



Número especial en homenaje al Prof. Jorge Bossi (1934-2020)

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

Caracterización de los materiales generadores de suelos agrícolas en la zona de Carlos Reyles, Durazno

Caracterização dos materiais parentais de solos agrícolas na área de Carlos Reyles, Durazno

Caggiano, R. ¹; Bossi, J. ^{1†}; Blanco, G. ²; Poiré, D. ³

¹Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Aguas, Montevideo, Uruguay

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

³Universidad Nacional de La Plata, Centro de Investigaciones Geológicas, La Plata, Buenos Aires, Argentina

Editor

Mario Pérez-Bidegain
Universidad de la República, Facultad de
Agronomía, Montevideo, Uruguay

Antonella Celio
Universidad de la República, Facultad de
Agronomía, Montevideo, Uruguay

Claudio Gaucher
Universidad de la República, Facultad de
Ciencias, Montevideo, Uruguay

Received 14 Jan 2021
Accepted 24 Aug 2021
Published 27 May 2022

Correspondence

Raquel Caggiano,
rcaggiano@fagro.edu.uy

Abstract

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 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 Bouyoucos 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 sections 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 parent material is a fine sandstone showing a silty-clayey matrix, which had not been reported in the area so far, associated with sandy levels of the Fray Bentos Formation. The C horizons show similar features to the sampled outcrops, both for the East and West of



Caggiano R, Bossi J, Blanco G, Poiré D. Caracterización de los materiales generadores de suelos agrícolas en la zona de Carlos Reyles, Durazno. Agrocienza Uruguay [Internet]. 2022 [cited dd mmm yyyy];26(NE1):e503. doi:10.31285/AGRO.26.503.

the study area. In the East, the resulting soil is sandy, grayish brown in color, and exhibits varying depths (70-100 cm), with a dominant mineralogy composed of quartz, plagioclase, potassium feldspar and little to very little clay, where the dominant clay mineral is the kaolinite. For the West zone, where the gilgai microrelief occurs, the resulting soils are deeper (>100 cm), dark, with a higher clay content with respect to the eastern area. The dominant mineralogy in the C-horizon is composed of quartz and plagioclase, with a medium proportion of clay. In the areas of these sites where the microrelief is not recognized, the mineralogy of C horizons is similar to those observed for the southern part of the West zone. The dominant clay minerals of the clay fraction of every C horizon in this area belong mainly to the smectite group.

Keywords: parent material, clay, microrelief, diagenesis

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 Bouyoucos 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) se realizaron láminas delgadas para su visualización en microscopio petrográfico. Estas indican que la composición y la 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, que no había sido reportada en la zona como material geológico, asociándosela a los niveles arenosos de la Formación 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 este, 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 oeste, 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 este. 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 sur de la zona oeste. Los minerales arcillosos dominantes de la fracción arcilla de todos los horizontes C en esta zona corresponden principalmente a esmectitas.

Palabras clave: material generador, arcillas, microrrelieve, diagénesis

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo determinar o material gerador de solos na área de Carlos Reyles, Durazno e sua relação com a geologia local. Foram realizados estudos geológicos e amostragem dos horizontes C em quatro setores. O tamanho das partículas minerais para os horizontes C foi estimado pelo método de Bouyoucos e Difração de Raios-X para quantificar a composição mineral e o tipo de argila mineral dominante. Para as litologias mais representativas (arenitos ferrificados, silicificados), foram confeccionadas lâminas delgadas para sua visualização em microscópio petrográfico. Estes indicam que a composição e distribuição dos minerais são semelhantes, com diferenças entre eles que foram afetadas por processos diagenéticos subsequentes. Em relação a uma das áreas que apresentava microrrelevo de Gilgai, o material corresponde a um arenito fino com matriz argilosa siltosa, que não havia sido reportado na área como material geológico, estando associado aos níveis de arenito de Formação Fray Bentos. Os demais horizontes C apresentaram características semelhantes às litologias de afloramento amostradas, tanto para as zonas Leste quanto para Oeste da área de estudo. Na zona Leste, os solos resultantes são arenosos, de cor castanho-acinzentada, com profundidades variáveis (70-100 cm), com uma mineralogia dominante composta por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico e proporções de argila que variam de muito escassa a escassa, onde o mineral de argila dominante é a caulinita. Para a zona Oeste, onde aparece o microrrelevo Gilgai, os solos resultantes são mais profundos (> 100 cm), mais escuros, com um alto teor de argila em comparação com os da zona Leste. A mineralogia dominante em C é composta por quartzo e plagioclásio, com proporção média de argila. Nas áreas desses locais onde o microrrelevo não é reconhecido, a mineralogia dos horizontes C é semelhante àquelas observadas para o Sul da zona Oeste. Os minerais de argila dominantes da fração argila de todos os horizontes C nesta zona correspondem principalmente esmectitas.

Palavras-chave: material gerador, argilas, microrrelevo, diagênese

1. Introducción

El estudio de los materiales parentales de suelos es de suma importancia para comprender la variabilidad existente de estos en 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 correlacionarlos 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 Reyles, Durazno, Uruguay. Dicha región se eligió por presentar como característica principal una alta distribución de zonas con microrrelieve gilgai (distinguidos por fotointerpretación), probablemente asociado a la presencia de vertisoles, que se cree que pueden ser originados por el Miembro Yapeyú de la formación Asencio (comunicación personal con J. Bossi; no referenciado).

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 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 distinguible por fotointerpretación en foto aérea son las areniscas blancas y friables del Miembro Yapeyú de la Formación Asencio; las zonas donde no aparece el microrrelieve gilgai están relacionadas a las corazas de ferrificación del Miembro del Palacio de la Formación Asencio y de la Formación Mercedes, lo cual supone que los suelos presentes serán diferentes a los anteriores.

Las areniscas de Asencio fueron descritas como areniscas de titanosaurio⁽²⁾. Estas areniscas de Asencio⁽³⁾ se las describe como areniscas de grano fino con cantidades muy variables de cemento y granos rodados y pulidos. Se les asigna rango de Formación⁽⁴⁾ con la siguiente descripción litológica: areniscas de grano fino, color rosado pálido y algo de cemento con base en illita y CaCO₃; grano bien seleccionado y con buen redondeamiento. La composición mineralógica corresponde a arenas 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 Formación

Mercedes (arenas gruesas con niveles de cantos), totalmente gradual⁽³⁾. Se incluyen en el Grupo Paysandú junto con Formación Mercedes y Formación Guichón (Cretácico superior); la peculiaridad que presenta dicha formación es su sector cuspidal que sufrió fenómenos diagenéticos de silicificación y ferrificación⁽⁵⁾.

Bossi y Navarro⁽⁵⁾ 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⁽⁴⁾ mientras que el miembro del Palacio corresponde a las areniscas intensamente ferrificadas, formando corazas y carapachos⁽⁵⁾.

Estudiando el perfil del Cerro Vera⁽²⁾, autores anteriores determinaron (para ese lugar) que las corazas de ferrificación, las areniscas moteadas subyacentes y las decoloradas inferiores poseen un origen asociado a 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).

La Formación Asencio⁽⁶⁾ fue descrita 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. Son medianamente consolidadas, 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 Formación Palmitas, siendo las litologías descritas como conglomerados cuyos clastos están constituidos por formas concrecionales endurecidas de óxidos de hierro (hematita), formados sobre un material areno-arcilloso, cuarcítico. El autor indica que es posible que la génesis de estas formas concreciónales 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 nidos de insectos fósiles⁽⁵⁾. Otra definición de la Formación Asencio⁽⁷⁾, la indica como una secuencia silicoclástica delgada (5-15 m), oscura, roja y endurecida compuesta por cuarzoarenitas, 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⁽⁵⁾. 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⁽⁸⁾. Localmente y en la sección superior, también se observan calizas blancas y rocas silíceas⁽⁹⁾. La Formación Mercedes tiene huevos y huesos de saurópodos⁽¹⁰⁾ y se considera de edad cretácico tardío.

Otros autores⁽¹¹⁾ proponen la subdivisión de la Formación 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, en el 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, los autores plantean que los clastos feldespáticos presentan una incipiente alteración. El tipo de cemento es calcáreo. Para el Miembro del Chileno, los autores plantean 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 que 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 en la cuenca, con procesos de ferrificación, calcretización y silicificación como responsables de intensas transformaciones de esos depósitos silicoclásticos⁽¹²⁾.

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⁽¹²⁾.

Para 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 la desaparición 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⁽¹²⁾. Estos autores proponen 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, se plantea que los clastos feldespáticos presentan una incipiente alteración. El tipo de cemento es calcáreo.

Para el Miembro del Chileno, se 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⁽¹²⁾. El esqueleto está constituido 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⁽¹²⁾ que los depósitos de la Fm. Mercedes pueden haber sido las sedimentitas que más modificaciones epigenéticas han sufrido, con procesos de ferrificación, calcetización 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, 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 viable manejar que las areniscas descritas como Miembro Yapeyú⁽⁵⁾ son el posible material parental, dado que dominan en esta arcillas esmectíticas según los antecedentes de Ford y Gancio⁽²⁾.

Por otra parte, los Vertisoles son suelos del orden melánico, que presentan como características contacto lítico a más de 50 cm, contenido de arcilla igual o mayor a 35% en todo el perfil⁽¹³⁾. Según estos autores algunos de las propiedades siempre

presentes son grietas de desecamiento en algún periodo del año y caras de deslizamiento; dentro de otras propiedades destacan el autogranulado, el microrrelieve gilgai y evidencias de automezclado.

2. 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 5, tanto para el relevamiento geológico como edafológico. En la figura 1 se muestra la ubicación de los mismos.

Para dicha área de relevamiento se realizó muestreo de horizontes C con taladro holandés (extensible a 3 m) en forma de transectas cada 40 m 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 Bouyoucos modificado en el laboratorio del Departamento 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 (DRX), 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 Figura 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

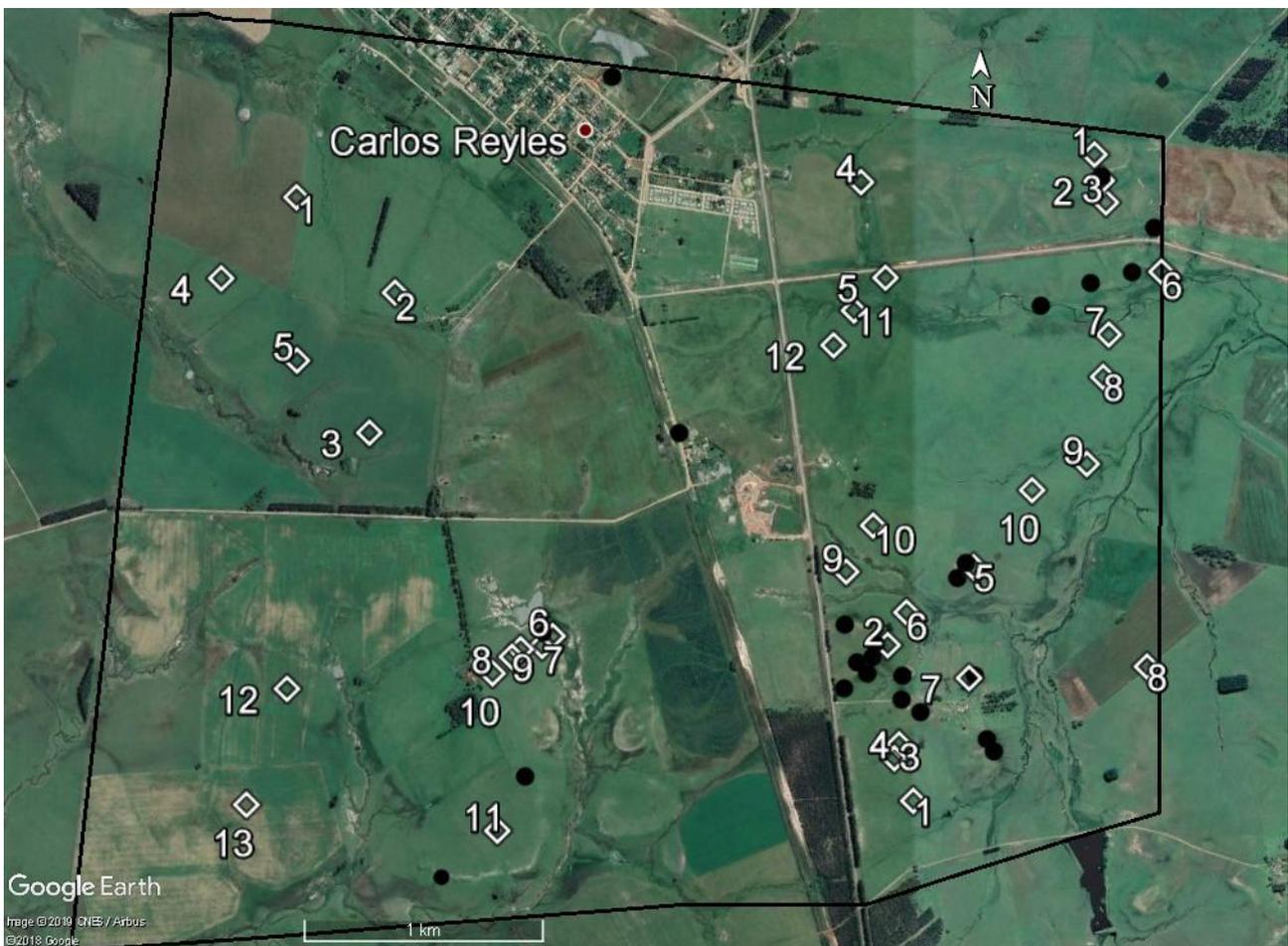
Plus, del laboratorio del PDU Geología y Recursos Minerales en la sede Treinta y Tres del CURE.

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

Tabla 1. Ubicación de las muestras procesadas en lámina delgada

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

Figura 1: Área de relevamiento. Referencias: los puntos en negro corresponden a lugares donde se realizó el muestreo geológico; los rombos numerados, donde se realizaron perfiles de suelo y muestreo de horizonte C



3. Resultados

3.1 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 en la base sin ferrificar, pasando de forma gradual a areniscas ferrificadas en su techo (UTM 551349; 6341781- UTM 551344; 6341784),

para la zona norte (Figura 2A). 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 (Figura 2B, 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 (Figura 2D, E, F).

Figura 2A. 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 gruesas con areniscas ferrificadas, detalle contacto areniscas gruesas con areniscas sin ferrificar

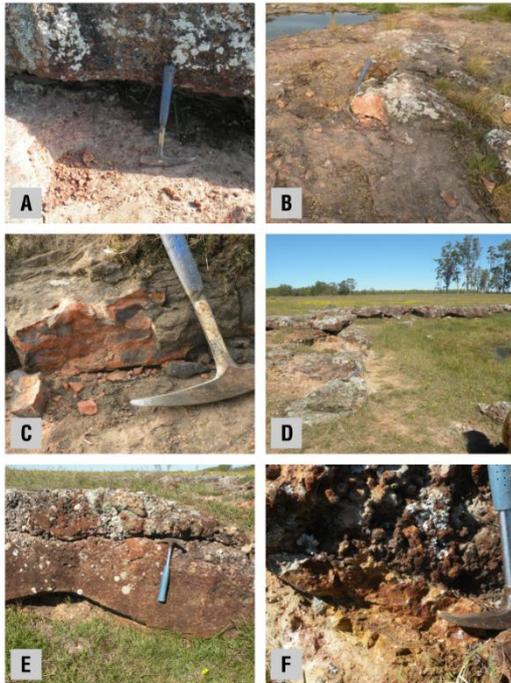
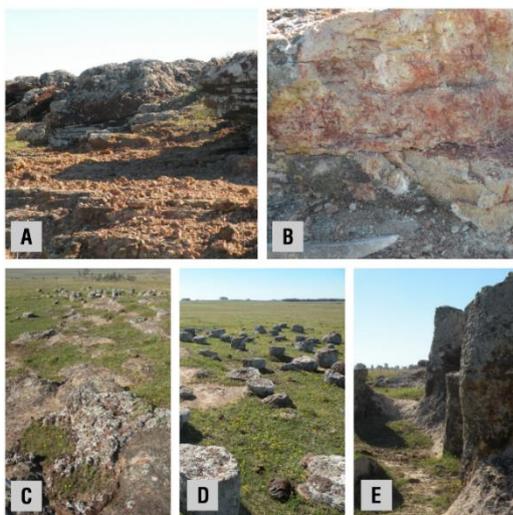


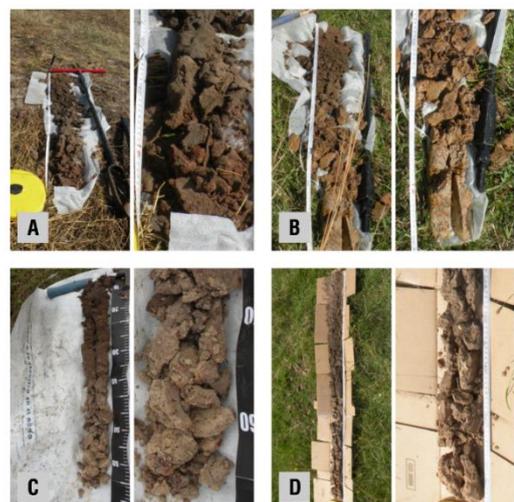
Figura 3A y B. Areniscas ferrificadas con glóbulos y nódulos de óxido de hierro en contacto con areniscas sin ferrificar. C, D y E. Restos de columnas aisladas asociadas al afloramiento



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) (Figura 3). 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 Ap/AB/Bt₁/Bt₂/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. (Figura 4A). Asociado a las litologías sin ferrificar como material parental, se encuentran suelos con la siguiente secuencia de horizontes Ap/A/Bt₁/Bt₂/BC/C, que 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 CaCO₃ en los mismos (Figura 4B, C). Con respecto a la zona asociada a las litologías descritas como areniscas silicificadas, fueron relevados suelos con la secuencia de horizontes A₁/A₂/AB/Bt₁/Bt₂/BC/C/R. El rasgo a destacar en el mismo es 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 (Figura 4D).

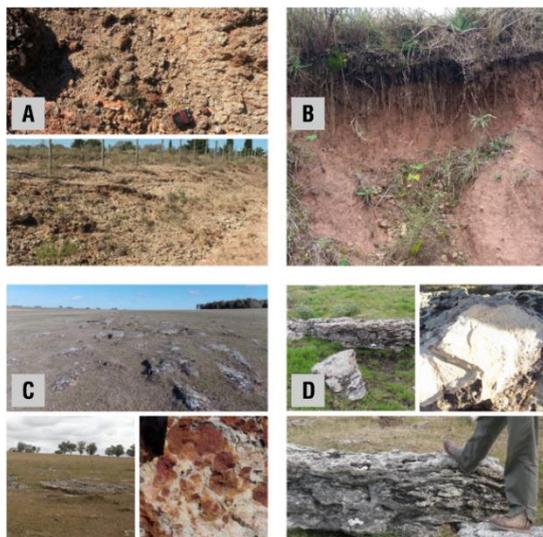
Figura 4A. perfil modal con horizonte C arenisca ferrificada; B y C. Perfil modal con horizonte C arenisca sin ferrificar; D. Perfil modal con horizonte C arenisca silicificada



3.2 Relevamiento de campo de la zona oeste del área de estudio

La zona oeste 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 (Figura 5A). Por otro lado, en la zona NW se observa por 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 una matriz limo arcillosa, de colores anaranjados con concreciones de CaCO₃. Fuera del área de estudio, sobre la Ruta nacional 4, en las coordenadas UTM 547184; 6343485, 130 m, se observa un perfil compuesto por la misma arenisca con matriz limo arcillosa, de color anaranjado, con abundantes concreciones de CaCO₃ (Figura 5B).

Figura 5A. 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



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) (Figura 5C). 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, compuestas por arena media a gruesa, de selección regular, silicificada en estratos. Hay presencia de calcedonia y CaCO₃ (Figura 5D).

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 dobles 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/Bt₁/Bt₂/C. La principal característica 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 (Figura 6A).

Figura 6A. Perfil modal con horizonte C sedimento limoarcilloso; B. Perfil modal con horizonte C arenisca sin ferrificar

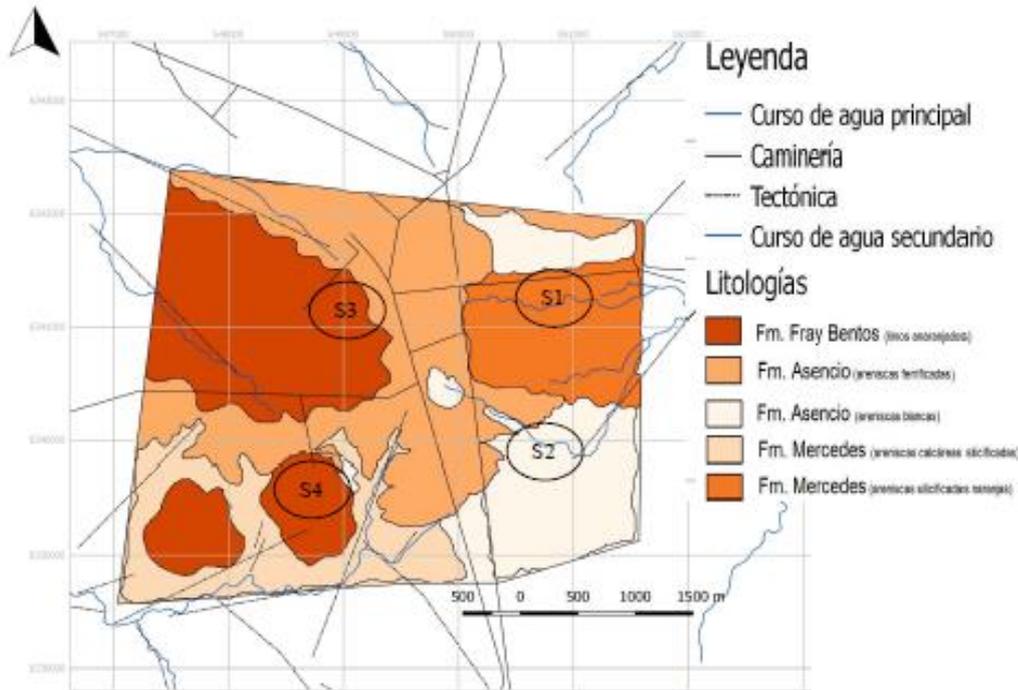


En las zonas donde no se indicaron transectas, el perfil de suelo presentó la secuencia de horizontes A/AB/Bt₁/Bt₂/C. La principal característica del

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 (Figura 6B).

En un mapa de la zona (figura 7), se presentan los principales materiales parentales reconocidos en el relevamiento de campo.

Figura 7. Mapa litológico de los materiales parentales



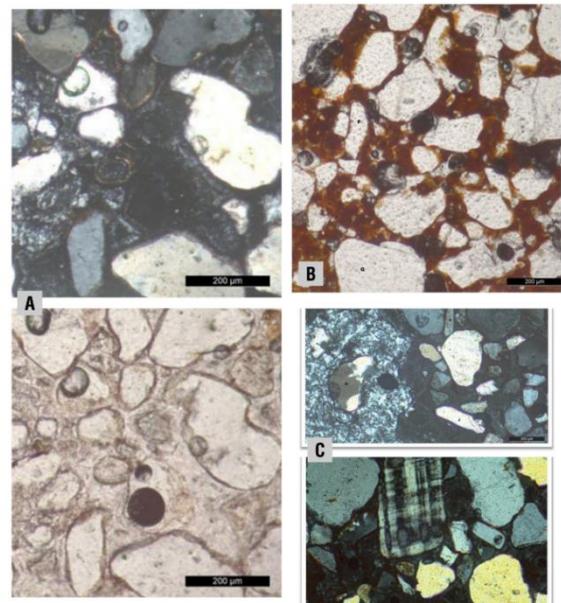
3.3 Láminas delgadas

En la lámina 1 (Figura 8A) se observan clastos de feldespato potásico y plagioclasa con cemento de hematita alrededor. Es una roca pobremente seleccionada, ya que se observan granos de diferente tamaño. Se observan también granos de cuarzo policristalino, que puede provenir del basamento cristalino. En la fracción más fina hay mayor cantidad de feldespato, que varía en clastos que van desde 300 μm a 50 μm . Aparece también turmalina como accesorio. Se determina con base en las láminas que la litología es inmadura tanto textural como composicionalmente.

La lámina 2 (Figura 8B), al igual que la anterior, presenta cristales de cuarzo policristalino, además de hematita y goethita. Los clastos de feldespato presentan golfos de corrosión. La composición es principalmente cuarzosa. Presenta también cutanes de hierro. La lámina 3 presenta grumos con goethita, 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. Aparecen

también clastos esporádicos de origen félsico como en las muestras anteriores.

Figura 8. Microfotografías A. Lámina delgada 1; B. Lámina delgada 2 y 3; C. lámina delgada 4



En la lámina 4 (Figura 8C) 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 escasos minerales arcillosos.

3.4 Estimación de la granulometría de los principales horizontes C

Zona este

Para la estimación del tamaño de partícula se eligieron los horizontes C más representativos para los distintos sitios, obteniendo los resultados que se plantean en la Tabla 2.

Tabla 2. Estimación de tamaño de partícula área norte de la zona este

	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

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

Tabla 3. Estimación de tamaño de partícula área S de la zona E

	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

Zona oeste

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 las areniscas sin ferrificar, se repite el patrón textural visto para los sitios anteriores.

Tabla 4. Estimación de tamaño de partícula de la zona W

	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	AcAr
2	61,9	6,4	31,7	100,0	AcAr
8	72,4	0,9	26,7	100,0	FACAr

3.5 Difracción de rayos X

En los horizontes C muestreados, se procedió a realizarles el análisis de roca total por DRX, para conocer la composición mineralógica de los mismos. Los resultados que se expresan 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 laboratorio. (Tabla 5)

Los datos obtenidos para los sitios de estudio y los 12 puntos de muestreo, elegidos como más representativos del área ya que abarcaban los horizontes C de todas las zonas, presentan un comportamiento homogéneo desde el punto de vista composicional. 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 empíricas estimativas de % de arcilla, oscila entre el rango 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 este del área de estudio se observa 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, que es un mineral silicatado de la familia de las ceolitas. (Figura 9 en material suplementario)

Tabla 5. Difractometría de rayos X zona W

Muestra punto*	Proporción (%)											
	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
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	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 grises claro a la zona W.

Para la zona oeste 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 (Figura 10 del material suplementario).

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 en la carta 1/100.000 correspondiente a Molles⁽⁶⁾.

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 para la zona de estudio⁽¹⁾⁽⁶⁾. Este material es una arenisca fina con matriz arcillo-limosa, de colores anaranjados, con concreciones de carbonato de calcio, con características similares a los descritos para un perfil cercano al área de estudio, que se interpreta como Formación Fray Bentos⁽⁶⁾. A su vez, estas rocas sedimentarias coinciden con las litologías reportadas para el nivel inferior de la alternancia rítmica del perfil tipo⁽⁵⁾, quienes describen que las litologías presentes son areniscas finas, en parte visiblemente estratificada. Se describen cuatro facies para la Formación Fray Bentos⁽⁴⁾, donde una de ellas las define también como areniscas finas. Se indican⁽⁵⁾ 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 esa misma litología asociada 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 las litologías encontradas en la zona, si bien a campo muestran similitudes con lo reportado⁽¹⁾⁽⁶⁾, al realizar la observación en láminas delgadas de las rocas se observan algunas características que llaman la atención. Si bien las litologías presentaban a ojo desnudo aspecto de buena selección, con composición cuarzosa en su mayoría, al observar las láminas delgadas estamos frente a litologías que son inmaduras, tanto desde el punto de vista textural como 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 μm , clastos 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. 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

deposición, debido a que los feldespatos fácilmente se alteran a arcillas en condiciones tropicales⁽⁴⁾.

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 areniscas tanto ferrificadas como silicificadas, los horizontes C mantienen una relación con los mismos. Los suelos resultantes de estos materiales generadores oscilan entre 70 y 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. Los análisis de DRX en roca total para estos horizontes C para la zona este mostraron 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. Dentro de las arcillas de cada horizonte C para estos sitios, los difractogramas resultantes de la DRX muestran para esta zona 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 oeste del área de estudio, donde se fotointerpretó con microrrelieve gilgai, el material geológico que se encontró asociado a los mismos fueron areniscas arcillo limosas asociadas 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 Formación Asencio, dado que en un estudio realizado en el Cerro Vera⁽²⁾ estas litologías presentaban esmectitas como mineral arcilloso dominante, lo que sería una condición para la génesis de estos suelos. El perfil modal asociado a estas zonas presenta una secuencia A/B_{t1}/B_{t2}/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 granulometría. Un suelo puede clasificarse como vertisol⁽¹⁴⁾ 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 B_{t1} y B_{t2} 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 microrelieve.

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, estos 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. Los minerales arcillosos dominantes para la zona W del área de estudio se componen principalmente de esmectitas.

5. Conclusiones

A partir de este trabajo puede concluirse que, si bien las litologías relevadas muestran diferencias aparentes a ojo desnudo, las láminas delgadas realizadas indican que presentan características composicionales y de distribución mineralógica similares, evidenciando procesos epigenéticos posteriores diferentes donde dominan los de ferrificación y silicificación. A su vez, se reporta un nuevo material parental para la zona de estudio, el cual se trata de una arenisca fina de matriz arcillo limosa con características similares a uno de los niveles de Formación Fray Bentos. La misma ocupa cotas 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 Miembro Yapeyú de la Formación Asencio, tal y como se planteó en la hipótesis original de este trabajo. Los suelos resultantes de los materiales generadores asociados a las areniscas ferrificadas, blancas y silicificadas son arenosos, de colores pardo-grisáceos, 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 pequeñas cantidades de clinoptilolita y de illita. Por otro lado, donde el material generador es la arenisca fina con matriz arcillo-limosa 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 presenta en su composición cuarzo y plagioclasa, con una proporción de arcilla media, siendo que los minerales arcillosos dominantes de la fracción arcilla de todos los horizontes C en esta zona corresponden principalmente a esmectitas.

Agradecimientos

Al Laboratorio del Dpto. de Suelos y Aguas de la Facultad de Agronomía; el Polo de Desarrollo Universitario (PDU) Geología y Recursos Minerales del Cure Treinta y Tres, y el Centro de Investigaciones Geológicas de La Plata por su disposición en el procesamiento de las muestras. Al Lic. Germán Kürten, quien colaboró en el análisis y el trabajo de laboratorio de DRX. A la Ing. Agr. Antonella Celio, al Br. Martín Francia y al Br. Sebastián Mármol, por su colaboración en las salidas de campo. Al Ing. Agr. Jorge Hernández por sus sugerencias en la parte de descripción de suelos.

Declaración de contribución de los autores

GB contribuyó en la realización y la interpretación de las láminas delgadas, así como en la discusión de este trabajo. DP contribuyó en el análisis de datos mediante la técnica de DRX. RC escribió el documento, realizó la revisión bibliográfica, y el análisis y la discusión de los resultados obtenidos.

Referencias

1. Bossi J, Ferrando L. Carta Geológica del Uruguay a escala 1/500.000. Montevideo: Geoeditores; 2001. 1 CD-ROM.
2. Ford I, Gancio F. Asociación caolinita-montmorillonita en un paleosuelo del terciario inferior del Uruguay (Formación Asencio). Boletín de investigación (Facultad de Agronomía). 1988;(12):12p.
3. Caorsi J, Goñi J. Geología Uruguaya. Boletín del Instituto Geológico del Uruguay. 1958;(37):75p.
4. Bossi J. Geología del Uruguay. Montevideo: Universidad de la República; 1966. 464p.

5. Bossi J, Navarro R. Geología del Uruguay. Montevideo: Universidad de la República; 1988. 2v.
6. Ford I. Carta geológica del Uruguay escala 1/100.000: hoja K-19 Molles. Montevideo: Facultad de Agronomía; 1990. 1 mapa.
7. Genise JF, Bellosi ES, Verde M, González MG. Large ferruginized palaeorhizospheres from a Paleogene lateritic profile of Uruguay. *Sediment Geol.* 2011;240(3-4):85-96.
8. Pazos P, Tófaló OR, González M. La paelosuperficie Yapeyú: significado estratigráfico y paleoambiental en la evolución del Cretácico Superior del Uruguay. In: Segundo Congreso Uruguayo de Geología. Punta del Este: Sociedad Uruguaya de Geología; 1998. p. 59-63.
9. Alonso-Zarza AM, Genise JF, Verde M. Sedimentology, diagenesis and ichnology of Cretaceous and Palaeogene calcretes and palustrine carbonates from Uruguay. *Sediment Geol.* 2011;236(1-2):45-61.
10. Perea D, Soto M, Montenegro F, Corona A. Nuevo hallazgo de restos de titanosaurios (Dinosauria. Sauropoda) en la Formación Mercedes (Cretácico tardío), Uruguay. *Ameghiniana.* 2009;46:42R.
11. Ford I, Gancio F. Carta geológica del Uruguay escala 1/100.000: hoja N-16 Algorta. Montevideo: Facultad de Agronomía; 1990. 1 mapa.
12. Goso CA, Perea D. El Cretácico post-basáltico de la Cuenca Litoral del Río Uruguay: geología y paleontología. In: Veroslavski G, Ubilla M, Martínez S, editors. Cuencas Sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales: Mesozoico. Montevideo: Universidad de la República; 2003. p. 141-69.
13. Gisbert Blanquer J, Ibáñez Asensio S, Moreno Ramón H. Vertisoles [Internet]. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia; 2011 [cited 2021 Sep 20]. 6p. Available from: <https://bit.ly/3Axi4YA>.
14. Durán A, García Préchac F. Suelos del Uruguay: origen, clasificación, manejo y conservación. Vol.1. Montevideo: Editorial Hemisferio Sur; 2007. 334p.

Supplementary material

Figura 9. Difractometría de rayos X zona E

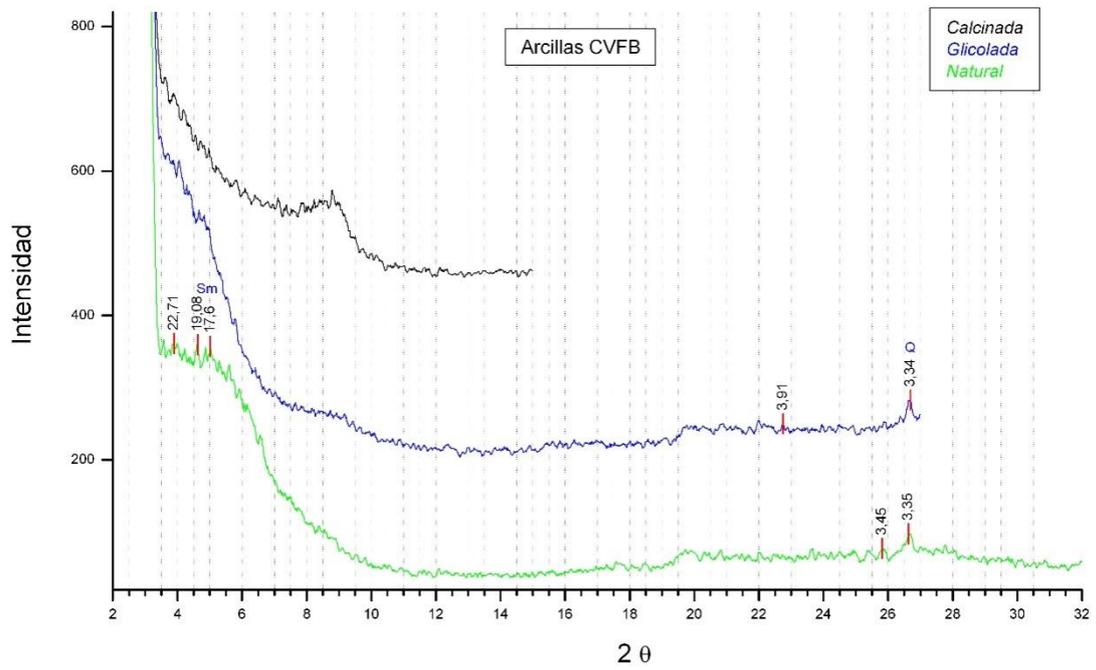
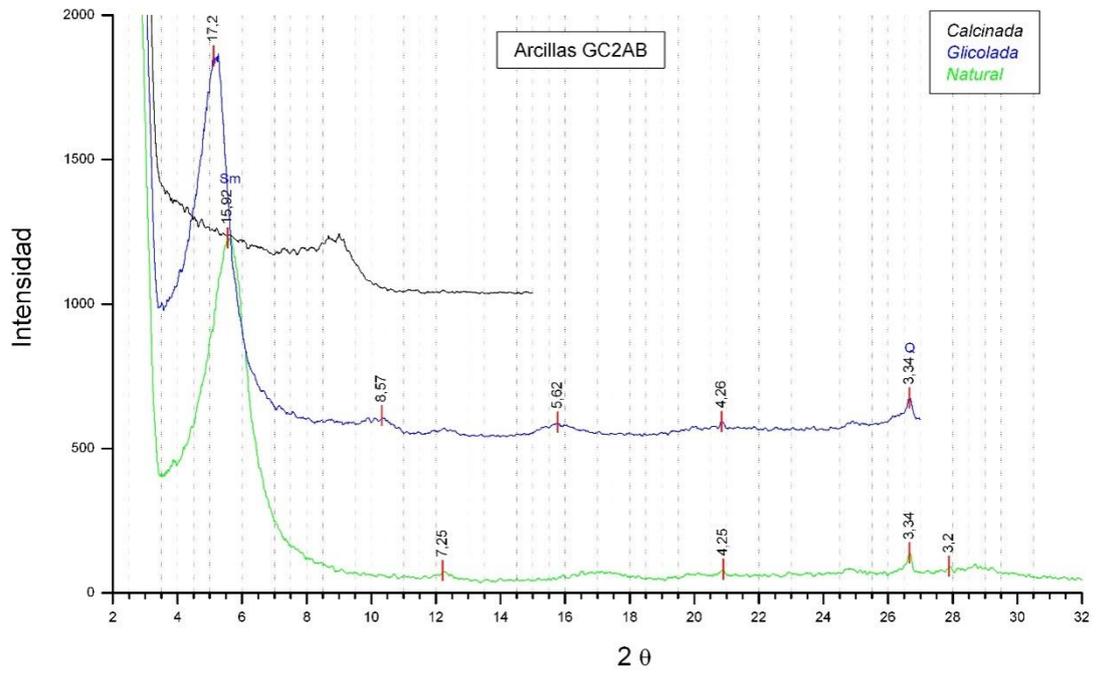


Figura 10. Difractometría de rayos X zona W

