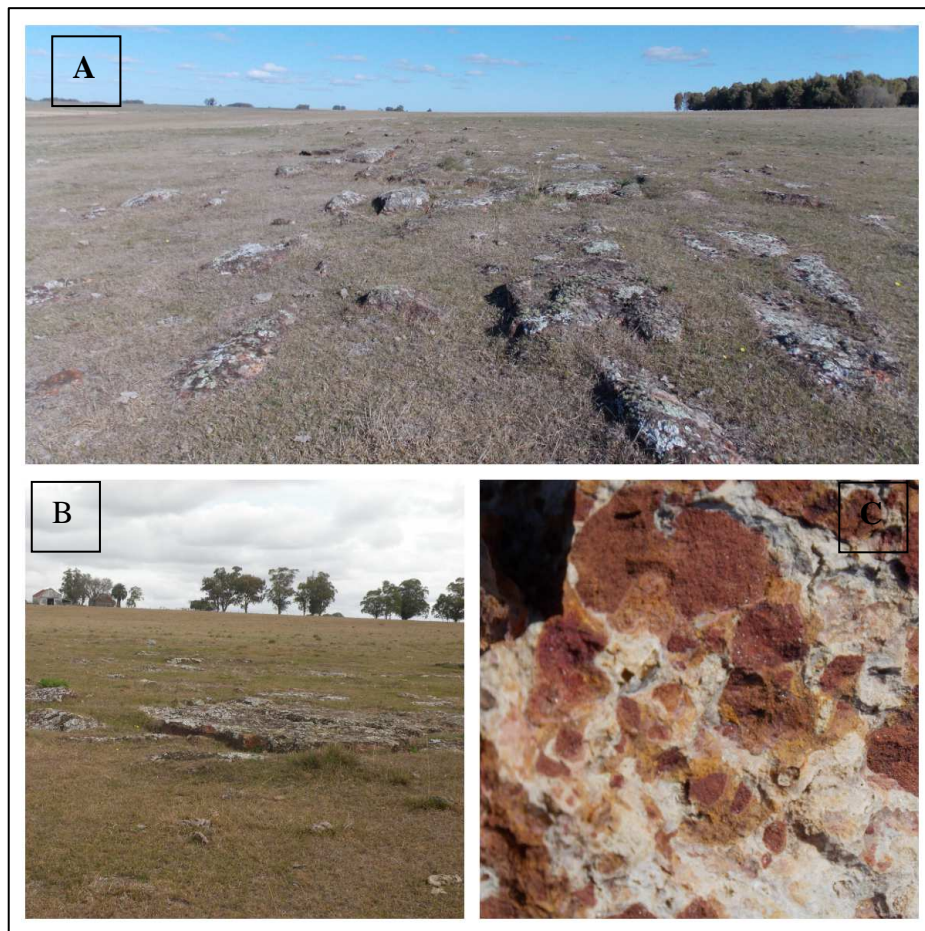


Fig. No.13. A y B. Afloramiento en escarpas; C. Detalle de arenisca con nódulos de óxido de hierro.

A continuación del afloramiento descrito, en un perfil expuesto en las coordenadas UTM 549021, 6339887 aparecen restos de columnas con diferentes grados de ferrificación, y grumos de óxido de hierro. Rodeando estas columnas aparecen litologías del tipo areniscas blancas friables, como las vistas anteriormente en los otros sitios. Fig. 14 (A, B Y C).



Fig. No.14. A. Afloramiento en perfil expuesto; B y C. Areniscas sin ferrificar con relictos de columnas.

Hacia los puntos UTM 548941, 6339293; 548589, 6338873 se observa un cambio en la litología, hasta ahora no relevado para los sitios anteriores. Se trata de un afloramiento de areniscas calcáreas, parcialmente silicificadas, compuesta por arena

media a gruesa, de selección regular, silicificada en estratos. Hay presencia de calcedonia y carbonato de calcio, el cual reacciona fuertemente. (Fig. 15)



Fig. No.15. Afloramiento de areniscas calcáreas silicificadas

En función de los afloramientos recorridos puede observarse que a campo se distinguen litologías sedimentarias, detríticas las cuales pueden dividirse en areniscas ferrificadas, areniscas sin ferrificar, areniscas calcáreas silicificadas. En su mayoría presentan buena selección, son de apariencia cuarzosa, de grano fino a medio. A su vez se reportan areniscas de grano fino con una matriz arcillolimososa, la cual se corresponde con las áreas fotointerpretadas con microrrelieve gilgai.

3.1.2 Relevamiento de suelos y horizontes C

Para el relevamiento de suelos y levantamiento de horizontes C se utilizó el taladro holandés (extensible a 3 m), para los 4 sitios indicados anteriormente.

Para las zonas fotointerpretadas como vertisoles (donde se veía por imagen satelital el microrrelieve gilgai), se realizaron las transectas para determinar si se trataba del mismo suelo.

La distribución de muestreo se muestra en la fig. 16

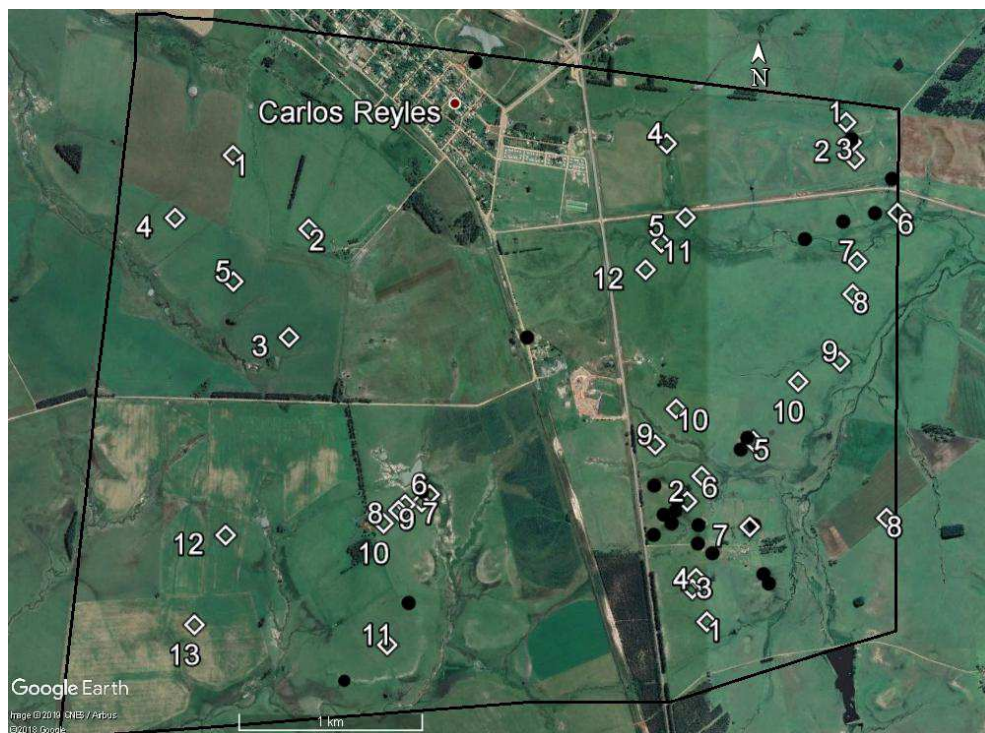


Fig. No.16. Distribución de muestreo horizontes C.

Los resultados de campo son los que se presentan a continuación, donde se presentará el perfil modal de cada sitio y una breve descripción, así como las características de los horizontes C de cada uno de ellos.

3.1.2.1 Sector 1

Para el sector 1 se procedió a realizar el muestreo en los puntos UTM que se plantean en el siguiente cuadro.

Pozo Nro.	UTM x (m)	UTM y (m)	z (m)
1	551320	6341870	140±6
2	551350	6341762	134±5
3	551368	6341672	134±5
4	550350	6341762	134±5
5	550450	6341363	119±6
6	551600	6341383	119±5
7	551379	6341122	117±6
8	551354	6340945	126±5
9	551285	6340582	120±6
10	551056	6340474	126±6
11	550318	6341227	124±6
12	550232	6341082	126±5

Cuadro No.1. puntos de muestreo de horizontes C para el sitio 1

Perfil modal correspondiente a los suelos 1 y 2

El perfil modal observado en la fig. 17 presentó la secuencia de horizontes planteada en el cuadro No.2. El mismo se encontró asociado al afloramiento descrito para el sitio 1 (Fig. 7 A y B).



Fig. No.17. a. Perfil modal 1 y 2. b. Detalle horiz. C

horizonte	espesor (cm)	Textura (a campo)
A _p	0-20	FAr
AB	20-36	FACAr
Bt ₁	36-51	FAC*
Bt ₂	51-96	FAC*
C	+96	relictos de litologías ferrificadas

* óxidos de hierro, restos de material parental

Cuadro No.2. Secuencia de horizontes de perfiles modales de los suelos 1 y 2

Este perfil modal presentó la secuencia de horizontes A_p/A₁/A₂/B_t/C. El horizonte A_p presentó signos de perturbación debido al manejo agrícola. A partir de los 36 cm, donde se encuentran los horizontes Bt₁ y Bt₂ comienzan a encontrarse óxidos de hierro, con restos de material parental (pequeños clastos de arenisca ferrificada). A partir de los 96 cm se llega al horizonte C, el cual presenta relictos de litologías ferrificadas en todo el horizonte.

Perfil modal correspondiente a los suelos 3, 4, 5 y 6

El perfil modal observado en la fig. 18 presentó la secuencia de horizontes planteada en el cuadro No. 3.



Fig. No.18. a. Perfil modal de los suelos 3, 4, 5 y 6. b. Detalle horiz. C

horizonte	espesor (cm)	Textura (a campo)
A _p	0-17	FAcAr
A	17-37	FAc
B _{t1}	37-66	FAc (+Ac)
B _{t2}	66-92	FAc (+L)
BC	92-118	FAc
C	+118	*

* arenisca blanca mas clastos ferrificados más concreciones de CaCO₃ en clastos de areniscas ferrificadas

Cuadro No.3. Secuencia de horizontes de perfiles modales de los suelos 3, 4, 5 y 6.

Este perfil modal presentó la secuencia de horizontes A_p/A/B_{t1}/B_{t2}/BC/C. El horizonte A_p presentó una textura franco arcillo arenosa, mostrando signos de perturbación debido al manejo agrícola. A los 17 cm comienza un horizonte A de textura franco arcillosa, seguido por un B_{t1} (a los 37 cm) de textura franco arcillosa, con más arcilla que el horizonte suprayacente. A los 66cm se encuentra un horizonte B_{t2}, de textura francoarcillosa, con un mayor contenido de limo. A los 92 cm se encuentra un horizonte BC, de textura francoarcillosa, pasando a un horizonte C (+118 cm), que presenta clastos de areniscas sin ferrificar con clastos ferrificados, y concreciones de CaCO₃ en los clastos de areniscas ferrificadas.

Perfil modal suelo 7.

Este suelo, a diferencia de los anteriores presentó en el horizonte C, areniscas blancas sin ferrificar únicamente. El mismo se presenta en la fig. 19 con la secuencia de horizontes planteada en el cuadro No. 4. Éste se encuentra en una ladera media cóncava



Fig. No.19. a. Perfil modal suelo 7; b. Detalle horiz. C

horizonte	espesor (cm)	Textura (a campo)
A ₁	0-9	FAcAr
A ₂	9-21	FAcAr(+Ac)
AB	21-29	AcAr
Bt ₁	29-67	FAc
Btg ₂	67-98	FAc
BC	98-133	AcAr*
C _k	+133	ArAcAr

*abundantes concreciones de CaCO₃. Clastos de material parental (areniscas)
Cuadro No. 4. Secuencia de horizontes del perfil modal del suelo 7.

Perfil modal suelos 8 al 12

El perfil modal observado en la fig. 20 presentó la secuencia de horizontes planteada en el cuadro No. 5. El mismo se encontró en el área de influencia del afloramiento descrito para el sitio 1 (Fig. 7 C y D)

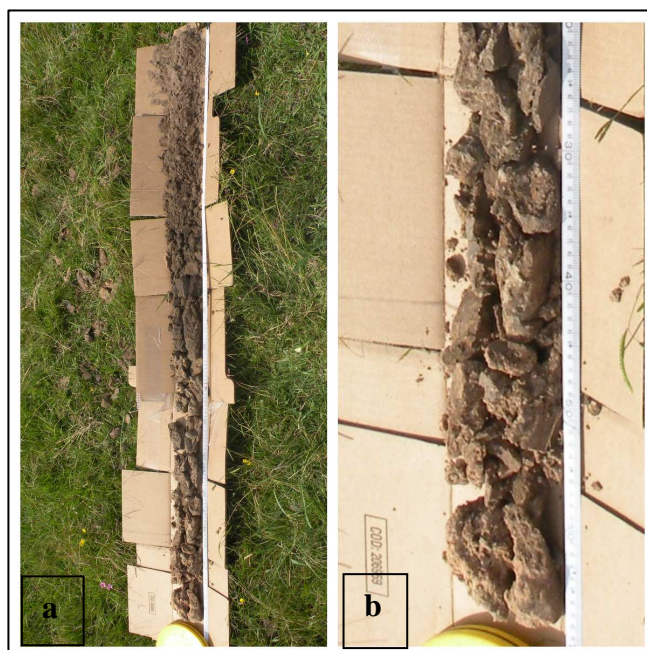


Fig. No. 20. a. Perfil modal de los suelos 8 al 12; b. Detalle horiz. C

horizonte	espesor (cm)	Textura(a campo)
A ₁	0-27	FAr
A ₂	27-59	FAcAr
AB	59-68	AcAr
Bt ₁	68-91	FAc
Bt ₂	91-130	FAc
BC	130-141	FAc*
C	141-160	FAr**
R	+160	***

*con material parental mezclado.

**clastos abundantes de material parental, presencia de colores moteados óxidos Fe

*** Areniscas con características iguales a las de la superficie

Cuadro No. 5. Secuencia de horizontes de perfiles modales de los suelos 8 al 12.

Este perfil modal presentó la secuencia de horizontes A₁/A₂/AB/Bt₁/Bt₂/BC/C/R. A partir del horizonte BC comienza a visualizarse que el mismo está mezclado con el material parental. El horizonte C presenta clastos abundantes de material parental, con presencia de moteados de óxido de hierro. A partir de los 160 cm se encuentra un horizonte R el cual está constituido de areniscas silicificadas, de color naranja tenue, tal como se describieron para los afloramientos de la zona SE del sector 1.

3.1.2.2 Sector 2

Para el sector 2 se procedió a realizar el muestreo en los puntos UTM que se plantean en el siguiente cuadro.

Pozo Nro.	UTM x (m)	UTM y (m)	z (m)
1	550554	6339182	127±6
2	550451	6339831	128±9
3	550496	6339831	131
4	550476	6339360	133
5	550810	6340154	131±7
6	550530	6339967	120
7	550789	6339692	126±5
8	551529	6339736	120±6
9	550280	6340138	129±5
10	550393	6340330	129±5

Cuadro No.6. Puntos de muestreo de horizontes C para el sitio 1

Perfil modal suelo 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9 y 10

El perfil modal observado en la fig. 21 presentó la secuencia de horizontes planteada en el cuadro No. 7. El mismo se encontró en el área de influencia de las litologías descritas para la zona S y W del sitio 2. (Fig.8: A, B, C, D y E)

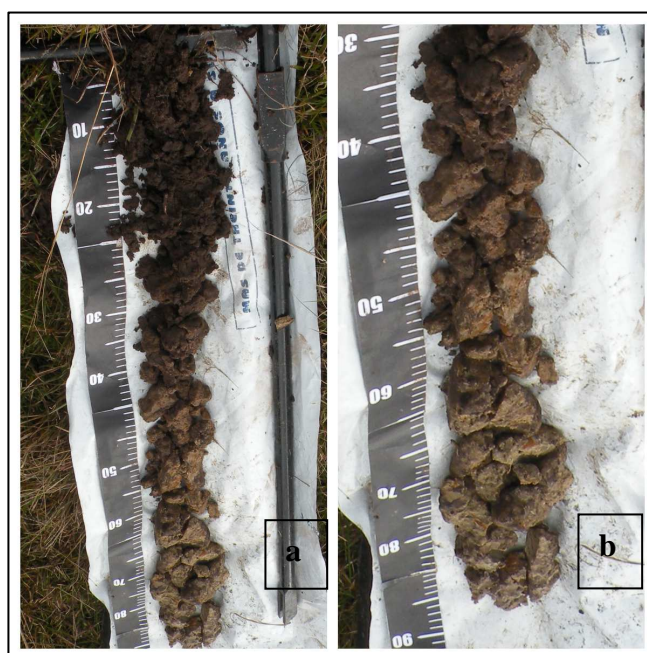


Fig. No. 21.a. Perfil modal de los suelos 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9 y 10. b. Detalle horiz. C.

horizonte	espesor (cm)	Textura (a campo)
A ₁	0-18	FAr
A ₂	18-28	FAcAr
AB	28-36	AcAr
B _t	36-46	FAc
BC	46-80	FAc
C	+80	FAc**

*pequeñas gravas de areniscas sin ferrificar

Cuadro No.7. Secuencia de horizontes de perfiles modales de los suelos 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9 y 10

Este perfil modal presentó la secuencia de horizontes A₁/A₂/AB/B_t/BC/C.

A los 46 cm se encuentra un horizonte BC, con material parental mezclado en el mismo. Le sigue un horizonte C (+80 cm), con presencia de pequeñas gravas de areniscas sin ferrificar.

Perfil modal suelos 5 y 7

El perfil modal observado en la fig. 22 presentó la secuencia de horizontes planteada en el cuadro No. 8. El mismo se encontró en el área de influencia de las litologías descritas para la zona centro N del sitio 2. (Fig.9: A, B, C, D y E).

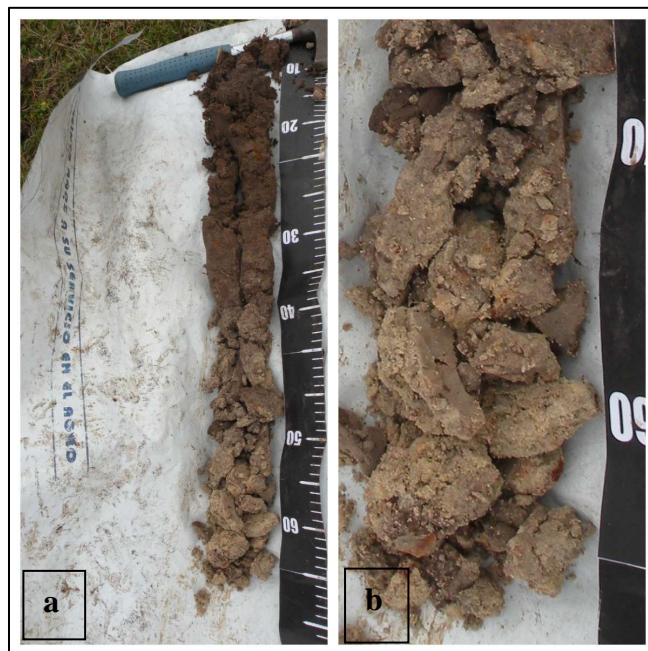


Fig. No.22. a. Perfil modal suelos 5 y 7. ; b. Detalle horiz. C.

horizonte	espesor (cm)	Textura(a campo)
A	0-12	FAr
AB	12-25	FAr
Bt	25-46	FAc
BC	46-63	FAcAr
C*	+63	Ar

*clastos de areniscas ferrificadas.

Cuadro No.8. Secuencia de horizontes de los perfiles modales de los suelos 5 y 7.

Este perfil modal presentó la secuencia de horizontes A/AB/B_t/BC/C. E.

A + de 63 cm hay un horizonte C, de textura arenosa, con presencia de clastos de areniscas ferrificadas en una matriz de arenisca sin ferrificar.

3.1.2.3 Sectores 3 y 4

Para los sectores 3 y 4 se procedió a realizar las transectas debido a que el área en cuestión es la que presenta el microrrelieve gilgai (visto por imágenes satelitales).

Los puntos de muestreo son los que se muestran en el cuadro que se presenta a continuación:

Pozo Nro.	UTM x (m)	UTM y (m)	z (m)
1	548005	6341709	130
2	548414	6341309	134
3	548304	6340727	134
4	547690	6341373	133
5	548004	6341029	130
6	549058	6339876	120
7	549014	6339825	121
8	548925	6339822	119
9	548889	6339791	119
10	548809	6339723	125
11	548824	6339066	126
12	547953	6339662	125
13	547780	6339179	125

Cuadro No.9. Puntos de muestreo de horizontes C para el sitio 1

Para el sector 3 (donde quedan comprendidos los puntos de muestreo del 1 al 5), y para el sector 4 (puntos 10, 11, 12, 13) el perfil modal observado a lo largo de la transecta (fig. 23), presentó la secuencia de horizontes planteada en el cuadro No.11. Cabe destacar que no fue observado el doble perfil característico de los vertisoles, en el área relevada con microrrelieve gilgai.

La particularidad que tuvo este perfil modal es que el horizonte C tiene características similares al afloramiento visto en el punto UTM 547184, 6343485 (Fig.11).



Fig. No.23.a. Perfil modal suelos 1al 5, 10, 11, 12 y 13; b. Detalle horiz. C.

horizonte	espesor (cm)	Textura (a campo)
A	0-23	FAcAr
Bt1	23-50	FAc
Bt2	50-110	FAc
C*	+110	LAc

* Similar a los sedimentos limo arcillosos encontradas fuera del área de estudio
Cuadro No.11. Secuencia de horizontes de los suelos 1al 5, 10, 11, 12 y 13.

Este perfil modal presentó la secuencia de horizontes A/B_{t1}/B_{t2}/ C.

Es destacable en este perfil modal la presencia de un horizonte C (+110 cm) con características similares a la litología encontrada en el afloramiento visto en el punto

UTM 547184, 6343485 (Fig.11), el cual corresponde a una arenisca fina con matriz limo arcillosa.

Perfil modal para los puntos 6, 7 y 8

El perfil modal observado en la fig. 24 presentó la secuencia de horizontes planteada en el cuadro No. 12.

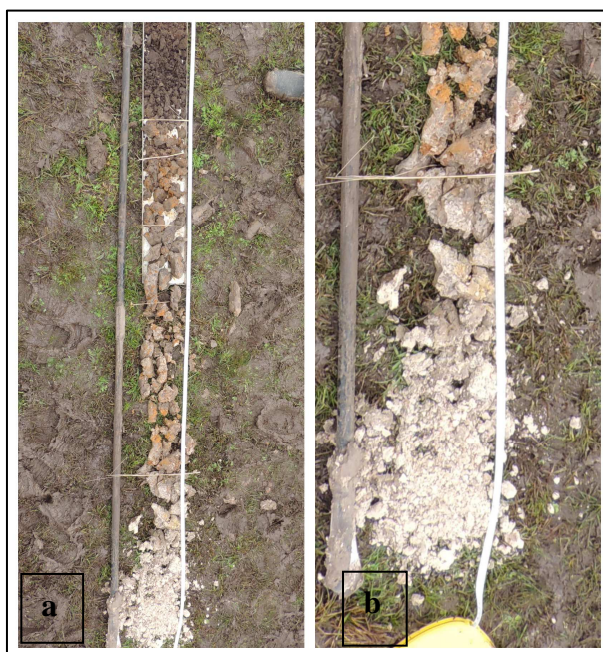


Fig. No. 24. a. Perfil modal de los suelos 6, 7, 8; b. Detalle horiz. C.

horizonte	espesor (cm)	Textura
A	0-44	FAr
AB	44-58	FAcAr
Bt1	58-80	FAc
Bt2*	80-106	FAc
C*	+106	FAc

*Moteados

Cuadro No.12. Secuencia de horizontes de los suelos 6, 7 y 8.

Este perfil modal presentó la secuencia de horizontes A/AB/Bt1/B_{t2}/ C.

Este suelo presenta un C (+106 cm) de textura franco arcillosa, que presenta moteados, con características similares a las areniscas sin ferrificar.

3.2 RESULTADOS DE LABORATORIO

3.2.1 Láminas delgadas

Para complementar la descripción de campo se eligieron las muestras más representativas de los sitios relevados, a fin de elaborar cortes delgados para observar en el microscopio petrográfico Leica DM-750 con capacidad para obtener fotografías digitales y se analizaron fragmentos de roca con el microscopio electrónico de barrido JEOL JCM-6000 Plus, del laboratorio del PDU Geología y Recursos Minerales en la sede Treinta y Tres del CURE.

Las muestras elegidas son las que se detallan en el cuadro a continuación:

Muestra	Litología vista a campo	UTM x (m)	UTM y (m)	z (m)
1	Arenisca ferrificada	550290	6339929	136
2	Arenisca con grumos ferrificados	550366	6339715	134
3	Arenisca sin ferrificar	550269	6339545	130
4	Arenisca silicificada	551478	6341383	115

Descripción lámina 1:

En esta lámina (Fig. 25) se observan clastos de feldespato potásico, plagioclasa con cemento de hematita alrededor. Es una roca pobremente seleccionada, ya que se observan granos de diferente tamaño. Se observa también granos de cuarzo policristalino, el cual puede provenir del basamento cristalino. Puede clasificarse en una subarcosa, ya que tiene una apreciable proporción de feldespato.

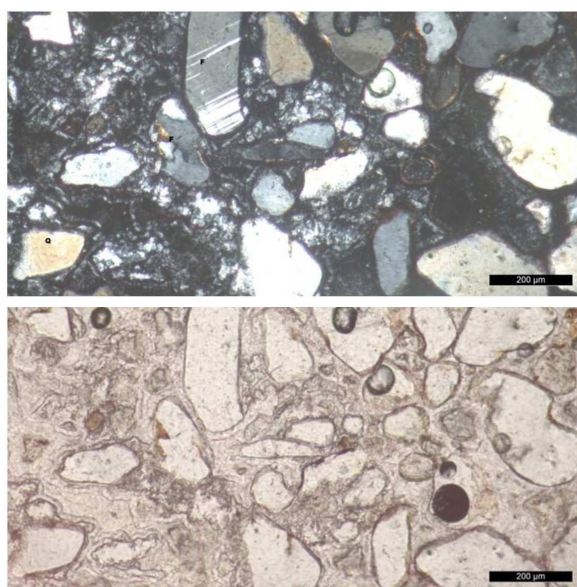


Fig. No. 25: Microfotografía lámina 1.

En la fracción más fina hay mayor cantidad de feldespato, el cual varía en clastos que van desde 300 micrones a 50 micrones. Aparece también alguna turmalina. Viendo la lámina puede determinarse que la litología es inmadura tanto textural como composicionalmente.

Descripción lámina 2:

Esta lámina (Fig. 26), al igual que la anterior presenta cristales angulosos a subredondeados de cuarzo policristalino, además de hematita y goetita. Los clastos de feldespato presentan golfos de corrosión. La composición es principalmente cuarzosa. Presenta también cemento de hierro.

Descripción de lámina 3:

En esta lámina (Fig. 26) aparecen grumos con goetita, además de cuarzo policristalino.

Presenta una pobre selección y algunos clastos de feldespato pero en menor proporción que las láminas anteriores. Aparece también algún clasto de origen félsico como en las muestras anteriores.

Descripción de lámina 4:

En esta lámina (Fig. 27) aparecen clastos de cuarzo, angulosos; algunos clastos de roca félsica (posible riolita). Aparecen feldespatos con golfos de corrosión. Los cuarzos son de tamaños variados, de pobre selección. Los mismos son policristalinos, derivados posiblemente del basamento cristalino y monocristalinos, donde la posible fuente es félsica. Aparecen también pequeños clastos de microclina. La matriz presenta calcedonia con algún mineral arcilloso.

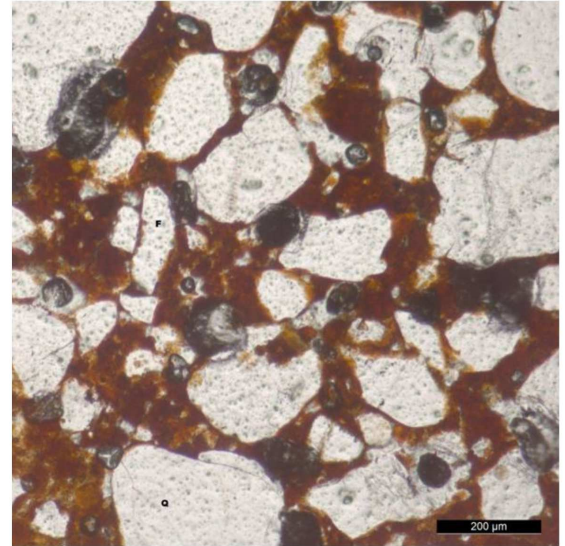


Fig. No. 26: Microfotografía lámina 2 y 3.

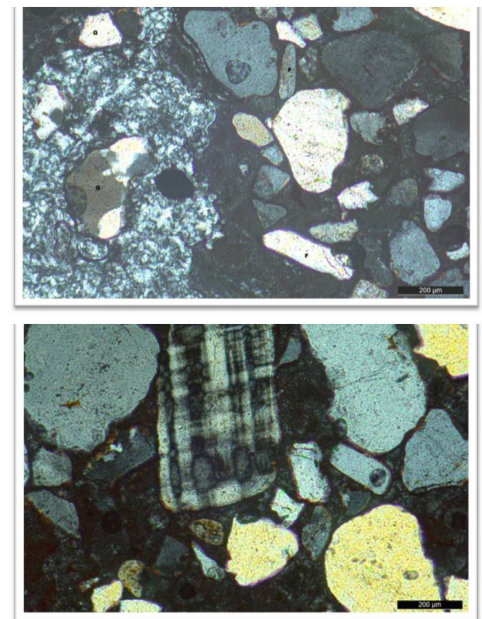


Fig. No. 27: Microfotografía lámina 4.

En las fotografías del microscopio electrónico de barrido, que se presentan en la figura No. 28 puede observarse silicificación en forma de cemento y hematita botroidal en areniscas de Fm. Asencio.

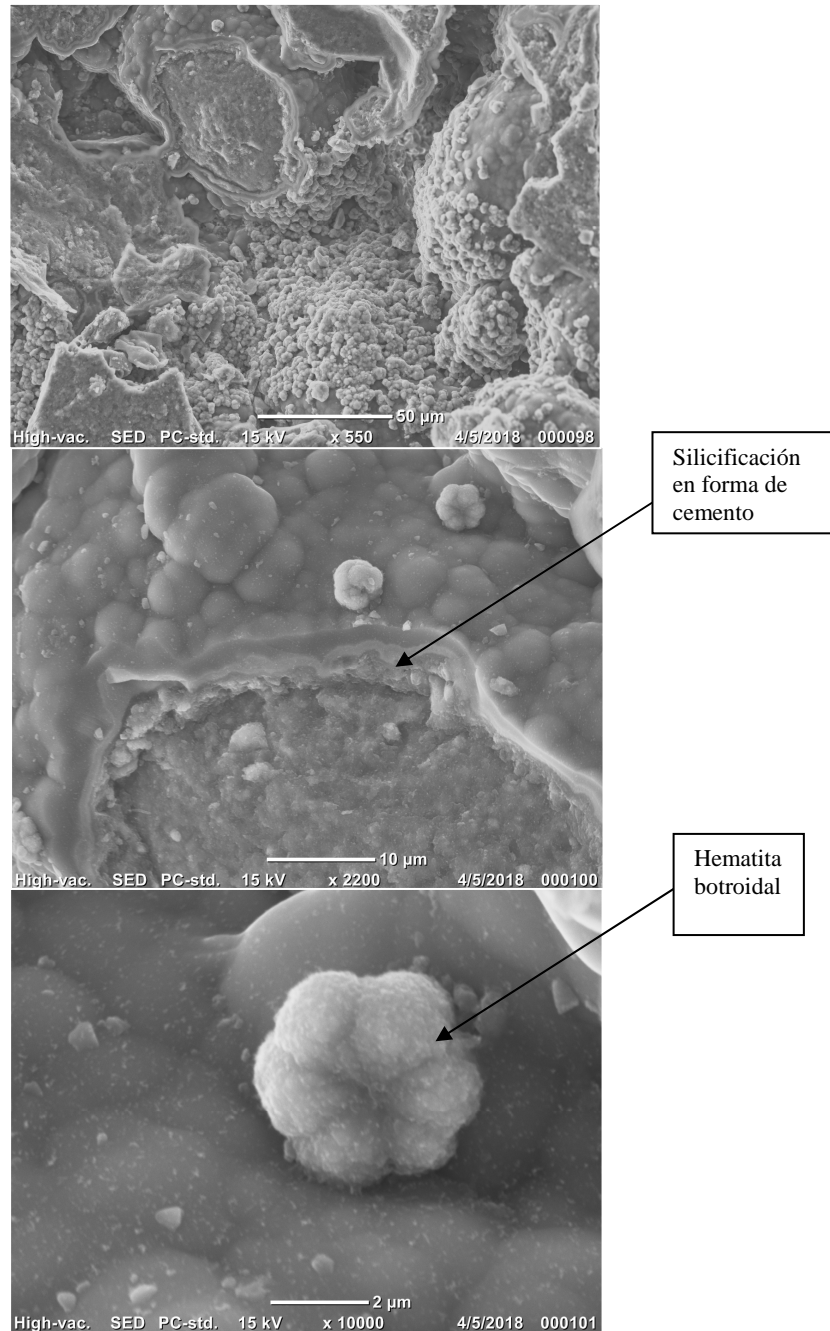


Fig. No. 28. Microfotografía de litología ferrificada de Fm. Asencio en microscopio electrónico de barrido.

3.2.2 Estimación del tamaño de partículas minerales de los principales horizontes C

Para la estimación del tamaño de partícula se eligieron los horizontes C más representativos para los distintos sitios, obteniendo los resultados que se plantean a continuación, con sus respectivos triángulos texturales.

Sector 1

Sitio 1	Totales						
Muestra punto	Arena	Limo	Arcilla	Total	Nombre	Abreviación	Referencia
1	64,6	10,4	25	100,0	Franco arcillo arenoso	FACAr	
7	68,1	0,2	31,7	100,0	Franco arcillo arenoso	FACAr	
3	57,3	0,2	42,5	100,0	Franco arcillo arenoso	FACAr	
2	61,9	6,4	31,7	100,0	Arcillo arenoso	AcAr	
8	72,4	0,9	26,7	100,0	Franco arcillo arenoso	FACAr	

Cuadro No.13. Resultados de textura para el Sitio 1

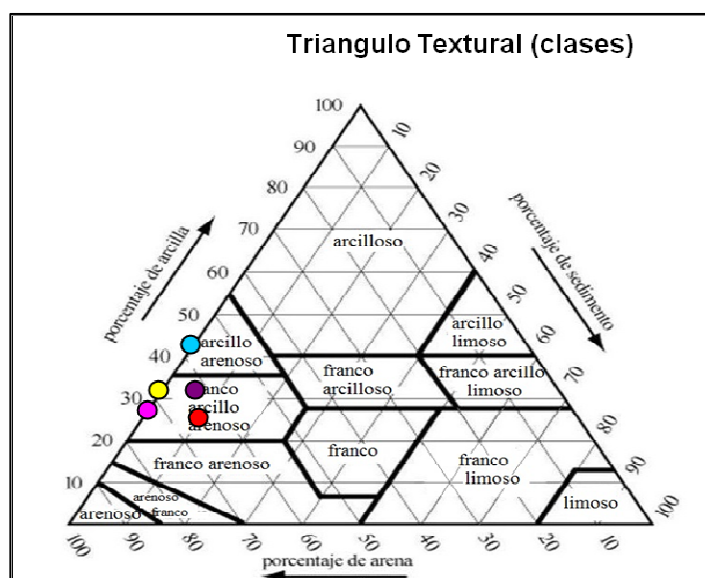


Fig.No.29. Triángulo textural Sitio 1

Como puede observarse para las muestras analizadas en el sector 1, la textura más predominante es FACAr para la mayoría de los horizontes, mostrando un desplazamiento de los mismos en el triángulo textural hacia la izquierda. Esta textura puede verse influenciada por los materiales geológicos encontrados para el sitio, siendo los dominantes para la zona norte las areniscas sin ferrificar con nódulos de

óxido de hierro y para la zona sur las areniscas naranjas silicificadas descritas anteriormente.

Sector 2

Sitio 2	Totales						
Muestra punto	Arena	Limo	Arcilla	Total	Nombre	Abreviación	Referencia
1	34,7	11,2	54,2	100,0	Arcilloso	Ac	
2	49,0	10,2	40,8	100,0	Arcillo arenoso	AcAr	
3	24,6	7,0	68,3	100,0	Arcilloso	Ac	
4	19,1	14,3	66,7	100,0	Arcilloso	Ac	
5	49,5	9,7	40,8	100,0	Arcillo arenoso	AcAr	
6	48,4	20,8	30,8	100,0	Franco arcillo arenoso	FAcAr	
8	24,0	11,9	64,2	100,0	Arcilloso	Ac	
10	26,1	17,2	56,7	100,0	Arcilloso	Ac	

Cuadro No.14. Resultados de textura para el Sitio 2

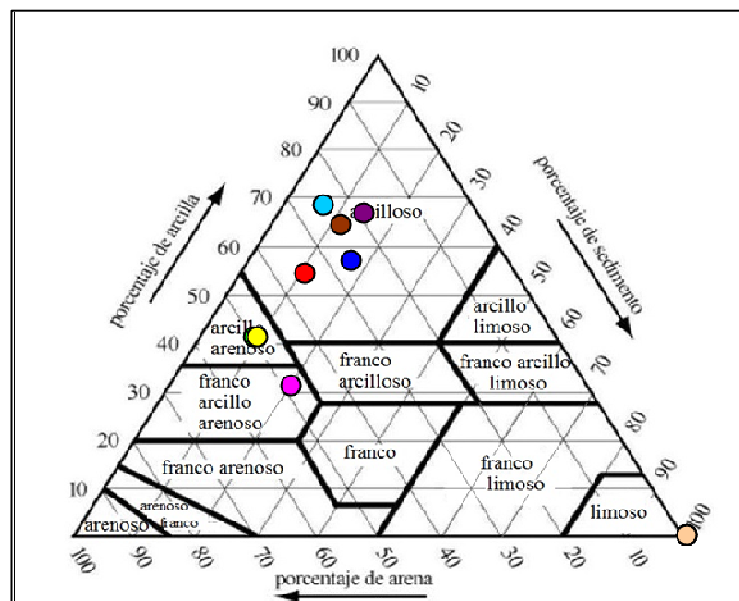


Fig. No.30. Triángulo textural Sitio 2

Para el sitio 2 las texturas de los horizontes presentan otro patrón con respecto al sitio 1. Si bien desde el punto de vista geológico dominan las areniscas sin ferrificar y ferrificadas, las texturas obtenidas se encuentran en los patrones que van desde arcilloso a franco arcillo arenoso, siendo los primeros los más predominantes.

Sectores 3 y 4

Sitio 3 y 4	Totales						
Muestra punto	Arena	Limo	Arcilla	Total	Nombre	Abreviación	Referencia
1	17,1	40,4	42,5	100,0	Arcillo limoso	AcL	
6	53,0	5,7	41,3	100,0	Arcillo arenoso	AcAr	

Cuadro No.15. Resultados de textura para el Sitio 3 y 4

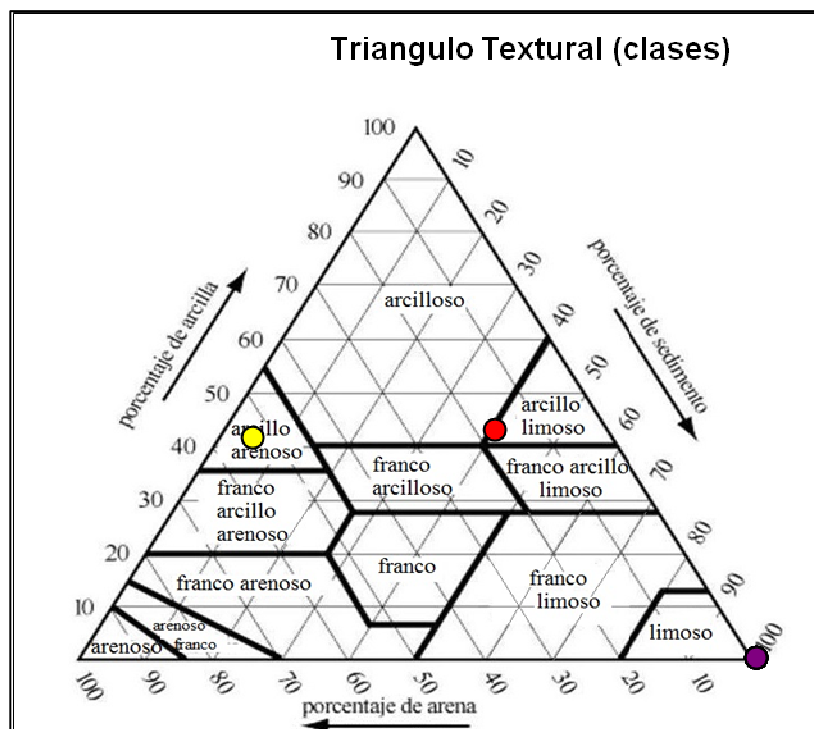


Fig. No.31. Triángulo textural Sitio 3 y 4

Para los sitios 3 y 4, al aparecer un nuevo material geológico en la zona fotointerpretada con microrrelieve, la textura de los horizontes C generados a partir del mismo resulta en arcillo limosa, que no se repite en las zonas anteriores. Con respecto a los horizontes C que se encuentran sobre el material geológico areniscas sin ferrificar, se repite el patrón textural visto para los sitios anteriores.

3.2.3. Difracción de rayos X

Para complementar los estudios texturales de las muestras de horizontes C tomadas, se procedió a realizárseles el análisis de roca total por DRX (planteado anteriormente en la metodología de laboratorio), para conocer la composición mineralógica de los mismos. Los resultados que se expresan en el cuadro que aparece a continuación fueron calculados por estimación, midiendo los picos de intensidad de los distintos minerales y su relación con la arcilla, según los criterios utilizados en el laboratorio del Centro de Investigaciones Geológicas de La Plata, por el Dr. Daniel Poiré.

	Proporción (%)											
Muestra punto/sitio	1 (S1)	2 (S1)	3 (S1)	7 (S1)	8 (S1)	3(S2)	4(S2)	5(S2)	6(S2)	8 (S2)	1 (S3)	6 (S4)
Mineral												
Cuarzo	98,2	89,1	93,9	87,7	93	92,6	85	92,5	97,2	91,4	69,1	91,4
Feldespato potásico	0	2,45	2,9	6,3	1,9	0	0	0	0	0	0	3,2
Plagioclasa	0	4,08	0	3,5	0	2,95	4	0	0,9	3,3	7,9	0
Calcita	0	1,6	0	0	2,9	0,98	2,4	0	0	2,5	0	0,8
Arcilla	1,7	2,7	3,1	2,4	2,1	3,15	8,5	7,5	1,8	2,7	22,9	4,45
Empírico Arcilla	ME ¹	ME ¹	ME ¹	ME ¹	ME ¹	ME ¹	E ²	E ²	ME ¹	ME ¹	M ³	ME ²

1 muy escaso/ 2 Escaso/ 3 Medio

Cuadro No.16. Composición mineralógica de las muestras más representativas de todos los sitios.

Para los datos obtenidos, para los sectores de estudio y los 12 puntos de muestreo elegidos como más representativos del área, puede verse un comportamiento homogéneo desde el punto de vista composicional, dado que el mineral más abundante de estos horizontes es el cuarzo, seguido en algunos casos por plagioclasa. Con respecto a la proporción de arcilla, para 11 de los 12 puntos de muestreo analizados, la proporción de la misma, según tablas estimativas de empírico de arcilla planteadas por el Dr. Poiré (Centro Nacional de Investigaciones Geológicas de La Plata), oscilan entre los rangos muy escaso a escaso. Existe una excepción que se da en la muestra relacionada con el sitio 3, donde la proporción de arcilla cambia a media.

Para poder definir qué tipo de mineral arcilloso predomina en los 12 puntos de muestreo marcados anteriormente, se procedió también a realizar DRX. Los resultados obtenidos se expresan en los difractogramas que se plantean a continuación.

Sector 1

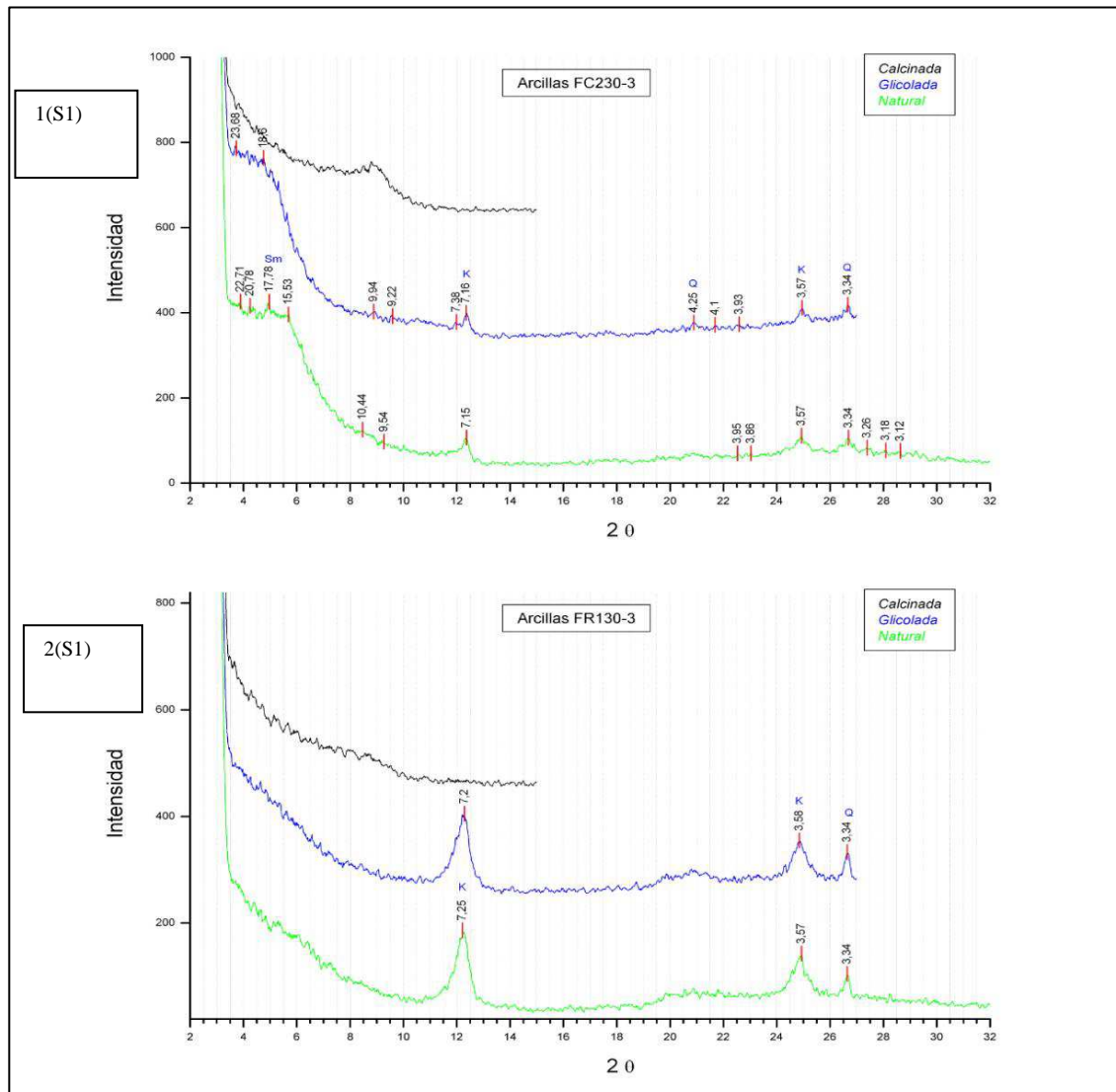


Fig. No.32. Difractogramas Sector 1

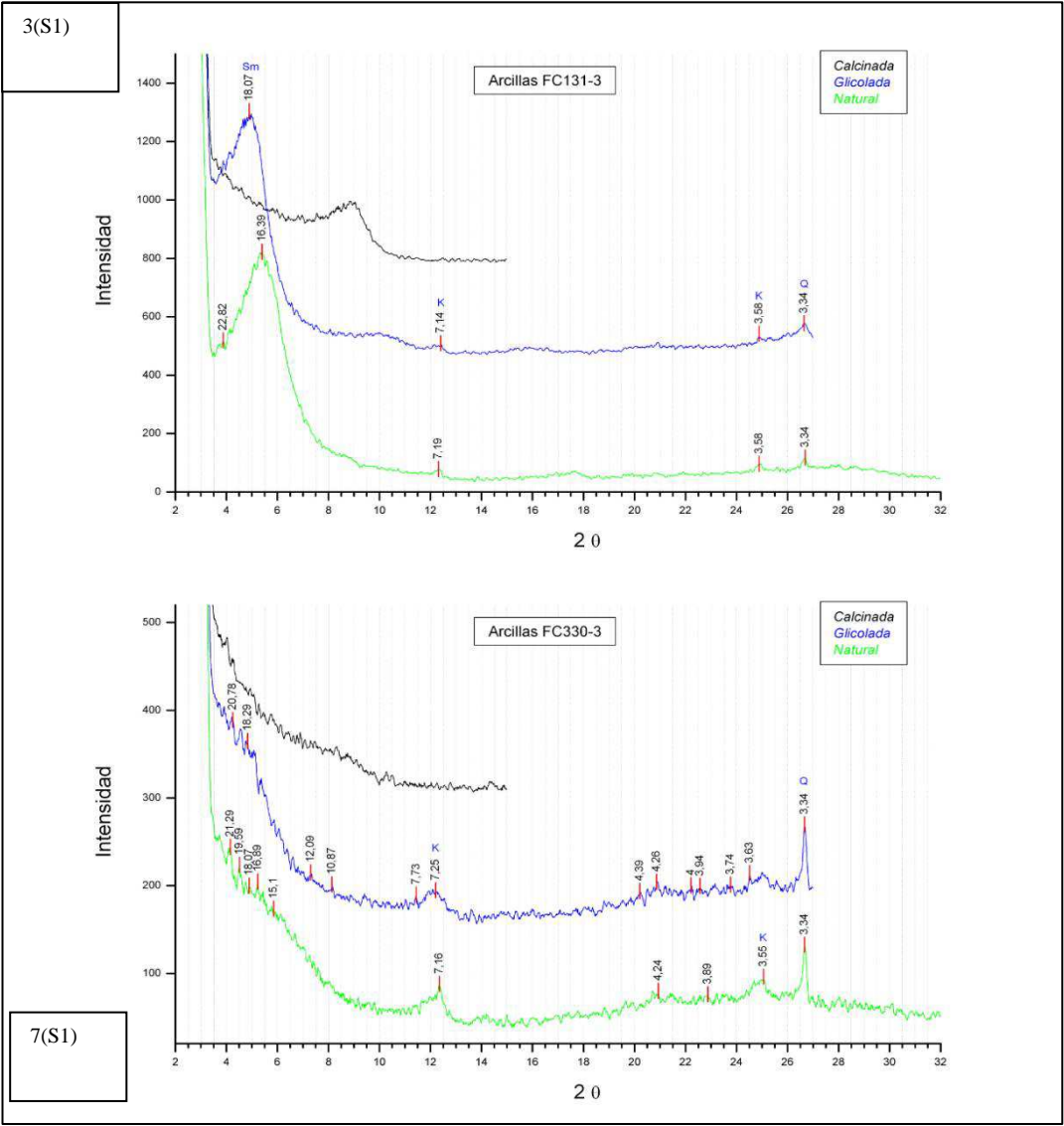


Fig. No.33. Difractogramas Sector 1

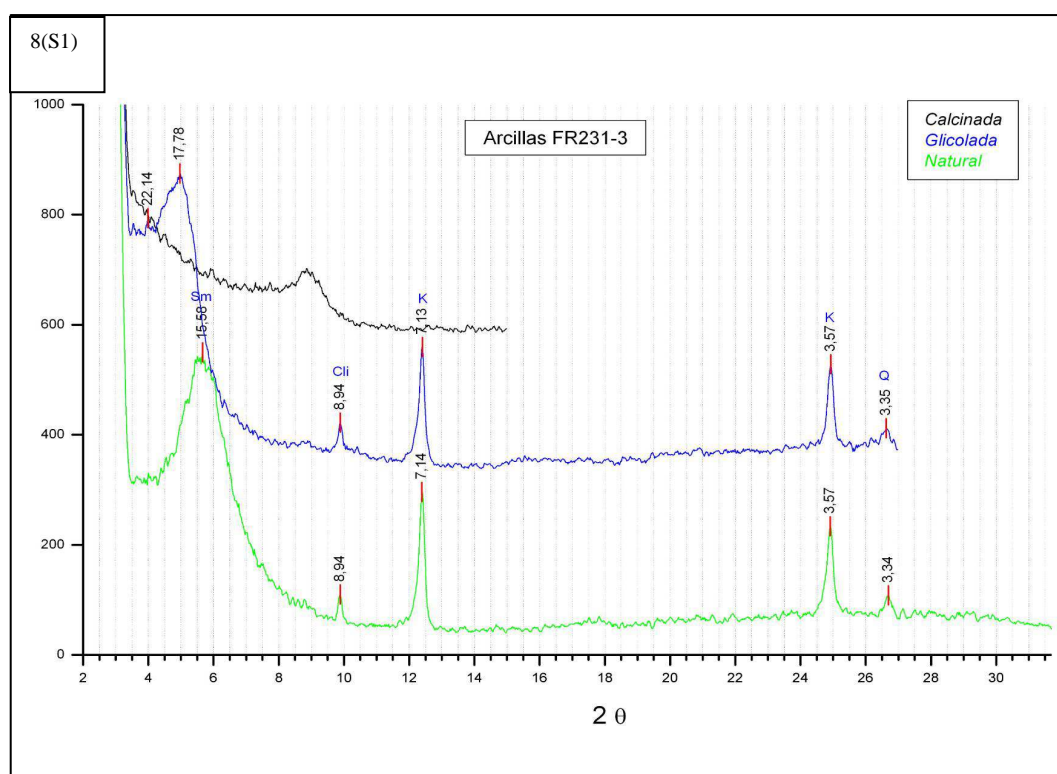


Fig. No.34. Difractogramas Sector 1

Para este sitio observamos que los diagramas de DRX (Figs. 32, 33 y 34) para arcillas en la curva glicolada nos muestran los picos de los diferentes minerales arcillosos detectados. Para las muestras 1 y 2 el mineral arcilloso predominante es la caolinita, mientras que para las muestras 3, 7 y 8 existen picos de intensidad tanto para caolinita como para esmectitas. En el caso de la muestra 8 también se reporta un pico para la clinoptilolita, el cual es un mineral silicatado de la familia de las ceolitas.

Sector 2

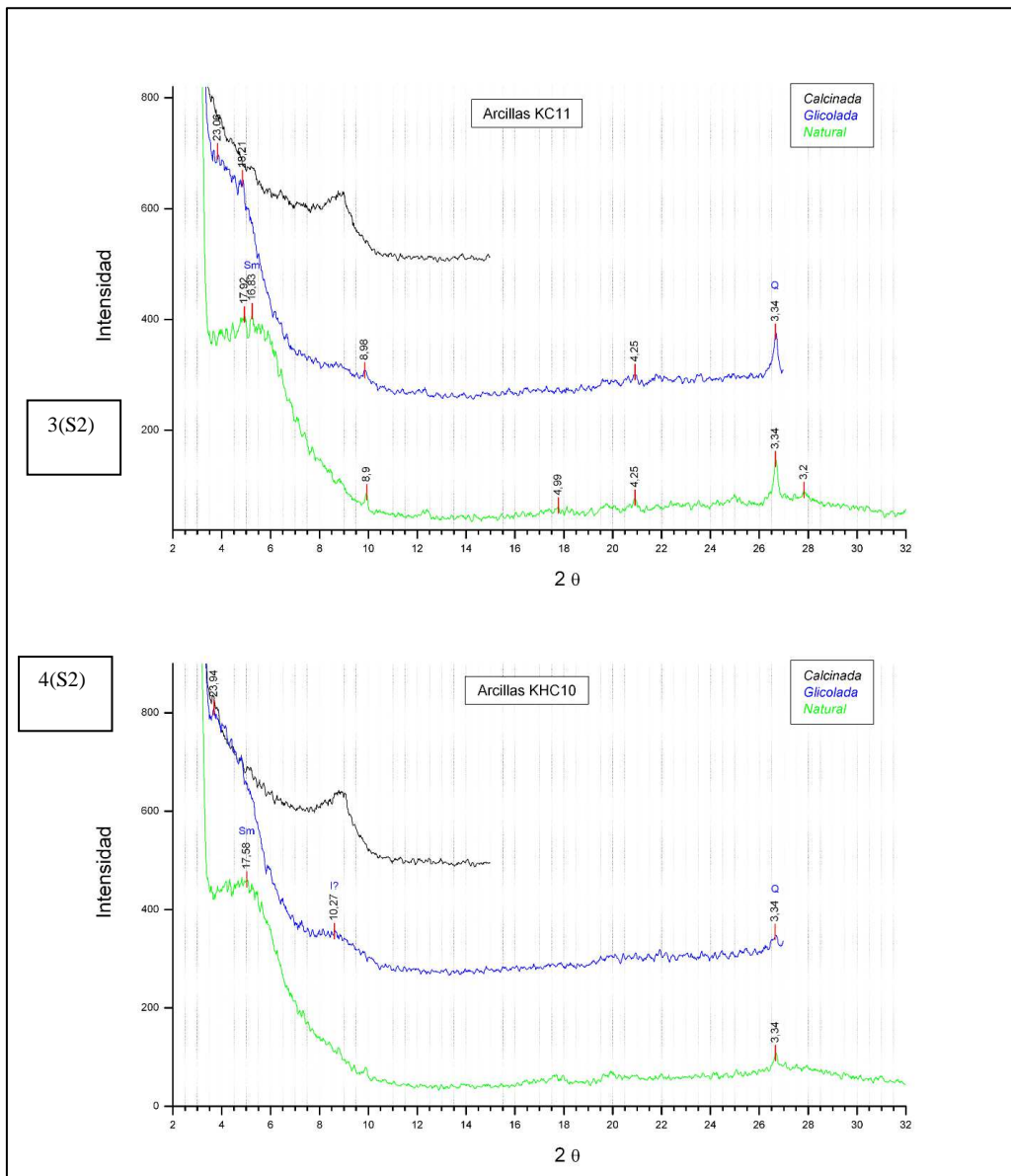


Fig. No.35. Difractogramas Sector 2

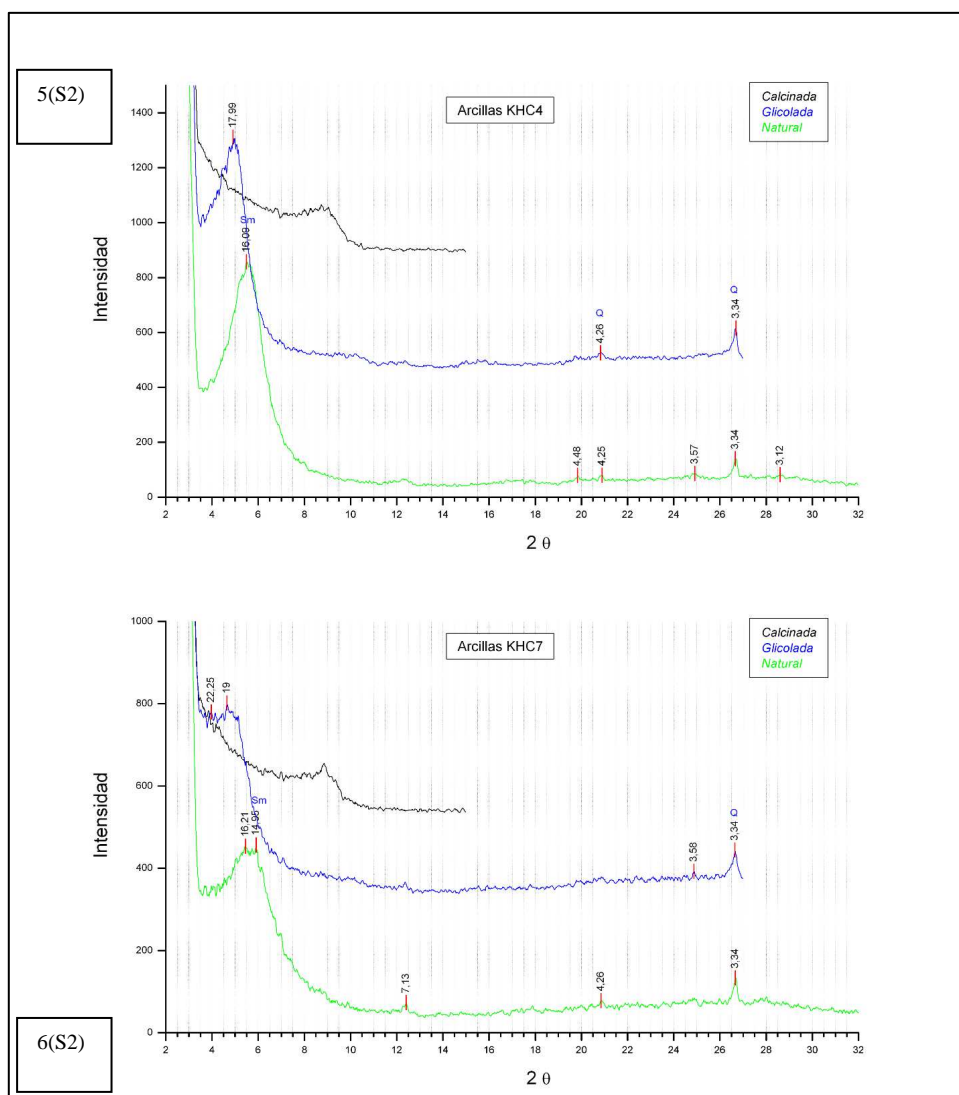


Fig. No.36 Difractogramas Sector 2.

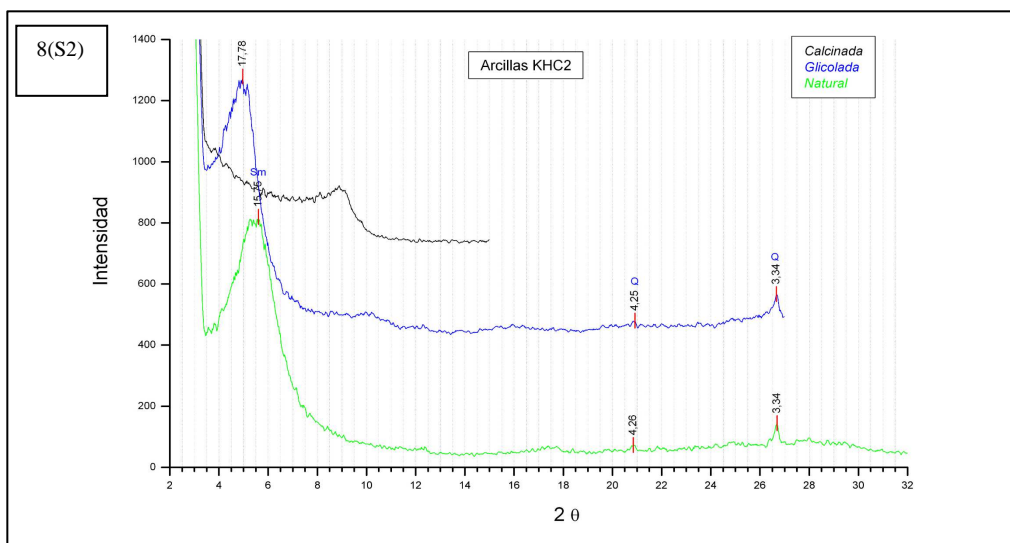


Fig. No. 37. Difractogramas Sector 2.

Para las muestras de este sitio, todas las DRX (Figs. 35, 36 y 37) muestran como mineral arcilloso dominante a las esmectitas. En la muestra correspondiente al punto 4, aparece también un pequeño pico en illita.

Sectores 3 y 4

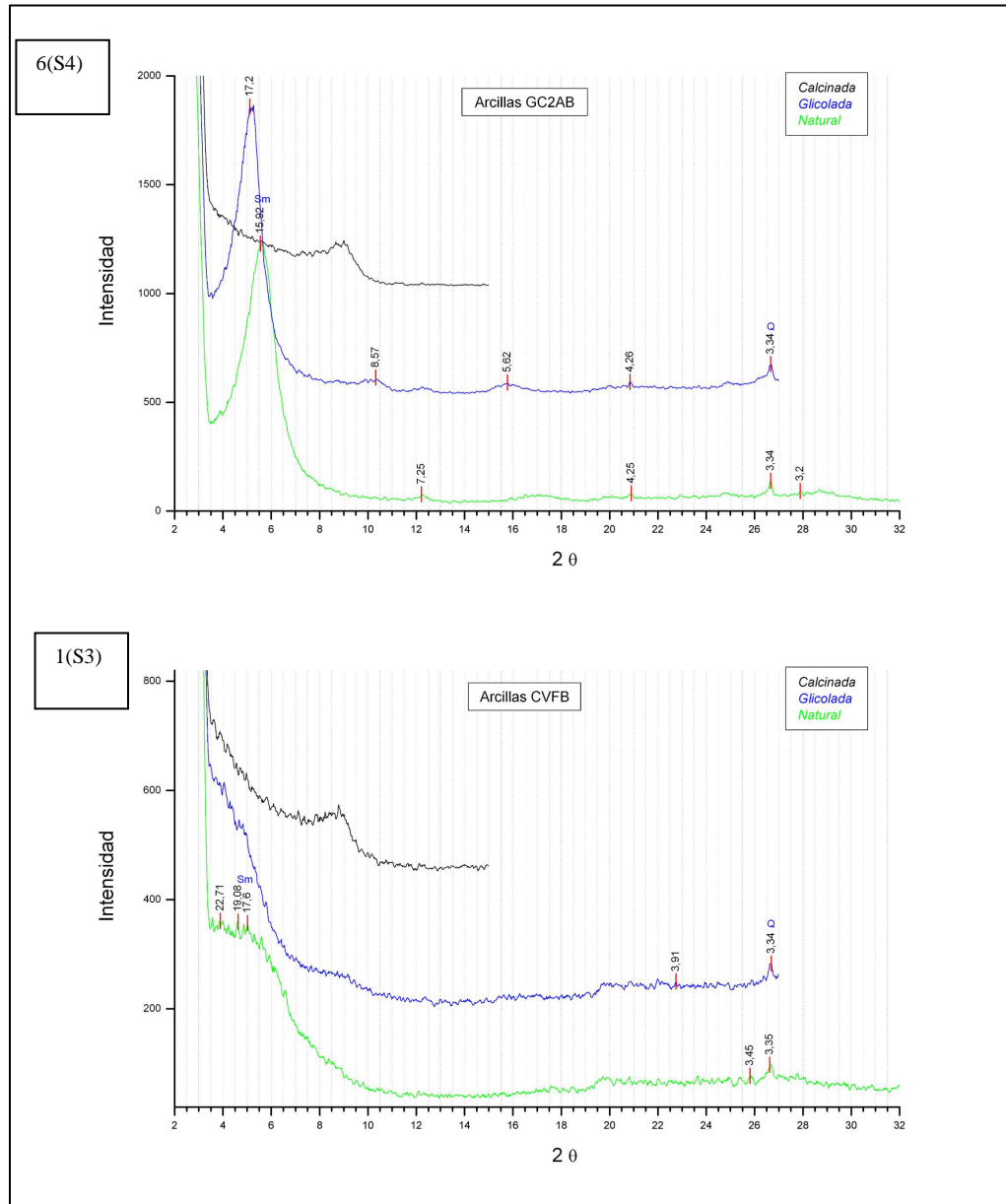


Fig. No.38. Difractogramas Sectores 3 y 4.

Para estas muestras (Fig. 38), el mineral arcilloso dominante del horizonte C corresponde a esmectitas, tanto sea originario de areniscas blancas como de sedimentos limo arcillosos.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el relevamiento de campo donde se encontraron areniscas blancas friables, areniscas ferrificadas grumosas con nódulos de óxido de hierro y nidos de véspidos, areniscas calcáreas silicificadas y areniscas anaranjadas silicificadas, concuerdan en gran medida con lo planteado por Ford (1990a), en la carta 1/100.000 correspondiente a Molles.

Si bien las litologías dominantes son las nombradas anteriormente, en las zonas más elevadas del terreno (cotas mayores a 125 m) para los sitios 3 y 4, se reporta un material geológico al que no se hace referencia en los antecedentes utilizados (Bossi y Ferrando, 2001; Ford, 1990) para la zona de estudio. Este material es una arenisca fina con matriz arcillo-limosa, de colores anaranjados, con concreciones de carbonato de calcio. Este material es de características similares a los descritos por Ford (1990) para un perfil cercano al área de estudio, quien lo reconoce como Fm. Fray Bentos. A su vez, estos sedimentos coinciden con las litologías reportadas por Bossi y Navarro (1988) para el nivel inferior de la alternancia rítmica del perfil tipo de la Fm. Fray Bentos, quienes describen que las litologías presentes son areniscas finas, en partes visiblemente estratificada. Bossi (1966) describe cuatro facies para la Fm. Fray Bentos, donde una de ellas las define también como areniscas finas. Cardellino y Ferrando (1969), citado por Bossi y Navarro (1988) indican para la misma formación en el departamento de Montevideo, litologías descritas como areniscas de grano fino, bien seleccionadas, con cemento arcilloso y calcáreo, masivas, medianamente tenaces de color rosado pardo. Para la zona estudiada en este trabajo, se reportó ese mismo sedimento asociado a los horizontes C de las áreas fotointerpretadas con microrrelieve gilgai, así como fuera del área de estudio en un desmonte de camino sobre la ruta 4 (UTM 547184, 6343485, 130 m).

Para el resto de los materiales litológicos encontrados en la zona, si bien a campo muestran similitudes a lo reportado por Bossi y Ferrando (2001) y Ford (1990), al realizar la observación en las láminas delgadas de las rocas, se observan algunas características que llaman la atención. Si bien a campo las litologías presentaban a ojo desnudo una buena selección, con composición cuarzosa en su mayoría, al

observar las láminas delgadas estamos frente a litologías que son inmaduras desde el punto de vista textural y composicional. Todas las muestras observadas en lámina delgada comparten como características que presentan cuarzo policristalino y monocristalino, grandes cristales de feldespato que varían entre 50 y 300 micrones, litoclastos félsicos, recubrimiento de hematita en los granos, clastos de feldespato corroídos, hematita y goethita. Tomando como base la descripción de las láminas delgadas, es posible que estemos frente a la misma litología, que sufrió diferentes procesos diagenéticos posteriores a su depósito. A su vez la roca fuente de donde derivan los sedimentos que dan origen a estas litologías es cercana, ya que los clastos de feldespatos y litoclastos volcánicos son subangulosos, se presentan con tamaño de grano variable y poseen pobre selección. Por otro lado, en la lámina correspondiente a la arenisca ferrificada, también se observan algunos feldespatos, lo que sugeriría que el fenómeno de ferrificación no se dio en un ambiente tropical, debido a que los feldespatos fácilmente se alteran a arcillas en condiciones tropicales, lo cual concuerda con lo expuesto por Bossi (1966), o que es posterior a la depositación de la arenisca.

Con respecto a la relación entre las litologías aflorantes y los horizontes C del suelo se observa un patrón diferencial para los diferentes sitios relevados.

En el este de la zona de estudio, donde se encuentran ubicados los sitios 1 y 2, y la geología dominante son las litologías arenosas tanto ferrificadas como sin ferrificar y las silicificadas, los horizontes C mantienen una correlación con los mismos. Los suelos resultantes de estos materiales generadores oscilan entre 70 a más de 110 cm de profundidad, presentan como características una alta proporción de arena en su perfil, color pardo grisáceo en los horizontes superiores, y pequeños clastos de material parental en casi todo el perfil. Al realizar los estudios de DRX en roca total para estos horizontes C, para el sector 1 mostró una predominancia de minerales como cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y calcita, con una proporción de arcilla muy escasa (1 – 5%), según las tablas utilizadas para el cálculo de empírico de arcilla planteadas por Poiré. Para el sector 2 mostró un patrón similar al presentado en el sitio 1 con un leve cambio en la proporción de arcilla para algunas muestras, que paso de muy escasa a escasa (5-15%).

Dentro de las arcillas de cada horizonte C para estos sitios, los difractogramas resultantes de la DRX muestran para el sector 1 aparición de caolinita como arcilla principal para la muestra 2, y para las muestras restantes del mismo sitio caolinita con esmectitas y en un caso un mineral de la familia de las ceolitas denominado clinoptilolita.

Para el sector 2 todos los diagramas muestran un claro predominio de esmectitas en todas las muestras y para la muestra 4 aparece también un pico de illita.

En el sector 3, para el área fotointerpretada con microrrelieve gilgai, el material geológico que se encontró asociado a los mismos fueron los sedimentos de matriz arcillo limosa asociados a la Formación Fray Bentos. Esto no concuerda con la hipótesis planteada al inicio del trabajo donde se suponía que las zonas de vertisoles se correlacionaban con las areniscas sin ferrificar de la Fm. Asencio, dado que en un estudio realizado por Ford y Gancio (1988a) en el Cerro Vera, estas litologías presentaban esmectitas como mineral arcilloso dominante, lo cual sería una condición para la génesis de estos suelos. El perfil modal asociado a estas zonas presenta una secuencia A/Bt₁/Bt₂/C, con una profundidad de más de 116 cm. El horizonte C presenta las mismas características que el material geológico encontrado en el punto UTM 547184, 6343485. Para poder determinar si este suelo podía clasificarse como vertisol, se procedió a estimar la textura de cada horizonte por el método de estimación de tamaño de partículas minerales. Según Durán y García Préchac (2007) un suelo puede clasificarse como vertisol si presenta más de 35% de arcilla en todo el solum. Los resultados arrojados por este análisis muestran que para el horizonte A el porcentaje de arcilla es de 22%, para el Bt₁ y Bt₂ 45 y 30% , respectivamente y para el C 42.5%. Esto sugiere que este suelo, en función de esta característica y viendo el resultado de este análisis, para este caso en particular, no podría clasificarse como vertisol, según el criterio planteado anteriormente, aunque presente una morfología de microrrelieve.

Con respecto a los resultados obtenidos por los estudios de DRX en roca total para estos horizontes C, para la muestra 1 del sector 3 mostró una predominancia de minerales como cuarzo, plagioclasa y calcita, aunque en menor porcentaje que las muestras correspondientes a los sitios antes descritos, con una proporción de arcilla

media (15-30%) según las tablas utilizadas para el cálculo empírico de arcilla planteadas por Poiré. Para la muestra 6 correspondiente al sector 4, vuelve a repetirse el patrón visualizado para los sitios 1 y 2, donde aparece una predominancia de cuarzo, feldespato potásico y calcita, con una proporción de arcilla muy escasa (1-5%). En ambos casos, el mineral arcilloso dominante es la esmectita.

Con respecto a la mineralogía de arcillas se observa que cuando las litologías originarias de los horizontes C corresponden a las areniscas ferrificadas y a las areniscas silicificadas, dominan las caolinitas y la asociación esmectita+caolinita cuando aparecen las areniscas sin ferrificar mezcladas con las ferrificadas.

En cambio, cuando el material generador de los horizontes C son las areniscas finas con matriz limoarcillosa y las areniscas sin ferrificar, dominan las esmectitas como mineral arcilloso. Según Thiry (2000) las zonas climáticas donde se dan estas mineralogías de arcillas corresponderían a sabana para las esmectitas+caolinitas y selva lluviosa tropical para las caolinitas puras, con más de 2000 mm de precipitaciones y temperaturas medias de 20°C.

5. CONCLUSIONES

Desde el punto de vista geológico puede concluirse que a pesar de que las litologías descritas mostraron diferencias a campo, al realizar las láminas delgadas queda de manifiesto que las litologías presentan la misma composición y distribución de minerales. Lo que marcaría la diferencia es que fueron afectadas por procesos epigenéticos posteriores diferentes, donde aparecen fenómenos de silicificación y ferrificación. Este proceso de ferrificación no habría sido en clima tropical, o habría sido posterior a la depositación, porque se visualizan feldespatos sin alterar en las litologías en lámina delgada.

Se reporta para el área de estudio una arenisca fina de matriz arcillo limosa con características similares a lo que se conoce como uno de los niveles de Fm. Fray Bentos, ocupando áreas de topografías superiores a 125m. A estas litologías se le asocian los suelos que por fotointerpretación muestran microrrelieve gilgai, dejando de manifiesto que este es el material generador de esos suelos y no las areniscas blancas friables del M. Yapeyú de la Fm. Asencio, tal y como se planteó en la hipótesis original de este trabajo.

Los horizontes C relevados para los sitios estudiados mostraron características similares a las litologías muestreadas. Existe un patrón diferencial para la zona E del área de estudio con respecto a la zona W. En la zona E (comprendida por los sitios 1 y 2), los suelos resultantes de los materiales generadores asociados a las areniscas ferrificadas, blancas y silicificadas son arenosos, de colores pardo grisáceo, con profundidades variables entre 70 y más de 100 cm. La mineralogía dominante de esos horizontes C está compuesta principalmente por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y proporciones de arcilla que van de muy escasa a escasa. Los minerales arcillosos dominantes de la fracción arcilla son caolinita y proporciones variables de esmectita, apareciendo también en un caso un pequeño pico de clinoptilolita y de illita. Para la zona W (sitios 3 y 4), donde aparece el microrrelieve gilgai, es donde el material generador es la arenisca fina con matriz arcillolimosa. Los suelos resultantes de ese material generador son suelos oscuros, con alto contenido de arcilla con respecto a los de la zona anteriormente mencionada. Las profundidades son mayores

a los 100 cm. La mineralogía dominante de estos horizontes C presentan en su composición cuarzo y plagioclasa, con una proporción de arcilla media, donde dominan las esmectitas como mineral arcilloso dominante. En las zonas de estos sitios donde no se reconoce microrrelieve, la mineralogía de los horizontes C es similar a los observados para el sitio 2. Con respecto a los minerales arcillosos dominantes de la fracción arcilla de todos los horizontes C en esta zona corresponden principalmente a esmectitas.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alonso-Zarza, A.M., Genise, J.F., Verde, M. 2011. Sedimentology, diagenesis and ichnology of Cretaceous and Palaeogene calcretes and palustrine carbonates from Uruguay. *Sedimentary Geology*, 236(1-2), 45-61.
- Altamirano, A., Da Silva, H., Durán, A., Echevarría, A., Panario, D., Puentes, R. 1976. Clasificación de Suelos del Uruguay. En: Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay. Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Fertilizantes. Tomo 1. Montevideo.
- Belosi, E.S., González, M.G. , Genise, J.F. 2004. Origen y desmantelamiento de lateritas paleógenas del sudoeste de Uruguay (Formación Asencio). *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 6(1), 25-40.
- Bossi, J. Ferrando, L. 2001. Carta Geológica del Uruguay a escala 1/500.000. Montevideo. Geoeditores SRL.
- Bossi, J. Navarro, R. 1988. Geología del Uruguay. Montevideo. Ed. Universidad de la República.
- Bossi, J. 1966. Geología del Uruguay. Montevideo. Departamento de Publicaciones. Universidad de la República. 464pp
- Brady, N. ,Weil, R. 2017. The Nature and Properties of Soils. 15th edition. Boston. Ed. Pearson. 1086pp.
- Durán, A; García Préchac, F. 2007. Suelos del Uruguay: origen, clasificación, manejo y conservación. V.1. Montevideo. Editorial Hemisferio Sur.
- Facio, G., Gancio, F. 1993. Huevos de dinosaurios del Cretácico de Durazno. En: Geología y Recursos Minerales del Departamento de Durazno. Intendencia Mpal de Durazno- Cátedra de Geología de la Facultad de Agronomía. 85-87.
- Ford, I. 1990. Carta geológica del Uruguay escala 1/100.000. Hoja k-19. Molles. Montevideo. Facultad de Agronomía, Dirección Nacional de Minería y Geología. Dpto. de Publicaciones Facultad de Agronomía.
- Ford, I., Gancio, F. 1988. Asociación caolinita-montmorillonita en un paleosuelo del terciario inferior del Uruguay (Formación Asencio). *Boletín de investigación* n°12. Montevideo. Dpto. de Publicaciones Facultad de Agronomía.

- Ford, I., Gancio, F. 1990a. Carta geológica del Uruguay escala 1/100.000. Hoja N-16. Algorta. Montevideo. Facultad de Agronomía, Dirección Nacional de Minería y Geología. Dpto. de Publicaciones Facultad de Agronomía.
- Ford, I., Gancio, F. 1990b. Carta geológica del Uruguay escala 1/100.000. Hoja O-21. Bizcocho. Montevideo. Facultad de Agronomía, Dirección Nacional de Minería y Geología. Dpto. de Publicaciones Facultad de Agronomía.
- Genise, J.F., Bellosi, E.S., Verde, M., González, M.G. 2011. Large ferruginized palaeorhizospheres from a Paleogene lateritic profile of Uruguay. *Sedimentary Geology*, 240 (3-4), 85-96.
- Gisbert Blanquer, J., Ibáñez Asensio, S., Moreno Ramón, H. 2011. Vertisoles. Universidad Politécnica de Valencia. [En línea] 28 octubre 2018 <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12869/Vertisoles.pdf>
- Goso, C.A., Perea, D. 2003. El Cretácico post-basáltico de la Cuenca Litoral del Río Uruguay: geología y paleontología. En: Veroslavski, G., Ubilla, M., Martínez, S. (Eds.). *Cuencas Sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales. Mesozoico*. Montevideo. D.I.R.A.C. 551.76(899). 141-169.
- Ministerio de Ganadería y Agricultura-Ministerio de Defensa Nacional. Consorcio Brasileño Cruzeiro do Sul-Prospect-Geofoto-Natividade-Vasp. 1967. Relevamiento Aerofotográfico del Territorio Nacional a escala 1/20.000. Hoja K-19. Foto aérea 152-139. Montevideo.
- Pazos, P., Tófaló, O.R., González, M. 1998. La paelosuperficie Yapeyú: Significado estratigráfico y paleoambiental en la evolución del Cretácico Superior del Uruguay. *Actas del II Congreso Uruguayo de Geología*, pp. 59-63.
- Perea, D., Soto, M., Montenegro, F., Corona, A. 2009. Nuevo hallazgo de restos de titanosaurios (Dinosauria. Sauropoda) en la Formación Mercedes (Cretácico tardío), Uruguay. *Ameghiniana* 46, 42R.
- Thiry, M. 2000. Palaeoclimatic interpretation of clay minerals in marine deposits: an Outlook from the continental origin. *Earth-Science Reviews*. 49(2000) 201-221. Elsevier.

Walther, K. 1909. Importancia de la mineralogía y geología para el Ingeniero Agrónomo. Montevideo. Agros. 1 (1), pp. 18-20.

Zamalvide, J. Paladino, L. 2017. 2017. Estimación de tamaño de partículas minerales del suelo por un método Bouyoucos modificado. Versión 1.0. Montevideo.

7. ANEXOS

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES GENERADORES DE SUELOS AGRÍCOLAS EN LA ZONA DE CARLOS REYLES, DURAZNO¹

Raquel Caggiano¹, Jorge Bossi¹, Gonzalo Blanco², Daniel Poiré³

¹Universidad de la República, Facultad de Agronomía. Departamento de Suelos y Aguas, Grupo Disciplinario Geología. Avda. E. Garzón 780, 12900, Montevideo, Uruguay.

Correo electrónico: rcaggiano@fagro.edu.uy

² Universidad de la República, Centro Universitario Regional del Este (CURE). PDU Geología y Recursos Minerales. Ruta 8 km 282. Treinta y Tres, Uruguay

³ Universidad Nacional de La Plata. Centro de Investigaciones Geológicas. Diagonal 113 y 64, B1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina.

¹ El artículo será enviado a la Revista Agrociencia Uruguay de la Facultad de Agronomía, UdelaR.

Resumen

El objetivo de este trabajo es determinar el material generador de suelos para el área de Carlos Reyes, Durazno y su relación con la geología local. Para ello se estudiaron cuatro sectores donde se realizó relevamiento geológico y muestreo de horizontes C. Para los horizontes C se estimó el tamaño de partículas minerales por el método Bouyoucus y la Difracción de Rayos X para cuantificar la composición mineral y el tipo de mineral arcilloso dominante. Para las litologías más representativas (areniscas ferrificadas, silicificadas y sin ferrificar) se realizaron láminas delgadas para su visualización en microscopio petrográfico. Estas indican, que la composición y distribución de minerales son similares, teniendo como diferencias entre ellas que fueron afectadas por procesos diagenéticos posteriores. Con respecto a una de las zonas que mostraba microrrelieve gilgai, el material corresponde a una arenisca fina de matriz arcillo limosa, la cual no había sido reportada en la zona como material geológico, asociándose la misma a los niveles areniscos de Fm. Fray Bentos. Los restantes horizontes C relevados mostraron características similares a las litologías aflorantes muestreadas, tanto para la zona E como W del área de estudio. En la zona E, los suelos resultantes son arenosos, de colores pardo grisáceo, con profundidades variables (70-100 cm), con mineralogía dominante compuesta por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y proporciones de arcilla que van de muy escasa a escasa, donde el mineral arcilloso dominante es caolinita. Para la zona W, donde aparece el microrrelieve gilgai, los suelos resultantes son más profundos (> 100 cm), oscuros, con alto contenido de arcilla con respecto a los de la zona E. La mineralogía dominante en el C está compuesta por cuarzo y plagioclasa, con una proporción de arcilla media. En las zonas de estos sitios donde no se reconoce microrrelieve, la mineralogía de los horizontes C es similar a los observados para el

S de la zona W. Los minerales arcillosos dominantes de la fracción arcilla de los todos los horizontes C en esta zona corresponden principalmente a esmectitas.

Palabras clave: material generador, arcillas, microrrelieve, diagénesis.

Characterization of the parent materials in agriculture soils in the area of Carlos Reyles, Durazno

Summary

The objective of this work is to determine the parent material of the area of Carlos Reyles, Durazno, as well as the rest of the area and its relation with the local geology. We have studied four different places where geological survey was performed as well as sampling of horizons C. For the horizons C we estimated the size of the mineral particles by using the Bouyoucus method and X Ray Diffraction to quantify the mineral composition and the kind of dominant clay mineral. For the main representative lithologies we made thin sheets for a better visualization in the petrographic microscope. These indicate, for the different lithologies, a similar composition and distribution of minerals, having as differences between them that they were affected by subsequent diagenetic processes. With respect to the gilgai microrelief, the material belongs to a fine sandstone of silty clay matrix, which had not been reported in the area as a geological material, associating the same with the sandstone levels of Fray Bentos Formation. The survey of horizons C showed similar features to the sampled outcropping lithologies, as if to the zone East (E) and West (W) of the study area. In the zone E, the resulting soil are sandy, grayish brown colors with varying depths (70-100 cms), with a dominant mineralogy composed of quartz, plagioclase, potassium feldspar with an amount of clay that goes from little to very little, where the dominant clay mineral is the kaolinite. For the zone W, where appears the gilgai microrelief the resulting soils are deeper (>100 cms), dark, with a higher clay content respect to the zone E. The dominant mineralogy in the C is composed by quartz and plagioclase, with an average proportion of clay. In the areas of these sites where the microrelief is not recognized, the mineralogy horizons C are similar to those

observed for the S of W zone. The dominant clay minerals of the clay fraction of every horizon C in this area belong mainly to the smectite group.

Key words: parent material, clay, microrelief, diagenesis

Introducción

El estudio de los materiales parentales de suelos es de suma importancia para comprender la variabilidad existente de los mismos en el Uruguay. Tomando como base la Carta Geológica del Uruguay ⁽¹⁾, puede observarse la variabilidad de materiales geológicos presentes en el país, con lo cual es posible correlacionar los mismos con los diferentes tipos de suelos descritos.

En el presente trabajo, se hará énfasis en caracterizar los materiales generadores de suelos agrícolas en la región de Carlos Reyes, Durazno, Uruguay. Dicha región presenta como característica principal, una alta distribución de zonas con microrrelieve gilgai, (distinguibiles por fotointerpretación), probablemente asociado a la presencia de vertisoles, los cuales se cree que pueden ser originados por el Miembro Yapeyú de la formación Asencio.

Para el desarrollo de la presente investigación se planteó como objetivos: determinar el material generador de las áreas fotointerpretadas con microrrelieve gilgai de la zona de Carlos Reyes, en el departamento de Durazno; caracterizar los materiales parentales de suelos y su correlación con los suelos de la zona.

Para el cumplimiento de los objetivos planteados, se presentan las siguientes hipótesis de trabajo: El material generador de los posibles vertisoles rúpticos asociados al microrrelieve gilgai en foto aérea son las areniscas blancas y friables del Miembro Yapeyú de la Fm. Asencio; las zonas donde no aparece el microrrelieve gilgai están relacionadas a las corazas de ferrificación del Miembro del Palacio de la Fm. Asencio y de la Fm. Mercedes, lo cual supone que los suelos presentes serán diferentes a los anteriores.

Las areniscas de Asencio fueron descritas como areniscas de titanosaurio ⁽²⁾. Se la define como Formación con la siguiente descripción litológica: areniscas de grano fino, color rosado

pálido y algo de cemento en base a illita y CaCO_3 ; grano bien seleccionado y con buen redondeamiento. La composición mineralógica corresponde a arenas ácidas con 80% de cuarzo, 15% de feldespatos alcalinos y algo de plagioclasas. La potencia de dicha formación es de 25 m, con contacto inferior con Fm. Mercedes (arenas gruesas con niveles de cantos), totalmente gradual⁽³⁾. Se incluyen al Grupo Paysandú junto con Fm. Mercedes y Fm. Guichón (Cretácico superior); la peculiaridad que presenta dicha formación es su sector cuspidal que sufrió fenómenos diagenéticos de silicificación y ferrificación ⁽⁴⁾.

Se propone dividirla en dos miembros, siendo Yapeyú el inferior y del Palacio el superior. El miembro Yapeyú corresponde a las areniscas descritas para la formación (Bossi, 1966) mientras que el miembro del Palacio corresponde a las areniscas intensamente ferrificadas, formando corazas y carapachos ⁽⁴⁾.

Estudiando el perfil del Cerro Vera ⁽²⁾, determinaron (para este lugar) que las corazas de ferrificación, las areniscas moteadas subyacentes y las decoloradas inferiores un origen de paleosuelos por la presencia de pedotúbulus, cutanes de arcilla y óxido (ferriargilanes) de iluviación, y glébulos. Estos autores realizaron un estudio de los minerales arcillosos por difracción de rayos X determinando una dominancia de esmectitas como mineral arcilloso en la base y su pasaje a caolinita en los estratos superiores (llegando a la dominancia en la coraza ferrificada).

La Fm. Asencio ⁽⁵⁾ puede definirse como areniscas medias, de selección regular a buena, con granos redondeados, cuarcítica, con cemento arcilloso, con impregnaciones irregulares de óxidos de hierro, determinando un moteado muy característico, medianamente coherentes, macizas, de color blanco amarillento a blanco grisáceo con manchas rojas. Para las corazas ferrificadas presentes en la zona, este autor las atribuye a la Fm. Palmitas, siendo las

litologías descritas como conglomerados cuyos clastos están constituidos por formas concrecionáceas endurecidas de óxidos de hierro (hematita), formados sobre un material areno-arcilloso cuarcítico. El autor indica que es posible que la formación de estas formas concrecionáceas estén relacionadas a procesos de acumulación absoluta de óxidos de hierro en el material originario, donde la hematita ha reemplazado en parte, a la matriz arcillosa primitiva. Afirma además que son frecuentes los clastos en cuyo interior se conservan formas fósiles de nidos de insectos ⁽⁵⁾. Otra definición de la Formación Asencio ⁽⁶⁾, la indica como una secuencia silicoclástica delgada (5-15 m), oscura, roja y endurecida compuesta por arenitas de cuarzo, que exhibe modificaciones generalizadas y avanzadas por procesos de formación de suelo (ferralización y lixiviación) y contiene una icnofauna muy diversa. La parte superior de la unidad se denota por una discordancia erosiva debajo de la Formación Fray Bentos del Oligoceno Tardío.

La Formación Mercedes es una unidad de color claro (blanco, rosa, gris) de hasta 100 m de espesor que representa el relleno parcial de la cuenca "Litoral del Río Uruguay". Está compuesta de areniscas de grano medio a fino, escasamente clasificadas, conglomerados finos a medianos y escasas lutitas rosadas o verdosas ⁽⁴⁾. Las areniscas presentan un 10% de porosidad, una matriz de arcilla abundante (35%) grisácea o amarillenta y corresponde a los wackes feldespáticos. El cemento de relleno de poros silíceos o de carbonato es frecuente en estas areniscas. Se describieron cuerpos de canales lenticulares con areniscas entrecortadas hacia arriba, capas cruzadas, conglomerados y depósitos intercanales pedogenizados formados en un entorno de sedimentación fluvial serpenteante ⁽⁷⁾. Localmente y en la sección superior, también se producen calizas blancas y rocas silíceas ⁽⁸⁾. La

Formación Mercedes tiene huevos y huesos de saurópodos ⁽⁹⁾ y se considera de edad Cretácico tardío.

Otros autores ⁽¹⁰⁾ proponen la subdivisión de la Fm. Mercedes en dos miembros claramente distinguibles por su litología: un miembro inferior en el que dominan las psefitas y un miembro superior psamítico, en el que se localizan fósiles de cáscaras de huevo de dinosaurios. Según estos autores, el miembro inferior está constituido por depósitos psefíticos densos, con algunas intercalaciones calcáreas y pelítico calcáreas, variando vertical y lateralmente la granulometría. En algunas partes el aspecto de los conglomerados matriz soportados es macizo, sin percibirse la estructura original del depósito; en otras en cambio, son visibles estructuras cruzadas, a veces tabulares, y en escasos lugares fueron vistas estructuras de canales de corte y relleno. El tamaño de los clastos es muy variable de un estrato a otro, alcanzando en ocasiones el tamaño de 1 dm³, mayoritariamente procedente de rocas del basamento, aunque también en menor proporción, del área basáltica. La diagénesis silícea que ha afectado a estas rocas, es en gran parte la responsable del “borramiento” de las estructuras originales. El miembro superior (biozona informal: areniscas con huevos fósiles de dinosaurios), se caracteriza por presentar litologías homogéneas desde el punto de vista textural, comparado con el miembro inferior. Se trata de areniscas finas a medias, de selección regular, con granos de arena gruesa generalmente muy redondeados, dispersos, cuarcítica, maciza, de color rosado, a veces amarillento, afectado por una diagénesis silícea que no es tan intensa como en el miembro inferior. Por otro lado, definen a la Fm. Mercedes como una unidad con gran diversidad litológica, la cual incluye litologías clásticas (areniscas y conglomerados) así como calcáreas, ferrificadas y silicificadas ⁽¹¹⁾. Este autor propone agrupar todas las litologías en dos miembros: Yapeyú y del Chileno. Dentro del Miembro

Yapeyú, se definen areniscas finas, de colores que varían entre el blanco y el blanco grisáceo; presentan en estratos de buena selección; los clastos en su mayoría son cuarzosos y redondeados en un 85-90%. A su vez, el autor plantea que los clastos feldespáticos presentan una incipiente alteración. El tipo de cemento es calcáreo. Para el Miembro del Chileno, el autor plantea que las litologías están representadas por areniscas muy gruesas y conglomerados, que se presentan en estratos que van de decimétricos a métricos, con colores que varían entre el blanco-grisáceo y el rojo amarillento. Los megaclastos están constituidos por cuarzo, basalto en el sector norte y por granitos, gneisses, cuarcitas y esquistos en la porción sur de la cuenca. La matriz de estos conglomerados es arena media a fina y ocasionalmente pelítica. Son pobremente seleccionados. Subordinadamente aparecen areniscas medias a gruesas, de color gris claro, con más del 90% de los clastos cuarzosos y subredondeados a subangulosos. Presentan matriz constituida por arena fina, con pocos granos de limo que aparecen cubiertos por el cemento. El contenido de cemento calcáreo y de sílice es variable, lo cual hace variar el grado de consolidación.

Se plantea que los depósitos de la Fm. Mercedes pueden haber sido las sedimentitas que más modificaciones epigenéticas han sufrido, con procesos de ferrificación, calcretización y silicificación como responsables de intensas transformaciones de esos depósitos silicoclásticos ⁽¹¹⁾.

A su vez, se indica que las litofacies ferrificadas corresponden a la denominación edafoestratigráfica de Geosuelo del Palacio, el cual está compuesto por areniscas finas ferrificadas, a veces con preservación de las geometrías estratales; con corazas sustentadas por estructuras columnares de diámetro métrico con diferentes alturas ⁽¹¹⁾.

Los suelos de tipo vertisoles se caracterizan por ser suelos arcillosos, que presentan grietas en alguna estación del año o caras de deslizamiento dentro del metro superficial del perfil ⁽¹²⁾. Dicho autor plantea que el material parental de este tipo de suelos lo constituyen sedimentos con una elevada proporción de arcillas esmectíticas, o producto de alteración de rocas que las generan, siendo suelos minerales caracterizados por su elevado contenido de arcillas del tipo 2:1 tipo montmorillonita.

Por lo tanto es posible manejar que las areniscas descritas como M. Yapeyú ⁽⁴⁾ son el posible material parental, dado que dominan en esta, el mineral arcilloso esmectítico tomando los antecedentes de ⁽²⁾.

Por otra parte, los vertisoles son suelos del orden melánico, los cuales presentan como características contacto lítico a más de 50cm, contenido de arcilla igual o mayor a 35% en todo el perfil. ⁽¹³⁾ Según estos autores algunas de las propiedades siempre presentes son grietas de desecamiento en algún periodo del año y caras de deslizamiento; dentro de otras propiedades destaca el autogranulado, el microrrelieve gilgai y evidencias de automezclado.

Materiales y métodos

El área de relevamiento está comprendida en las inmediaciones del poblado de Carlos Reyles, Durazno. Se tomó como documento cartográfico de referencia la foto aérea 152-139 ⁽¹⁴⁾ a escala 1/20.000, en la cual se ubican los 4 sectores donde se realizó el trabajo de campo. Los mismos fueron identificados como Sector 1 (S1), Sector 2 (S2), Sector 3 (S3) y Sector 4 (S4) y agrupados en zona Este y Oeste, tomando como eje la Ruta nacional n° 5, tanto para el relevamiento geológico como edafológico. En la figura que se presenta a continuación se muestra la ubicación de los mismos.

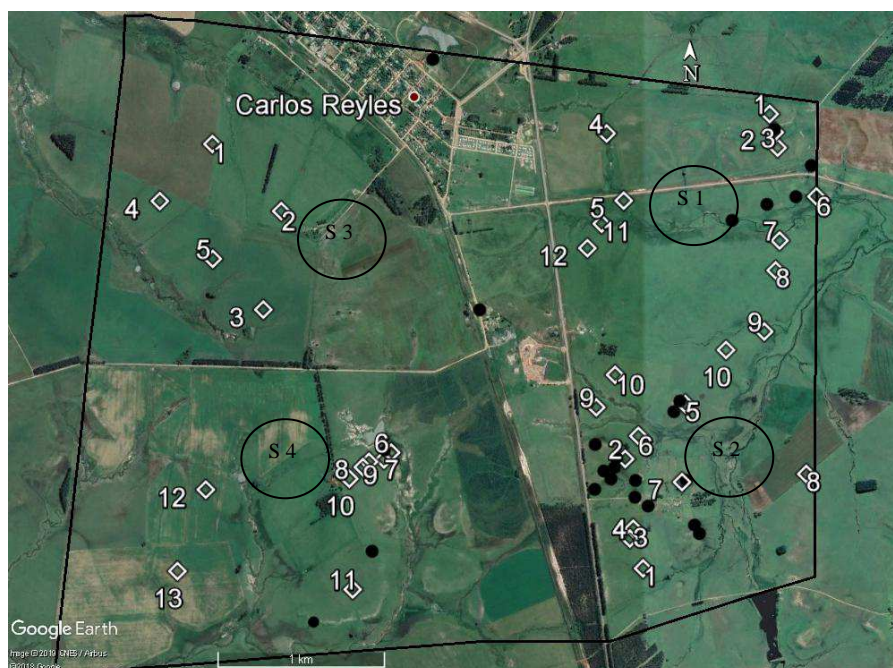


Fig. No. 1: Área de relevamiento

Referencias: los puntos en negro corresponden a lugares donde se realizó el muestreo geológico; los rombos numerados a donde se realizaron perfiles de suelo y muestreo de horizonte C.

Para dicha área de relevamiento se realizó muestreo de horizontes C con taladro holandés (extensible a 3 metros) en forma de transectas cada 40 metros para la zona fotointerpretada con microrrelieve gilgai y al azar para el resto del área que no presentó ese patrón. En cada punto de muestreo se procedió a sacar el perfil de suelo llegando al horizonte C, a fin de describirlo, destacar sus principales características, y luego se realizó la estimación de tamaño de partículas por el método Bouyoucus modificado en el laboratorio del Dpto. de Suelos y Aguas de la Facultad de Agronomía, además de la determinación del tipo de mineral arcilloso por la técnica de difracción de rayos X, en el Centro de Investigaciones Geológicas, La Plata, Argentina.

Para el relevamiento geológico se procedió a recorrer la zona ubicando en cada probable área de afloramiento puntos de descripción. Dicho relevamiento fue realizado para la totalidad

del área planteada por el recuadro de la fig. 1 a los efectos de poder conocer el comportamiento geológico de la zona. Para las áreas donde no se encontraron afloramientos naturales o artificiales el relevamiento fue apoyado por la observación de los horizontes C de los suelos, a fin de poder interpretar la geología de esas zonas y llegar a elaborar un mapa geológico del área de estudio. Se procedió a tomar muestras de las litologías dominantes para la realización de láminas delgadas, a los efectos de conocer las composiciones de las mismas. se realizaron las observaciones en el microscopio petrográfico Leica DM-750 con capacidad para obtener fotografías digitales y se analizaron fragmentos de roca con el microscopio electrónico de barrido JEOL JCM-6000 Plus, del laboratorio del PDU Geología y Recursos Minerales en la sede Treinta y Tres del CURE.

Las muestras elegidas son las que se detallan en la tabla a continuación:

Muestra	Litología vista a campo	UTM x (m)	UTM y (m)	z (m)
1	Arenisca ferrificada	550290	6339929	136
2	Arenisca con grumos ferrificados	550366	6339715	134
3	Arenisca sin ferrificar	550269	6339545	130
4	Arenisca silicificada	551478	6341383	115

Cuadro No. 1: Ubicación de las muestras procesadas en lámina delgada.

Resultados

Relevamiento de campo de la zona Este del área de estudio

Esta zona está comprendida por los sectores 1 y 2. En el relevamiento geológico pudo apreciarse que las litologías aflorantes muestran un comportamiento diferencial presentando afloramientos tipo carapacho, ferrificados en su techo con pasaje gradual a litologías sin ferrificar (UTM 551349; 6341781- UTM 551344; 6341784), para la zona Norte (Fig.2 A).

Para la zona central, aparecen aflorando litologías en forma de escarpa, rasantes, discontinuas, las cuales están compuestas por areniscas de grano fino, silicificadas, de color

naranja tenue con venillas de óxido de hierro y pequeños clastos de cuarzo diseminados en la matriz de la roca (Fig.2 B, C). Al SW de la zona predominan areniscas sin ferrificar en cotas 110-120 m, pasando a areniscas ferrificadas, en algunos casos con grumos de óxidos de hierro por encima de los 120 m (Fig. D, E, F).

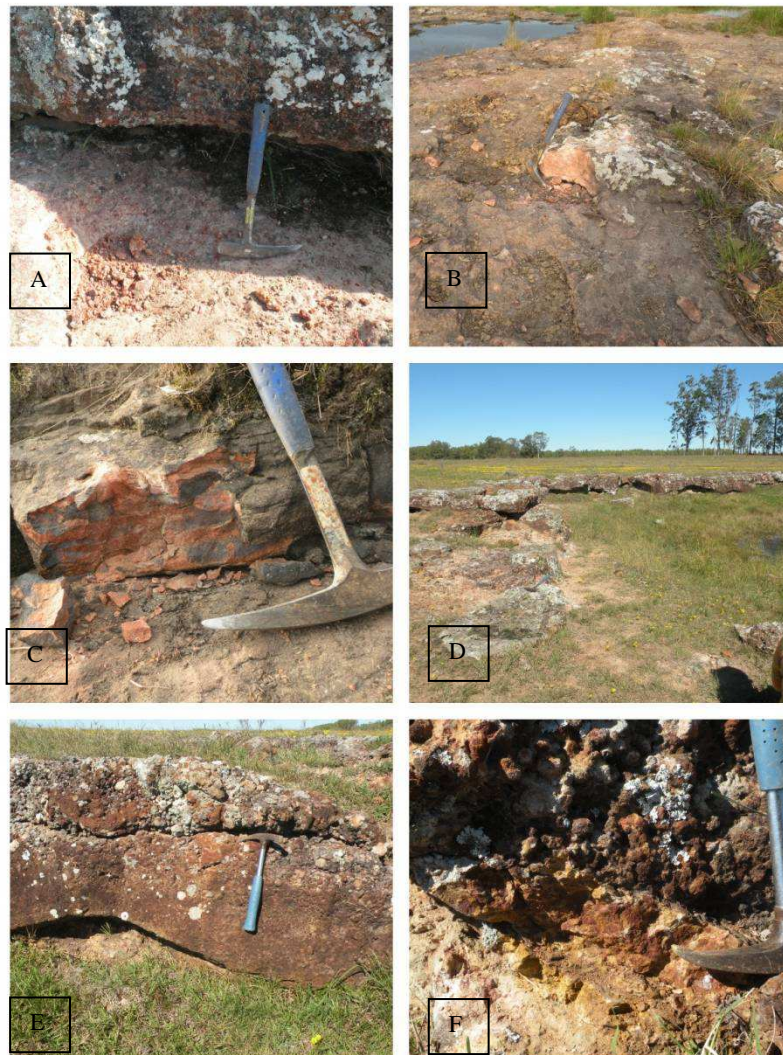


Fig. No.2 A. Contacto areniscas ferrificadas y no ferrificadas; B y C. Afloramiento rasante de areniscas silicificadas anaranjadas, detalle areniscas silicificadas; D, E y F. Corazas ferrificadas, Contacto areniscas ferrificadas grumosas con areniscas ferrificadas, detalle contacto areniscas grumosas con areniscas sin ferrificar.

A su vez se aprecia un extenso afloramiento (UTM 550743; 6340111) que presenta en la cima areniscas ferrificadas con nódulos de óxido de hierro, en el medio areniscas ferrificadas

fuertemente diaclasadas de forma horizontal y en la base areniscas sin ferrificar con algunos moteados férricos. También se aprecian más de 200 columnas aisladas, dispersas, redondas, ovaladas, irregulares, algunas ferrificadas (UTM 550779; 6340174) (Fig. 3).

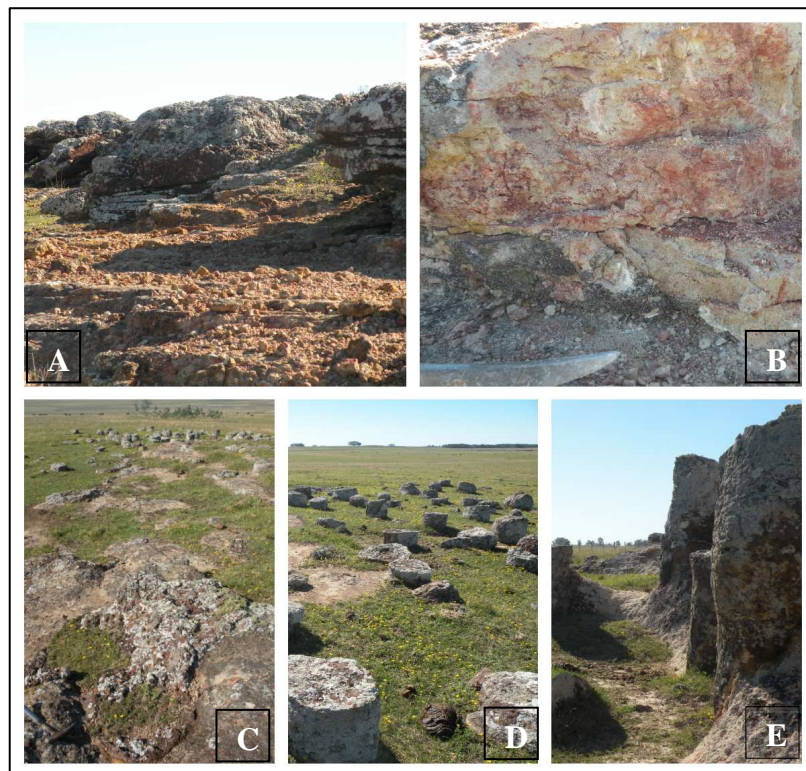


Fig. No.3. A y B. Areniscas ferrificadas con glóbulos y nódulos de óxido de hierro en contacto con areniscas sin ferrificar. C, D y E. Columnas aisladas asociadas al afloramiento.

Con respecto a los suelos relevados, los mismos mostraron algunas diferencias en función de los materiales parentales existentes. Para la zona N del área, asociados a las areniscas ferrificadas, se relevaron suelos con una secuencia de horizontes $A_p/AB/B_{t1}/B_{t2}/C$, donde dominan las texturas franco arenosas en los primeros 20 cm, seguido de texturas franco arcillo arenosas y franco arcillosas para los horizontes AB y B. A los 96 cm se llega al horizonte C, el cual presenta relictos de litologías ferrificadas. (Fig. 4 A). Asociado a las litologías sin ferrificar como material parental, se encuentran suelos con la siguiente secuencia de horizontes $A_p/A/B_{t1}/B_{t2}/BC/C$, los cuales presentan como características

principales texturas franco arcillosas, encontrándose a más de 118 cm un horizonte C que presenta clastos de areniscas sin ferrificar con clastos ferrificados y concreciones de CaCO_3 en los mismos (Fig. 4. B, C).

Con respecto a la zona asociada a las litologías descritas como areniscas silicificadas, fueron relevados suelos con la secuencia de horizontes $A_1/A_2/AB/B_{t1}/B_{t2}/BC/C/R$. El rasgo a destacar en el mismo una textura franco arenosa para los primeros horizontes, pasando a texturas franco arcillosas, hasta llegar a un horizonte C (141 cm) de textura franco arenosa con presencia de abundantes clastos de material parental. A los 160 cm se encuentra un horizonte R, constituido por areniscas silicificadas, de color naranja tenue, tal como fueron descritas en el relevamiento geológico (Fig. 4 D).



Fig. 4. A. perfil modal con horizonte C arenisca ferrificada; B y C. Perfil modal con horizonte C arenisca sin ferrificar; D. Perfil modal con horizonte C arenisca silicificada.

Relevamiento de campo de la zona W del área de estudio.

La zona W queda comprendida por los sitios 3 y 4. En el relevamiento geológico pudo observarse que las litologías relevadas presentan algunas similitudes con las relevadas anteriormente, hallándose también otras hasta ahora no reportadas. Para la zona N del área, existe un comportamiento diferencial desde el punto de vista geológico. Por un lado en el punto UTM 549590; 6340721, se encuentra un afloramiento al costado del camino (4-5 m de largo), compuesto por areniscas blancas, diaclasadas de forma vertical, discontinuo. Aparecen algunas columnas y arenisca ferrificada con nódulos. En algunas partes aparece silicificación cubriendo un plano. Nuevamente aparecen nódulos ferrificados con nidos de véspidos sueltos en el afloramiento (Fig. 5.A). Por otro lado, en la zona NW se observa por fotointerpretación microrrelieve, y no aparecen afloramientos superficiales. Realizando el relevamiento e horizontes C, se encontró que en el área abarcada por el microrrelieve, el regolito presenta una arenisca fina con una matriz limo arcillosa, de colores anaranjados con concreciones de CaCO_3 . Fuera del área de estudio, sobre la ruta nacional N° 4, en las coordenadas UTM 547184; 6343485, 130 m, se observa un perfil el cual está compuesto por la misma arenisca con matriz limo arcillosa, de color anaranjado, con abundantes concreciones de CaCO_3 (Fig. 5 B).

Al sur de esta área se encuentra un afloramiento subhorizontal en forma de escarpas, asociados a un paisaje de lomadas suaves, donde las litologías predominantes son areniscas de grano medio a fino, similares a las encontradas en sitios anteriores, con nódulos de óxido de hierro. (UTM 549021; 6339887) (Fig. 5 C). A continuación del afloramiento anteriormente descrito, aparecen restos de columnas con diferentes grados de ferrificación y grumos de óxido de hierro. Rodeando las mismas aparecen litologías del tipo areniscas blancas friables,

como las reportadas anteriormente. Hacia los puntos UTM 548941, 6339293; 548589, 6338873; se observa un cambio en la litología no relevado en sectores anteriores (1 y 2). Se trata de areniscas calcáreas, parcialmente silicificadas, compuesta por arena media a gruesa, de selección regular, silicificada en estratos. Hay presencia de calcedonia y CaCO_3 (Fig. 5 D).



Fig. No.5. A. Afloramiento al costado del camino, UTM 549590; 6340721m ; B. Afloramiento en ruta 4, UTM 547184, 6343485, 130 m; C. Afloramiento en escarpas ; D. Afloramiento de areniscas calcáreas silicificadas.

Con respecto al relevamiento de suelos para esta zona se procedió a realizar las transectas en el área que presenta el microrrelieve gilgai (visto por imágenes satelitales). Cabe destacar que no se encontraron doubles perfiles en el área antes mencionada. El perfil modal asociado a lo largo de las transectas ubicadas en las zonas con microrrelieve presentó la siguiente secuencia de horizontes, A/B₁/B₂/ C. Las principales características de este perfil es que presenta mayor contenido de arcilla que los relevados anteriormente en los horizontes A y B, y la particularidad más sobresaliente es que el horizonte C (+110 cm) tiene características similares a las litologías aflorantes vistas en el punto UTM 547184, 6343485 (Fig. 6 A).

En las zonas donde no se indicaron transectas, el perfil de suelo presentó la secuencia de horizontes A/AB/Bt1/B_{t2}/ C. las principales características del mismo es que presenta texturas franco arenosas y arcillosas, hasta llegar a un horizonte C de textura franco arcillosa con moteados, con características similares a las areniscas sin ferrificar (Fig. 6 B).



Fig. No.6. A. Perfil modal con horizonte C sedimento limoarcilloso ; B. Perfil modal con horizonte C arenisca sin ferrificar.

En el mapa de la figura No. 7 se presentan los principales materiales parentales reconocidos en el relevamiento de campo.

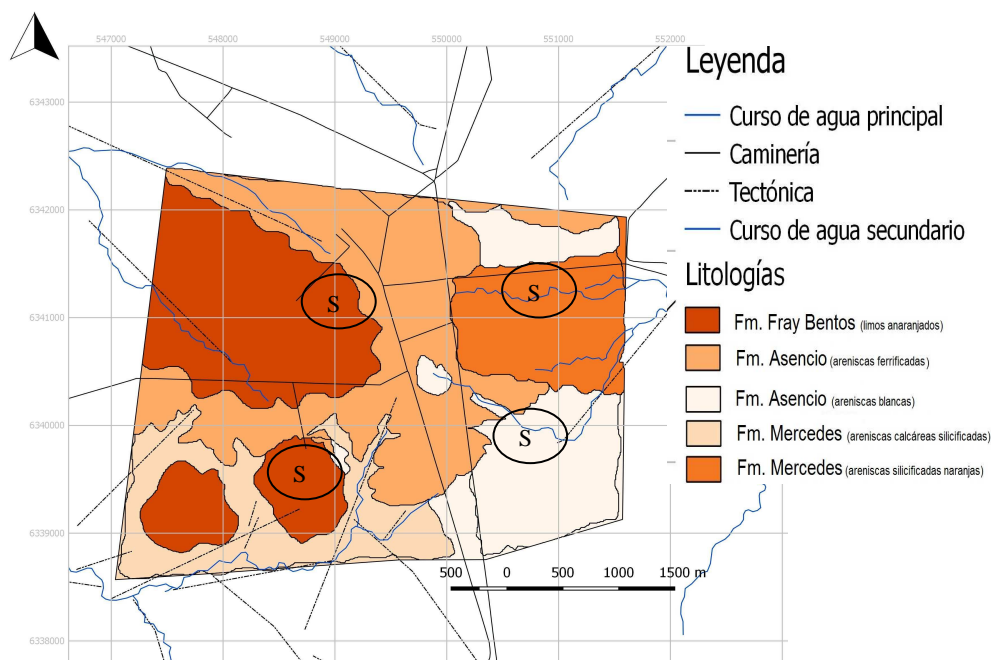


Fig. No. 7: mapa con los principales materiales generadores encontrados

Láminas delgadas

En la lámina 1 (Fig. 8 A) se observan clastos de feldespato potásico, plagioclasa con capas de hematita alrededor. Es una roca pobremente seleccionada, ya que se observan granos de diferente tamaño. Se observa también granos de cuarzo policristalino, el cual puede provenir del basamento cristalino. Puede clasificarse en una subarcosa, ya que tiene una alta proporción de feldespato. En la fracción más fina hay mayor cantidad de feldespato, el cual varía en clastos que van desde 300 micrones a 50 micrones. Aparece también alguna turmalina. Viendo la lámina puede determinarse que la litología es inmadura tanto textural como composicionalmente.

La lámina 2 (Fig. 8 B), al igual que la anterior presenta cristales de cuarzo policristalino, además de hematita y goetita. Los clastos de feldespato presentan golfos de corrosión. La composición es principalmente cuarzosa. Presenta también cutanes de hierro. La lámina 3 presenta grumos con goetita, además de cuarzo policristalino. Presenta una pobre selección y algunos clastos de feldespato pero en menor proporción que las láminas anteriores. Los

grumos son tipo cutanes de hierro. Aparece también algún clasto de origen félsico como en las muestras anteriores.

En la lámina 4 (Fig. 8 C) aparecen minerales de cuarzo, angulosos; algunos clastos de roca félsica (posible riolita). Aparecen feldespatos con golfos de corrosión. Los cuarzos son de tamaños variados, de pobre selección. Los mismos son policristalinos, derivados posiblemente del basamento cristalino y monocristalinos, donde la posible fuente es félsica. Aparecen también pequeños clastos de microclina. La matriz presenta calcedonia con algún mineral arcilloso.

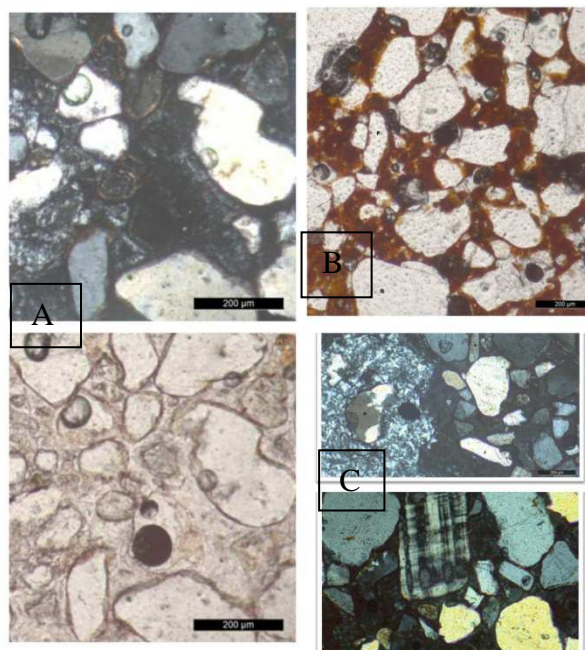


Fig. No.8. Microfotografías A. Lámina delgada 1; B. Lámina delgada 2 y 3; C. lámina delgada 4.

Estimación del tamaño de partículas minerales de los principales horizontes C

Zona E

Para la estimación del tamaño de partícula se eligieron los horizontes C más representativos para los distintos sitios, obteniendo los resultados que se plantean a continuación, con sus respectivos triángulos texturales.

Para la zona N del área relevada, la textura más predominante es FAcAr para la mayoría de los horizontes, mostrando un desplazamiento de los mismos en el triángulo textural hacia la izquierda. Esta textura puede verse influenciada por los materiales geológicos encontrados para el sitio, siendo los dominantes las areniscas sin ferrificar con nódulos de óxido de hierro y las areniscas naranjas silicificadas descritas anteriormente.

Muestra horiz. C	Arena	Limo	Arcilla	Total	Abreviación
1	64,6	10,4	25	100,0	FAcAr
7	68,1	0,2	31,7	100,0	FAcAr
3	57,3	0,2	42,5	100,0	FAcAr
2	61,9	6,4	31,7	100,0	AcAr
8	72,4	0,9	26,7	100,0	FAcAr

Cuadro No. 2: Estimación de tamaño de partícula área N de la zona E.

Las texturas de los horizontes C ubicados al sur de la zona relevada presentan otro patrón con respecto a la zona N. Si bien desde el punto de vista geológico dominan las areniscas sin ferrificar y ferrificadas, las texturas obtenidas se encuentran en los patrones que van desde arcilloso a franco arcillo arenoso, siendo los primeros los más predominantes.

	Arena	Limo	Arcilla	Total	Abreviación
1	34,7	11,2	54,2	100,0	Ac
2	49,0	10,2	40,8	100,0	AcAr
3	24,6	7,0	68,3	100,0	Ac
4	19,1	14,3	66,7	100,0	Ac
5	49,5	9,7	40,8	100,0	AcAr
6	48,4	20,8	30,8	100,0	FAcAr
8	24,0	11,9	64,2	100,0	Ac
10	26,1	17,2	56,7	100,0	Ac

Cuadro No. 3: Estimación de tamaño de partícula área S de la zona E.

Zona W

Para los sitios 3 y 4, al aparecer un nuevo material geológico en la zona fotointerpretada con microrrelieve, la textura de los horizontes C generados a partir del mismo resulta en arcillo limosa, que no se repite en las zonas anteriores. Con respecto a los horizontes C que se encuentran sobre el material geológico areniscas sin ferrificar, se repite el patrón textural visto para los sitios anteriores.

muestra horiz C	Arena	Limo	Arcilla	Total	Nombre	Abreviación
1	17,1	40,4	42,5	100,0	Arcillo limoso	AcL
6	53,0	5,7	41,3	100,0	Arcillo arenoso	AcAr

Cuadro No. 4: Estimación de tamaño de partícula de la zona W.

Difracción de Rayos X.

En los horizontes C tomadas, se procedió a realizárseles el análisis de roca total por DRX, para conocer la composición mineralógica de los mismos. Los resultados que se expresan en la tabla que aparece a continuación fueron calculados por estimación, midiendo los picos de intensidad de los distintos minerales y su relación con la arcilla, según los criterios utilizados, por el Dr. Daniel Poiré.

	Proporción (%)											
Muestra punto*	1	2	3	7	8	3	4	5	6	8	1	6
Mineral												
Cuarzo	98,2	89,1	93,9	87,7	93	92,6	85	92,5	97,2	91,4	69,1	91,4
Feldespatos potásico	0	2,45	2,9	6,3	1,9	0	0	0	0	0	0	3,2
Plagioclasa	0	4,08	0	3,5	0	2,95	4	0	0,9	3,3	7,9	0
Calcita	0	1,6	0	0	2,9	0,98	2,4	0	0	2,5	0	0,8
Arcilla	1,7	2,7	3,1	2,4	2,1	3,15	8,5	7,5	1,8	2,7	22,9	4,45
Empírico Arcilla	ME ¹	ME ¹	ME ¹	ME ¹	ME ¹	ME ¹	E ²	E ²	ME ¹	ME ¹	M ³	ME ²

1 muy escaso/ 2 Escaso/ 3 Medio. * Los puntos sombreados en gris oscuro corresponden a la zona E y los sombreados gris claro a la zona W.

Cuadro No. 5: Composición mineral para los horizontes C de las zonas E y W.

Los datos obtenidos, para los sitios de estudio y los 12 puntos de muestreo elegidos como más representativos del área, presentan un comportamiento homogéneo desde el punto de vista composicional, dado que el mineral más abundante de estos horizontes es el cuarzo, seguido en algunos casos por plagioclasa. Con respecto a la proporción de arcilla, para 11 de los 12 puntos de muestreo analizados, la proporción de la misma, según tablas estimativas de empírico de arcilla planteadas por el Dr. Poiré, oscilan entre los rangos muy escaso a escaso. Existe una excepción que se da en la muestra relacionada con el sitio 3, donde la proporción de arcilla cambia a media.

Para poder definir qué tipo de mineral arcilloso predomina en los 12 puntos de muestreo marcados anteriormente, se procedió también a realizar DRX.

Para la zona E del área de estudio observamos que los difractogramas para arcillas en la curva glicolada nos muestran los picos de los diferentes minerales arcillosos detectados. En esta zona dominan los minerales arcillosos de tipo caolinita, además de algunos picos para esmectitas, illita y un pequeño pico para clinoptinolita, el cual es un mineral silicatado de la familia de las ceolitas.

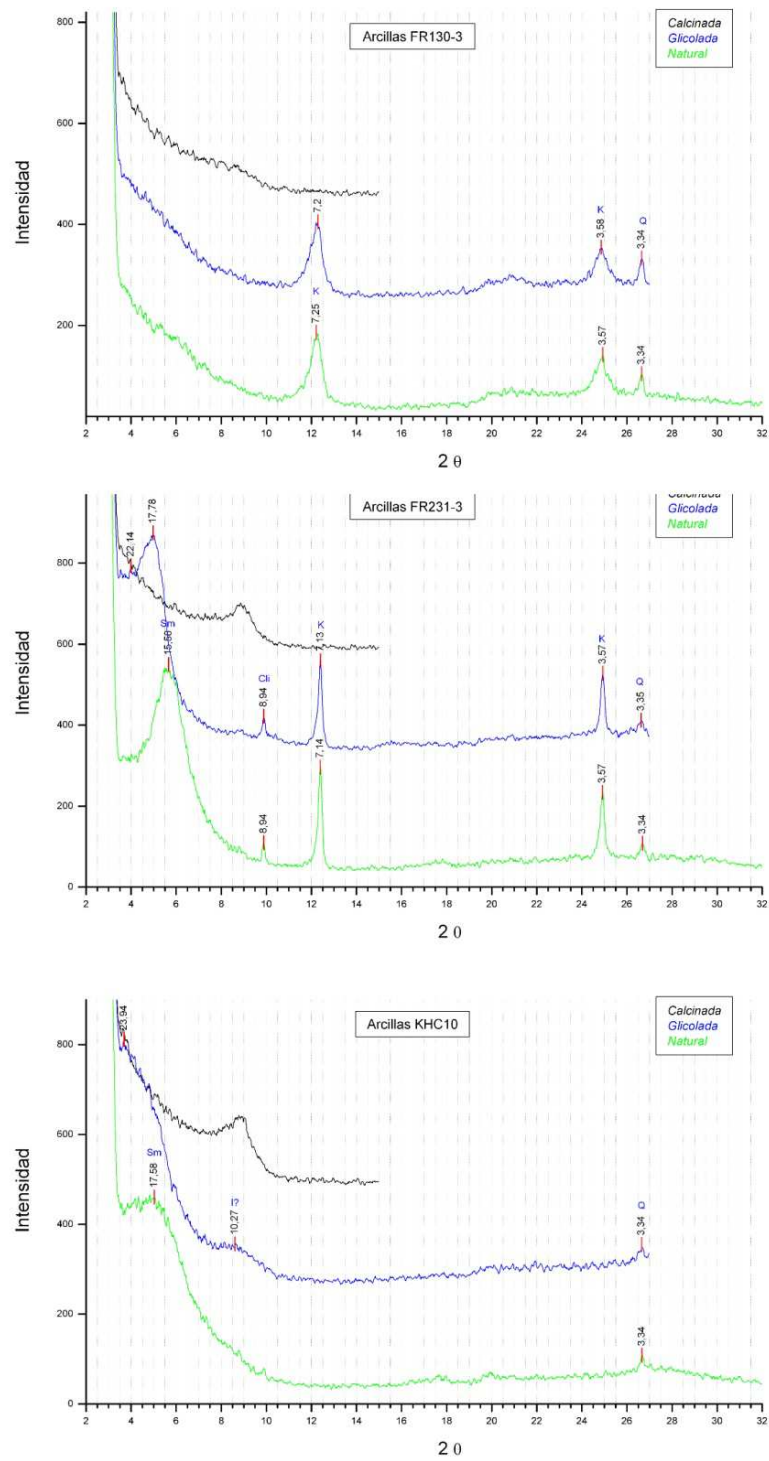


Fig. No.11. Difractometría de rayos X zona E.

Para la zona W el mineral arcilloso dominante del horizonte C corresponde a esmectitas, tanto sea originario de areniscas blancas como de sedimentos limo arcillosos, tal y como puede observarse en los difractogramas que se presentan a continuación.

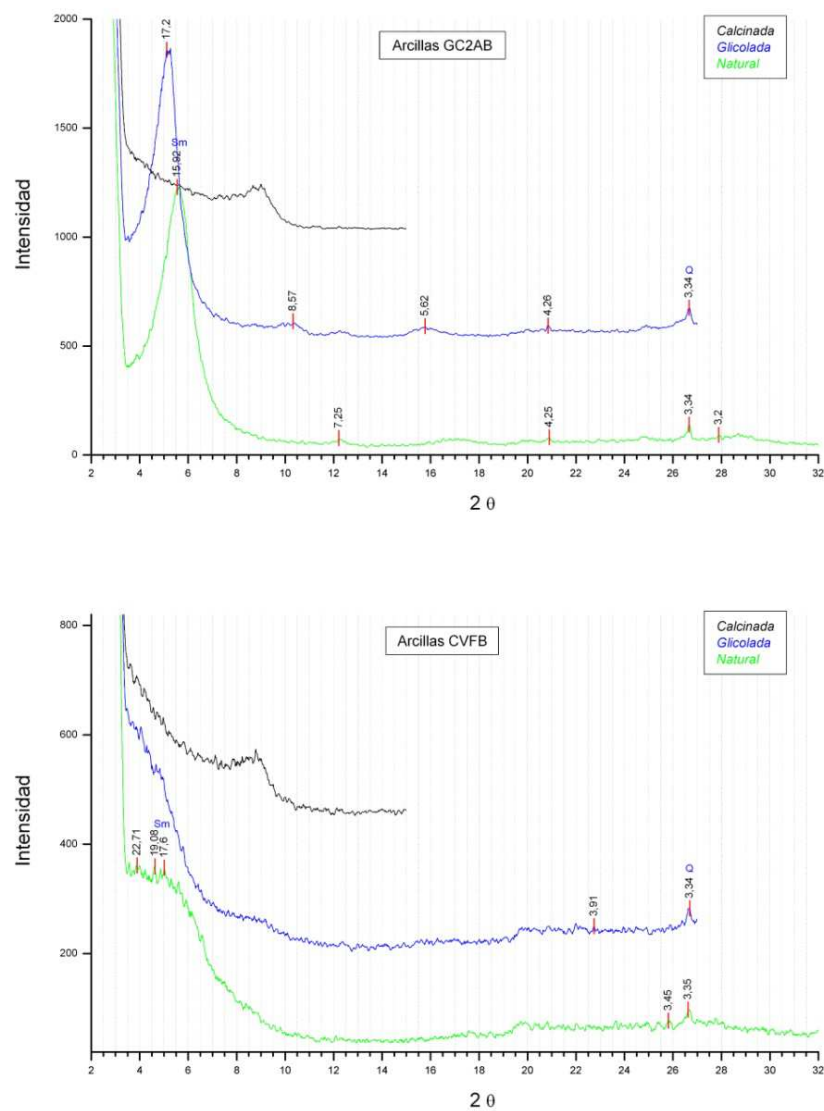


Fig. No.12. Difractometría de rayos X zona W.

Discusión

Los resultados obtenidos en el relevamiento de campo donde se encontraron areniscas blancas friables, areniscas ferrificadas grumosas con nódulos de óxido de hierro y nidos de véspidos, areniscas calcáreas silicificadas y areniscas anaranjadas silicificadas, concuerdan en gran medida con lo planteado en la carta 1/100.000 correspondiente a Molles ⁽⁵⁾.

Si bien las litologías dominantes son las nombradas anteriormente, en las zonas más elevadas del terreno (cotas mayores a 125 m) para la zona W, se reporta un material geológico al que no se hace referencia en los antecedentes utilizados ⁽¹⁾, ⁽⁵⁾ para la zona de estudio. Este material es una arenisca fina con matriz arcillo-limosa, de colores anaranjados, con concreciones de carbonato de calcio. Este material es de características similares a los descritos para un perfil presente cercano al área de estudio, quien lo reconoce como Fm. Fray Bentos ⁽⁵⁾. A su vez, estos sedimentos coinciden con las litologías reportadas para el nivel inferior de la alternancia rítmica del perfil tipo ⁽⁴⁾, quienes describen que las litologías presentes son areniscas finas, en partes visiblemente estratificada. Se describen cuatro facies para la Fm. Fray Bentos ⁽³⁾, donde una de ellas las define también como areniscas finas. Se indican ⁽⁴⁾ para la misma Fm. en el departamento de Montevideo, litologías descritas como areniscas de grano fino, bien seleccionadas, con cemento arcilloso y calcáreo, masivas, medianamente tenaces de color rosado pardo. Para la zona estudiada en este trabajo, se reportó ese mismo sedimento asociado a los horizontes C de las áreas fotointerpretadas con microrrelieve gilgai, así como fuera del área de estudio en un desmonte de camino sobre la ruta 4 (UTM 547184, 6343485, 130 m).

Para el resto de los materiales litológicos encontrados en la zona, si bien a campo muestran similitudes a lo reportado ⁽¹⁾, ⁽⁵⁾, al realizar la observación en las láminas delgadas de las

rocas, se observan algunas características que llaman la atención. Si bien a campo las litologías presentaban a ojo desnudo una buena selección, con composición cuarzosa en su mayoría, al observar las láminas delgadas estamos frente a litologías que son inmaduras desde el punto de vista textural y composicional. Todas las muestras observadas en lámina delgada comparten como características que presentan cuarzo policristalino y monocristalino, grandes cristales de feldespato que varían entre 50 y 300 micrones, clastos félsicos, recubrimiento de hematita en los granos, clastos de feldespato corroídos, hematita y goetita. Tomando como base la descripción de las láminas delgadas, es posible que estemos frente a la misma litología, que sufrió diferentes procesos diagenéticos posteriores a su depósito. A su vez la roca fuente de donde derivan los sedimentos que dan origen a estas litologías es cercana, ya que los clastos de feldespatos y litoclastos volcánicos son subangulosos, se presentan con tamaño de grano variable y poseen pobre selección. A su vez, en la lámina correspondiente a la arenisca ferrificada, también se observan algunos feldespatos, lo que sugeriría que el fenómeno de ferrificación no se dio en un ambiente tropical o la misma ocurrió posterior a su depositación, debido a que los feldespatos fácilmente se alteran a arcillas en condiciones tropicales ⁽³⁾.

Con respecto a la relación entre las litologías aflorantes y los horizontes C del suelo se observa un patrón diferencial para los diferentes sitios relevados. En el este de la zona de estudio, donde se encuentran ubicados los sitios 1 y 2, y la geología dominante son las litologías areniscosas tanto ferrificadas como sin ferrificar y las silicificadas, los horizontes C mantienen una relación con los mismos. Los suelos resultantes de estos materiales generadores oscilan entre 70 a más de 110 cm de profundidad, presentan como características una alta proporción de arena en su perfil, color pardo grisáceo en los

horizontes superiores, y pequeños clastos de material parental en casi todo el perfil. Al realizar los estudios de DRX en roca total para estos horizontes C, para la zona E mostró una predominancia de minerales como cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y calcita, con una proporción de arcilla muy escasa (1 – 5%) a escasa (5- 15%) , según las tablas utilizadas para el cálculo de empírico de arcilla planteadas por Poiré. Dentro de las arcillas de cada horizonte C para estos sitios, los difractogramas resultantes de la DRX muestran para esta zona aparición de caolinita como arcilla principal, y en menor proporción esmectitas, illitas y en un caso un mineral de la familia de las ceolitas denominado clinoptilolita.

Para el W del área de estudio, donde se fotointerpretó con microrrelieve gilgai, el material geológico que se encontró asociado a los mismos fueron los sedimentos de matriz arcillo limosa asociados a la Formación Fray Bentos. Esto no concuerda con la hipótesis planteada al inicio del trabajo donde se suponía que las zonas de vertisoles se correlacionaban con las areniscas sin ferrificar de la Fm. Asencio, dado que en un estudio realizado en el Cerro Vera ⁽²⁾, estas litologías presentaban esmectitas como mineral arcilloso dominante, lo cual sería una condición para la génesis de estos suelos. El perfil modal asociado a estas zonas presenta una secuencia A/Bt₁/Bt₂/C, con una profundidad de más de 116 cm. El horizonte C presenta las mismas características que el material geológico encontrado en el punto UTM 547184, 6343485. Para poder determinar si este suelo podía clasificarse como vertisol, se procedió a estimar la textura de cada horizonte por el método de estimación de tamaño de partículas minerales. Un suelo puede clasificarse como vertisol ⁽¹³⁾ si presenta más de 35% de arcilla en todo el solum. Los resultados arrojados por este análisis muestran que para el horizonte A el porcentaje de arcilla es de 22%, para el B₁ y B₂ 45 y 30% y para el C 42.5%. Esto sugiere que este suelo, en función de esta característica y viendo el resultado de este

análisis, para este caso en particular, no podría clasificarse como vertisol, según el criterio planteado anteriormente, aunque presente una morfología de microrrelieve.

Con respecto a los resultados obtenidos por los estudios de DRX en roca total para los horizontes C de la zona W del área de estudio, los resultados mostraron una predominancia de minerales como cuarzo, plagioclasa y calcita, aunque en menor porcentaje que las muestras correspondientes a los sitios antes descritos, con una proporción de arcilla media (15-30%) a muy escasa (1-5%) según las tablas utilizadas para el cálculo de empírico de arcilla planteadas por Poiré. Los minerales arcillosos dominantes para la zona W del área de estudio se componen principalmente de esmectitas.

Conclusiones

A partir de este trabajo puede concluirse que si bien las litologías relevadas a campo muestran diferencias, las láminas delgadas realizadas indican que presentan características composicionales y de distribución mineralógica similar, evidenciando procesos epigenéticos posteriores diferentes donde dominan los de ferrificación y silicificación. A su vez, se reporta un nuevo material geológico el cual se trata de una arenisca fina de matriz arcillo limosa con características similares a lo que se conoce como uno de los niveles de Fm. Fray Bentos. La misma ocupa áreas topográficas superiores a 125 m. y se asocia a los suelos que por fotointerpretación muestran microrrelieve gilgai, dejando de manifiesto que este es el material generador de los mismos y no las areniscas blancas friables del M. Yapeyú de la Fm. Asencio, tal y como se planteó en la hipótesis original de este trabajo. Las características de los suelos resultantes de los materiales generadores asociados a las areniscas ferrificadas, blancas y silicificadas son arenosos, de colores pardo grisáceo, con profundidades variables entre 70 y más de 100 cm, con una mineralogía dominante de los horizontes C compuesta

principalmente por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y proporciones de arcilla que van de muy escasa a escasa. Los minerales arcillosos dominantes de la fracción arcilla son caolinita y proporciones variables de esmectita, apareciendo también en un caso un pequeño pico de clinoptilolita y de illita. Por otro lado, donde el material generador es la arenisca fina con matriz arcillolimsa los suelos resultantes son oscuros, con alto contenido de arcilla comparado con los anteriores, con profundidades mayores a los 100 cm. La mineralogía dominante de estos horizontes C presentan en su composición cuarzo y plagioclasa, con una proporción de arcilla media, siendo los minerales arcillosos dominantes de la fracción arcilla de los todos los horizontes C en esta zona corresponden principalmente a esmectitas.

Bibliografía

- (1) Bossi, J, Ferrando, L. Carta Geológica del Uruguay a escala 1/500.000. 2001.
Montevideo. Geoeditores SRL.
- (2) Ford, I., Gancio, F. Asociación caolinita-montmorillonita en un paleosuelo del terciario inferior del Uruguay (Formación Asencio). Boletín de investigación nº12. Facultad de Agronomía. 1988. Montevideo.
- (3) Bossi, J. 1966. Geología del Uruguay. Montevideo. Departamento de Publicaciones. Universidad de la República. 464pp
- (4) Bossi, J, Navarro, R. Geología del Uruguay. Montevideo. 1988. Ed. Universidad de la República.
- (5) Ford, I. Carta geológica del Uruguay escala 1/100.000. Hoja k-19. Molles. Facultad de Agronomía, Dirección Nacional de Minería y Geología. 1990. Montevideo.
- (6) Genise, J F, Bellosi, E S , Verde, M, González, M G. Large ferruginized palaeorhizospheres from a Paleogene lateritic profile of Uruguay. Sed. Geo. 2011; 240 (3-4), 85-96.
- (7) Pazos, P, Tófaló, O R., González, M. La paelosuperficie Yapeyú: Significado estratigráfico y paleoambiental en la evolución del Cretácico Superior del Uruguay. In: Actas Segundo Congreso Uruguayo de Geología; 1998; Punta del Este. Montevideo: Sociedad Uruguaya de Geología. p. 59-63.
- (8) Alonso-Zarza, A M, Genise, J F , Verde, M. Sedimentology, diagenesis and ichnology of Cretaceous and Palaeogene calcretes and palustrine carbonates from Uruguay. Sed. Geo. 2011; 236(1-2), 45-61.

- (9) Perea, D, Soto, M, Montenegro, F, Corona, A. Nuevo hallazgo de restos de titanosaurios (Dinosauria. Sauropoda) en la Formación Mercedes (Cretácico tardío), Uruguay. *Ameghiniana* 46. 2009; 42R.
- (10) Ford, I., Gancio, F. Carta geológica del Uruguay escala 1/100.000. Hoja N-16. Algorta. Facultad de Agronomía, Dirección Nacional de Minería y Geología. 1990. Montevideo.
- (11) Goso, C.A., Perea, D. El Cretácico post-basáltico de la Cuenca Litoral del Río Uruguay: geología y paleontología. In: Veroslavski, G., Ubilla, M., Martínez, S. (Eds.). *Cuencas Sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales. Mesozoico*. Montevideo. D.I.R.A.C. 551.76 (899). 2003. p. 141-169.
- (12) Gisbert Blanquer, J, Ibáñez Asensio, S, Moreno Ramón, H. 2011. Vertisoles. Universidad Politécnica de Valencia. [En línea] 28 octubre 2018 <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12869/Vertisoles.pdf>
- (13) Durán, A; García Préchac, F. 2007. Suelos del Uruguay: origen, clasificación, manejo y conservación. V.1. Montevideo. Editorial Hemisferio Sur.
- (14) Ministerio de Ganadería y Agricultura-Ministerio de Defensa Nacional. Consorcio Brasileño Cruzeiro do Sul-Prospec-Geofoto-Natividade-Vasp. 1967. Relevamiento Aerofotográfico del Territorio Nacional a escala 1/20.000. Hoja K-19. Foto aérea 152-139. Montevideo.