



ANALISIS PALEOAMBIENTAL DE SECUENCIAS CUATERNARIAS EN EL TRAMO MEDIO DEL ARROYO SANTA CATALINA, CÓRDOBA, ARGENTINA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FISICO-QUIMICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Tesis de Licenciatura en Geología

Franco Danilo Pascualone

Director: Dr. Hugo F. G. Schiavo

Codirector: Dra. María del T. Grumelli

2019

ÍNDICE

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN		1
<hr/>		
1.1	ANTECEDENTES	1
1.2	HIPÓTESIS	5
1.3	OBJETIVOS	6
1.3.1	Objetivo general	6
1.3.2	Objetivos específicos	6
CAPITULO 2. MATERIALES		
<hr/>		
2.1	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	7
2.2	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA	7
2.2.1	ESTRATIGRAFÍA	8
2.2.2	ESTRUCTURAS	11
2.2.3	GEOMORFOLOGÍA	14
2.2.4	HIDROLOGÍA	17
2.2.5	USO ACTUAL DEL SUELO	19
2.3	VEGETACIÓN	20
CAPITULO 3. MÉTODOS		
<hr/>		
3.1	TAREAS PREVIAS DE GABINETE	22
3.2	TAREAS DE CAMPO	22
3.3	TAREAS DE LABORATORIO	23
3.4	TAREAS DE GABINETE	24
CAPITULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES		
<hr/>		
4.1	CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	25
	Régimen de temperatura	25
	Régimen de lluvias	25
	Balance hídrico seriado	26
	Índice de sequía	27
	Vientos	28

4.2	PERFIL ESTRATIGRÁFICO	29
4.2.1	DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLÓGICA	30
4.2.2	DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA DE ARENAS MUY FINAS	34
4.2.3	PARAMETROS ESTADÍSTICOS SEDIMENTOLÓGICOS	40
4.2.4	DESCRIPCION MICROMORFOLÓGICA	55
4.3	CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA	60

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

62

CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA

65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	41
Tabla 2.	43
Tabla 3.	45
Tabla 4.	46
Tabla 5.	48
Tabla 6.	50
Tabla 7.	51
Tabla 8.	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio.	7
Figura 2. Cuadro estratigráfico regional.	11
Figura 3. Mapa de estructuras regionales.	13
Figura 4. Actividad agrícola del área.	19
Figura 5. Actividad ganadera desarrollada en la zona.	20
Figura 6. Vegetación del área.	21
Figura 7. Vegetación del área.	21
Figura 8. Distribución de la temperatura media mensual.	25
Figura 9. Curva cronológica anual de precipitaciones.	26
Figura 10. Balance hidrológico seriado.	27
Figura 11. Curva de distribución de excesos hídricos.	28

Figura 12. Rosa de los vientos medios anuales.	28
Figura 13. Perfil estudiado.	29
Figura 14. Ubicación del perfil.	29
Figura 15. Perfil estratigráfico del área.	30
Figura 16. Depósito 1 (D1) y Depósito 2 (D2).	31
Figura 17. Depósito 2 (D2).	31
Figura 18. Depósito 1, 2 y 3 (D1, D2 y D3 respectivamente).	31
Figura 19. Depósito 3 y 4 (D3 y D4 respectivamente) con paleocanales efímeros (Ch1 y Ch2).	33
Figura 20. Depósito 4 (D4) con desarrollo de paleocanal efímero (Ch3).	33
Figura 21. Límites entre los depósitos 5, 6 y el paleosuelo (D5, D6 y P respectivamente).	33
Figura 22. Suelo actual.	34
Figura 23. Mineralogía del depósito 1.	35
Figura 24. Mineralogía del depósito 2.	35
Figura 25. Mineralogía del depósito 3.	36
Figura 26. Mineralogía del paleocanal efímero del depósito 3.	37
Figura 27. Mineralogía del depósito 4.	37
Figura 28. Mineralogía del paleocanal efímero del depósito 4.	38
Figura 29. Mineralogía del paleosuelo.	39
Figura 30. Mineralogía del depósito 5.	39
Figura 31. Curva de distribución de partículas Φ .	42
Figura 32. Curva de frecuencias acumuladas Φ .	42
Figura 33. Curva de frecuencias acumuladas μm .	42
Figura 34. Curva de distribución de partículas Φ .	43
Figura 35. Curva de frecuencias acumuladas Φ .	44
Figura 36. Curva de frecuencias acumuladas μm .	44
Figura 37. Curva de distribución de partículas Φ .	45
Figura 38. Curva de frecuencias acumuladas Φ .	45
Figura 39. Curva de frecuencias acumuladas μm .	46
Figura 40. Curva de distribución de partículas Φ .	47
Figura 41. Curva de frecuencias acumuladas Φ .	47
Figura 42. Curva de frecuencias acumuladas μm .	47
Figura 43. Curva de distribución de partículas Φ .	48
Figura 44. Curva de frecuencias acumuladas Φ .	49
Figura 45. Curva de frecuencias acumuladas μm .	49
Figura 46. Curva de distribución de partículas Φ .	50

Figura 47. Curva de frecuencias acumuladas Φ .	50
Figura 48. Curva de frecuencias acumuladas μm .	51
Figura 49. Curva de distribución de partículas Φ .	52
Figura 50. Curva de frecuencias acumuladas Φ .	52
Figura 51. Curva de frecuencias acumuladas μm .	52
Figura 52. Curva de distribución de partículas Φ .	53
Figura 53. Curva de frecuencias acumuladas Φ .	54
Figura 54. Curva de frecuencias acumuladas μm .	54
Figura 55. Porosidad característica del paleosuelo 1.	56
Figura 56. Relleno suelto discontinuo del paleosuelo 1.	56
Figura 57. Nódulos típicos del paleosuelo 1.	56
Figura 58. Microestructura del paleosuelo 2.	57
Figura 59. Cavidades del paleosuelo 2.	57
Figura 60. Relleno suelto discontinuo del paleosuelo 2.	58
Figura 61. Canales y cavidades del paleosuelo 3.	59
Figura 62. Relleno suelto discontinuo del paleosuelo 3.	59
Figura 63. Nódulos típicos del paleosuelo 3.	59

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

I.1. ANTECEDENTES

En la Argentina existe conciencia de la importancia que tienen los suelos y su inventariado para su conservación, investigación y desarrollo en general desde fines de la década del 40, fecha en la cual comienzan las tareas de reconocimiento y clasificación de los mismos. Sin embargo, su verdadero desarrollo se produce a partir de 1964 con la puesta en marcha, por parte del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), del inventario de los suelos de la región pampeana. Es a través de esa decisión que se vuelcan los recursos necesarios y se procede a la formación de un importante conjunto de especialistas que hasta ese momento el país no disponía. El accionar de ese plan y la dispersión de algunos técnicos por él formados hacia otros organismos de investigación y universidades, provoca una notable concientización que se materializa a través de una gran cantidad de trabajos. Es así que en la década del 70 y 80 se cubren importantes superficies de la llanura chaco-pampeana, la Mesopotamia, las provincias de Chaco, San Luis y Norpatagónicas, la región del NOA y Cuyo donde el nivel de detalle está en relación con los objetivos de uso de la tierra (Iñiguez y Scoppa 1970, 1971, 1974) y Vargas Gil et al. (1972). La región Pampeana ha sido estudiada por autores como Piñeiro y Panigatti, (1972), Morras y Delaune (1981 y 1985), Panigati et al. (1983) en Santa Fe y Vargas Gil (1983) en la Puna Argentina.

En la región pampeana del sur de Córdoba, los estudios realizados por De León et al. (1976), Cantero et al. (1981) aportan los primeros conocimientos de las principales asociaciones de suelos. Becker (1987) abordó la génesis de las series Spernanzoni y Rodeo Viejo, fundamentalmente en lo relativo a la evolución de la materia mineral. Schiavo (1991) estudió una transecta de suelos representativa de la llanura eólica al sur oeste de la ciudad de Río Cuarto. Posteriormente se publican varios trabajos vinculados a los Hapludoles y a la génesis y evolución de los horizontes cámbicos (Cantú y Becker, 1991; Bernardo et al. 1991; Cantú et al. 1996, Becker et al. 1996 y 1997). A su vez, Grumelli et al. (2010a, 2012) realizaron estudios relacionados a los óxidos de hierro, sus propiedades y naturaleza, que permiten establecer las condiciones ambientales de formación de suelos.

Otras investigaciones efectuadas en la región a escala de detalle y semi detalle que están referidas a diversos aspectos geológicos, entre los que se incluyen la relación suelo/paisaje, son las de Cantú (1998), Schiavo (2003), Becker (2006), Cantú et al. (2006a), Grumelli (2006, 2010), Rodríguez (2015, 2016), entre otros. Sanabria et al. (2014) presentan una síntesis muy importante del avance de los estudios de los suelos

de la provincia de Córdoba en temáticas referidas a la génesis de los suelos, considerándose aspectos tales como materiales parentales, mineralogía, suelos enterrados y paleosuelos. Además, se realizaron investigaciones vinculadas la génesis de los fragipanes del sur de Córdoba (Schiavo et al. 1993, 1995; Cantú et al. 1997; 2006a, Becker et al. 1998, Schiavo et al. 2018), como así también, la génesis de calcretas en el Departamento Río Cuarto (Schiavo y Cantú, 2001, 2002; Schiavo 2003, Schiavo et al. 2004, Cantú et al. 2006a) y en el suroeste de la provincia de Córdoba (Schiavo et al. 2013).

En cuanto a suelos enterrados y paleosuelos en la Provincia de Córdoba las investigaciones comenzaron a partir de la década de los noventa, en donde se destaca la inclusión de dataciones absolutas de paleosuelos y de materiales parentales de suelos del presente. En el interior de la provincia han sido pioneros trabajos llevados a cabo por el grupo de trabajo de la Universidad Nacional de Córdoba, en las cátedras de Pedología y Cartografía; para la zona central de la provincia. La Universidad Nacional de Río Cuarto, en cambio realizó estudios para la región al sur del río Tercero. En lo referido a paleosuelos, resultan fundamentales los aportes de autores como Carignano (1997) que reconoció dos episodios de pedogénesis a los que denominó Geosuelo El Ranchito, y dedujo en consecuencia, que en la Provincia de Córdoba, el clima entre los 9 ka y 3 ka era cálido y húmedo. Krohling e Iriondo (1999), presentaron una secuencia de eventos paleoclimáticos analizados en un gran cono aluvial ubicado al sudeste de la margen de la Laguna Mar chiquita. Sayago (1999) señala cómo las concepciones paleoambientales previas comenzaron a modificarse a partir de la identificación reiterada de secuencias paleoedáficas intercaladas en mantos loésicos de las llanuras argentinas y sus áreas aledañas, mencionando ejemplos de la Provincia de Córdoba. Con un abordaje más centrado en la interpretación paleoclimática, considerando la presencia de niveles con paleosuelos, se pueden mencionar diversos trabajos en los que se incluyen los de Goya (2005), Córdoba (2005) y Córdoba et al. (2005), Tauber y Goya (2006), Sanabria et al. (2006), Sanabria y Argüello (2009), Krapovickas y Tauber (2012), entre otros.

Con respecto a los estudios de materiales parentales, Argüello et al. (2012) publicaron una síntesis muy completa sobre la información existente sobre los loess de la Provincia de Córdoba. Para la zona sur de la provincia, es relevante mencionar los estudios de los materiales parentales señalados por Cantú (1992); posteriormente Grumelli y Cantú, (2006) realizaron estudios, haciendo hincapié en su caracterización mineralógica y micromorfológica (Grumelli et al. 2008, Grumelli 2010), y en las evidencias

de las variaciones climáticas ocurridas durante el Cuaternario (Grumelli et al. 2010a, 2012b). Se ha establecido que la mayoría de los suelos de la llanura pedemontana del Sur de la sierra de Comechingones están desarrollados sobre materiales del Holoceno y principalmente del Holoceno superior. Litológicamente se los plantean como loess arenosos muy finos compuestos por dos familias mineralógicas, la del basamento de Sierras Pampeanas y la volcánica de la Cordillera de los Andes (Becker 1987, Cantú 1992, 2006; Schiavo 2003, Grumelli 2010).

Haciendo hincapié en el periodo Cuaternario, cabe mencionar que el mismo abarca dos series con una duración muy diferente, el Pleistoceno por un lado y el Holoceno por otro, donde este último se extiende hasta la actualidad. Se plantearon diferentes edades de inicio y duración para las mismas por parte de la International Commission on Stratigraphy (ICS) y la International Union for Quaternary Research (INQUA). Pero INQUA, en septiembre de 2005, acuerda con el ICS que la propuesta final sería resuelta en el Congreso Internacional de Geología del 2008. La Propuesta del ICS para ese Congreso fue que: 1) el cuaternario se debe reconocer como unidad formal cronoestratigráfica/geocronológica 2) el límite más bajo del cuaternario debe coincidir con la base del estado Gelasiano (2.6Ma) y definir así por el Gelasian Global Standard Section and Point (GSSP), 3) rechaza las opciones del INQUA respecto a considerar al Cuaternario como Sistema/periodo tomando la parte superior del Sistema/periodo Neógeno, con su límite más bajo en el Gelasiano, o el de sub-Era tomando la parte superior del sistema/periodo Neógeno. De esta manera queda establecido que el Pleistoceno se inicia a partir de 2,588 Ma y el Holoceno a los 11,7ka AP.

El periodo cuaternario se destacó por la existencia de numerosos ciclos glaciares, e interglaciares. Los periodos glaciares se extendieron sobre más de una cuarta parte de la superficie terrestre, así es que en el hemisferio norte el manto polar se extendió en las áreas continentales de América y Eurasia, mientras que en el hemisferio sur se extendió sobre el océano Antártico. Al finalizar el Oligoceno comienza lentamente el enfriamiento de la tierra produciéndose las primeras glaciaciones durante el Gelasiano, proceso que se magnificaría durante el Pleistoceno. En esta última Serie/Época se produjeron la mayor cantidad de glaciaciones en donde hoy se supone que por lo menos es esperable reconocer hasta 8. Para el Holoceno, en cambio, su base es definida en el registro de núcleos de hielo NGRIP a una profundidad de 1492.45m que muestra la señal más clara de calentamiento climático, un evento que marca el final del último episodio frío del Pleistoceno denominado Younger Dryas.

Posteriormente, el paulatino calentamiento del clima dio origen al siguiente periodo denominado Optimun climaticum o Hypsitermal, el cual fue caracterizado por ser más cálido y húmedo con el desarrollo de suelos. Este período termina aproximadamente entre los 7000 y los 6000 años AP dependiendo de la latitud, dando comienzo a un período de menor temperatura. Aproximadamente en el año 1.300 comenzaría un enfriamiento y aridización del clima que se lo conoció como la Pequeña edad del hielo y que se extendería hasta mediados de siglo XIX. Todas estas edades corresponden al hemisferio norte y si bien se pueden reconocer periodos equivalentes al Optimun climaticum o al Younger Dryas, en el hemisferio sur no son sincrónicos con los del hemisferio norte.

En cuanto a las glaciaciones en Argentina, estas se circunscribieron principalmente a la zona cordillerana salvo en el extremo sur de la Patagonia. Caldenius (1932) fue de los primeros que realizó una extensa descripción de los arcos morénicos glaciales desde Neuquén hasta Tierra del Fuego, distinguiendo entre las glaciaciones de valle y las de piedemonte de Tierra del Fuego y al sur del valle del Río Gallegos. Feruglio (1944) en cambio describió secuencias glaciogénicas en el cerro del Fraile, Lago Argentino provincia de Santa Cruz, intercaladas con coladas volcánicas, de edad Pliocenas. Posteriormente, Mercer (1974) identificó seis glaciaciones pedemontanas durante el mismo periodo. Groeber (1952) asignó nuevos nombres y edades a las glaciaciones que suponía tuvieron lugar en el norte de la Patagonia y trató de correlacionar estas glaciaciones con los ciclos definidos por Frenguelli (1957) para la llanura pampeana (unidades del “Pampiano”). Desde el piso de edad Marplatense (edad Pliocena) se registran las primeras glaciaciones frecuentes e intensas, aunque de corta duración. El piso de edad Ensenadense fue un periodo de múltiples glaciaciones de diversa magnitud, incluyendo la Gran Glaciación Patagónica (GGP) (Mercer 1976; Rabassa et al. 1986; Rabassa y Clapperton 1990) donde se produjo la máxima expansión del hielo en la región extra-andina de la Patagonia, a partir de dataciones de depósitos glaciogénicos interestratificados con coladas volcánicas.

Las investigaciones relacionadas con el estudio estratigráfico del Cuaternario de la provincia de Córdoba se inician con los trabajos de Bodenbender (1890, 1894), Döering (1907), Beder (1916), Frenguelli (1918, 1945, 1957), Castellanos (1926, 1936, 1942, 1944), Frenguelli y De Aparicio (1932) y Frenguelli y Cordini (1937). Décadas después, Santa Cruz (1972a, 1972b, 1973, 1979) retoma la investigación del Cuaternario elaborando una primera secuencia cronoestratigráfica en Córdoba. Posteriormente,

contribuciones centradas en el reconocimiento y la organización de materiales cuaternarios provienen de grupos de investigación de diversas universidades nacionales.

Investigaciones sistemáticas del Cuaternario centradas en la definición formal de unidades estratigráficas y la interpretación evolutivo-secuencial de la información estratigráfica de los ambientes geomorfológicos de la provincia, se presentan en los trabajos de tesis doctoral de Carignano (1997) y Kröhling (1998). Las tesis doctorales de Bertoldi de Pomar (1953), Leonardi (1961), Sayago (1975), Jarsun (1981), Bertolino (1989), Martínez (1991), Piovano (1994), Manzur (1995), Cioccale (1999), Sanabria (2000), Schiavo (2003), Degiovanni (2008), Brunetto (2008), Argüello (2009), Zanor (2009) y Krapovickas (2014) aportan información sedimentológica, estratigráfica, pedológica, paleobotánica y/o cronológica de secuencias sedimentarias aflorantes en diferentes áreas de Córdoba, con inferencias paleoambientales.

Los investigadores de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) se han centrado en el estudio de perfiles aflorantes al sur del río Tercero, entre los que pueden citarse los trabajos de Cantú y Degiovanni (1983), Cantú y Blarasín (1987), Blarasín y Sánchez (1987), Sánchez y Blarasín (1987), Cantú y Becker (1988), Villegas y Sánchez (1988), Sánchez y Combina (1991), Combina y Sánchez (2003), Cantú et al. (2004), Grumelli (2010), Andreazzini et al. (2012, 2014); entre otros autores.

Cantú (1992, 1998) en el sur de la Provincia de Córdoba realizó una síntesis muy importante del Holoceno, donde se establecen los nombres formacionales de varias unidades litoestratigráficas tanto para el Pleistoceno como para el Holoceno, así como unidades pedoestratigráficas. Posteriormente, Degiovanni y Cantú (1998) realizan un estudio sobre neotectonismo en el valle de La Cruz apoyado en un estudio estratigráfico del Pleistoceno Superior. Algunos fechados permitieron ajustar con mayor precisión los eventos producidos durante el Pleistoceno Superior y el Holoceno para el sur de la provincia de Córdoba (Frechen et al. 2003, Cantú et al. 2004), como así también, ajustar el esquema estratigráfico regional (Cantú et al. 2006, Ortolani 2008, Grumelli et al. 2012).

I.2. HIPÓTESIS

- Los procesos genéticos de suelos han actuado en el pasado de la misma manera que en el presente solo que con diferentes ritmos e intensidades.

- Los grandes procesos genéticos de los suelos y paleosuelos responden a condiciones climáticas regionales pudiendo estar condicionados además por el material original o por las condiciones de relieve y drenaje.
- Estudiando la génesis y dinámica de los suelos/paleosuelos presentes y los sedimentos que le dieron origen, se contribuirá al conocimiento paleoambiental de la región durante el cuaternario y los cambios climáticos ocurridos durante el mismo.

I.3. OBJETIVOS

I.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar los suelos y paleosuelos, a través de los materiales originales, relaciones estratigráficas y condiciones paleoambientales que predominaron durante el cuaternario en el tramo medio del arroyo Santa Catalina, Córdoba, Argentina.

I.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar detalladamente los paleosuelos y materiales presentes, mediante análisis físicos, químicos, fisicoquímicos y mineralógicos.
- Describir el perfil estratigráfico característico del área elegida.
- Estudiar las características sedimentológicas y mineralógicas de los materiales presentes, correlacionándolos con otros perfiles estratigráficos de la región.
- Evaluar las condiciones ambientales bajo las cuales se depositaron los sedimentos y evolucionaron los suelos.

CAPÍTULO II

MATERIALES

II.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica aproximadamente a 14 km al sur de la ciudad de Río Cuarto, se accede por un camino vecinal, que bordea la Sociedad Rural de Río Cuarto y que vincula a esta ciudad con la localidad de San Basilio, en cercanías al paraje Santa Flora (Figura 1).

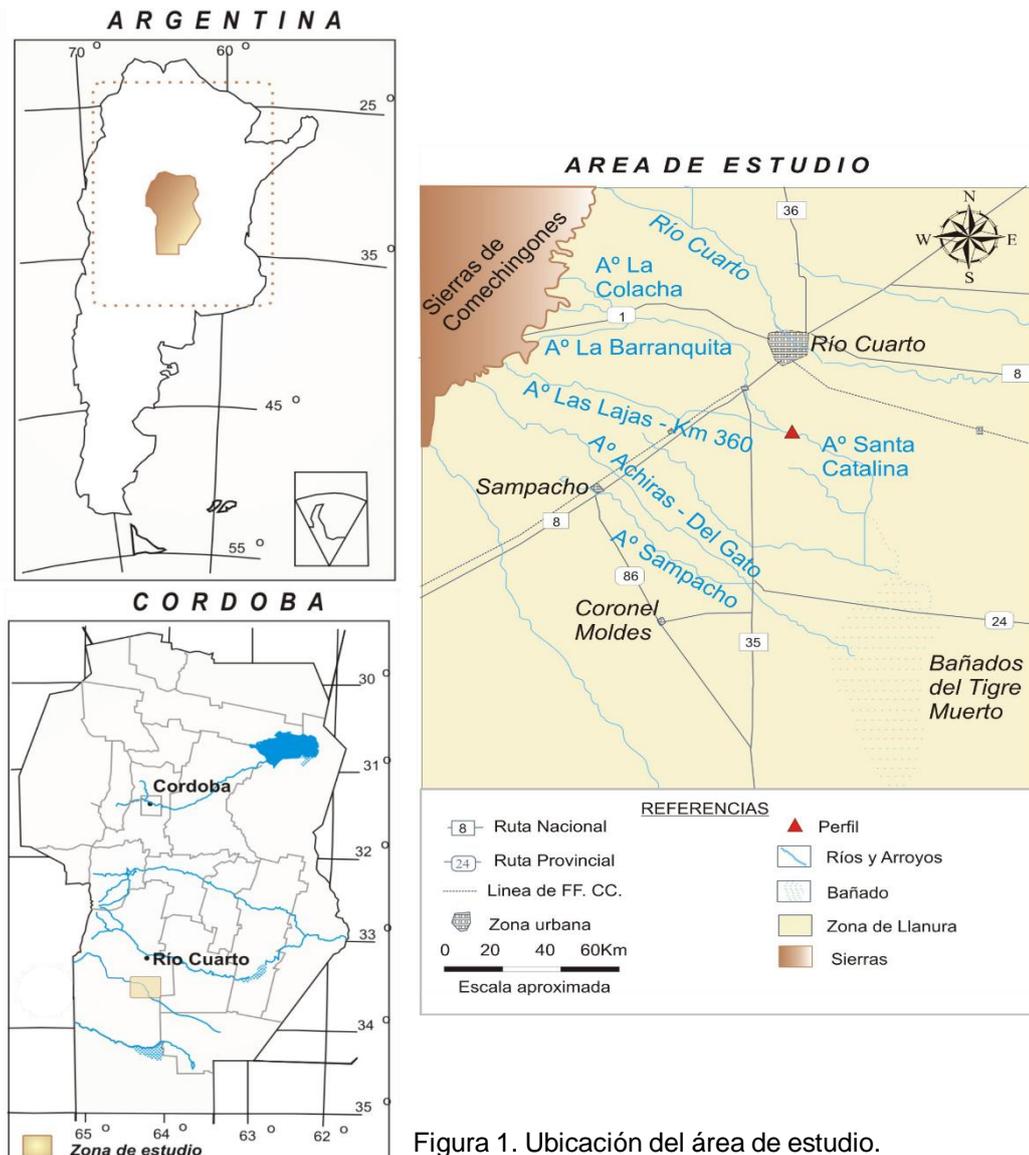


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

II.2. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

El arroyo Santa Catalina tiene sus nacientes en las sierras de Comechingones, extremo sur de las Sierras Pampeanas de Córdoba, y desagua en los Bañados del Tigre Muerto a 54 km al SSE de la ciudad de Río Cuarto. Actualmente llega a los Bajos del Saladillo y por medio del arroyo Saladillo se integra a la cuenca del Plata (Cantú *et al.* 2006).

Los grandes ciclos geomorfológicos vinculados a los diferentes climas del Cuaternario y especialmente durante el Pleistoceno superior y el Holoceno, han determinado grandes ambientes geomorfológicos donde dominan procesos fluviales, fluvio-palustres y eólicos que determinan las litologías expuestas en la actualidad, los principales rasgos geomorfológicos y las grandes unidades de suelos (Grumelli, 2010).

Los materiales característicos que afloran son sedimentos muy escasamente consolidados de origen diverso tales como, eólicos, aluviales, coluviales y probablemente palustres, de edad pleistocena media hasta holocena superior (Cantú, 1992, 1998).

II.2.1. ESTRATIGRAFÍA

La síntesis del Holoceno de Córdoba fue realizada por Cantú (1992, 1998) donde se establecen los nombres formacionales de varias unidades litoestratigráficas tanto para el Pleistoceno como para el Holoceno, así como dos unidades edafoestratigráficas. Dichos estudios se ampliaron luego por Degiovanni *et al.* (2005) y, Grumelli (2010) introdujo importantes modificaciones a la sucesión estratigráfica, obteniendo así la configuración utilizada en esta investigación (Figura 2). A continuación, se establece la descripción de las unidades estratigráficas:

Pleistoceno

Formación Alpa Corral: (Cantú, 1998) se trata de sedimentos fluviales compuestos por arenas finas con gravas dispersas, y gravas finas y gruesas intercaladas con arenas medias y gruesas con estructuras en artesa. Cantú (1992) ubicó su límite en el Plio- Pleistoceno. Su génesis se describe como correspondiente a un ambiente fluvial de moderada energía dentro del abanico medio a distal (Eric, 1986).

Formación Pampiano: (Cantú, 1992, 1998) se establecen dos miembros, los que afloran en el Arroyo del Gato, mostrando una clara relación entre ellos.

El miembro inferior está constituido por materiales limosos y limoarenosos muy finos, laminados, pardos rojizos; con varios niveles que presentan nódulos de cementación con hierro y sílice subordinada; dando lugar a sectores con cementación continua. El carbonato está dispuesto en forma

difusa y fuera de las zonas cementadas. Grumelli (2010) plantea que estos sedimentos del miembro inferior indicarían un predominio de un ambiente de sedimentación aluvial con algunos aportes menores coluviales, en un clima que varía de muy húmedo y fuertemente oxidante en la parte basal a semiárido en la cumbral, evidenciado por horizontes Bt con coloración rojiza, nódulos de hierro y manganeso y revestimientos laminados de arcilla, cada vez más escasos.

El miembro superior está compuesto por limos y limos arenosos de origen eólico, pardos amarillentos y pardos rojizos que incluyen varios niveles de calcretos, predominantemente de forma tabular subvertical. Estos sedimentos eólicos estarían asociados a un proceso de aridización del clima (Grumelli, 2010) y corresponderían al Pleistoceno Superior, con una edad OSL 106ka.

Geosuelo Santa Catalina: (Cantú, 1998) fueron reconocidos dos horizontes (Bt1 y Bt2) con un espesor total de 1,80 m. Presenta estructura prismática y columnar con revestimientos de arcillas pardo rojizas y óxidos de hierro. Aflora en las márgenes del arroyo Las Lajas. La edad se supone Pleistoceno Medio a Superior.

Geosuelo Ea. El Cerrito: (Cantú, 1992) se ha descrito en varios sectores del sur de Córdoba y para el mismo se ha reconocido un horizonte Bt con estructura columnar y semicolumnar, con revestimientos de arcillas y óxidos de hierro. La edad propuesta es Pleistoceno Superior.

Formación Chocancharava: (Cantú, 1992, 1998) está formada por psamitas y psefitas con estructuras de corte y relleno, las cuales serían representativas de un ciclo fluvial. Estas secuencias granodecipientes pasan a secuencias de aguas tranquilas y sobre estos sedimentos se encuentra desarrollado el pedocomplejo La Colacha. La edad que se propuso es Pleistoceno Superior.

Pleistoceno-Holoceno

Geosuelo La Colacha: (Cantú 1998, 2005; Grumelli, 2010) descrito en los arroyos Las Lajas y del Gato como un suelo pardo rojizo que presenta dos horizontes (Bt1 y Bt2) con estructura prismática y abundantes barnices de arcilla y óxidos de hierro, tanto en las caras de agregados como intraped.

Formación La Invernada: (Cantú 1992, 1998) corresponde a un espeso manto de loess que cubre grandes extensiones de la llanura e incluso las pampas de altura de las sierras Pampeanas. Este proceso deposicional de materiales loésicos comienza entre los 77ka-50ka OSL y culmina a los 10,5ka OSL. Se suelen observar la presencia de paleocanales cortando la sedimentación eólica cercano a la parte basal, y ya en los sectores superiores resulta un material puramente eólico (Grumelli y Cantú, 2006). En esta secuencia se puede reconocer un inicio árido (IS4), un cambio algo más húmedo que permitió la presencia de arroyadas (IS3) y posteriormente una continua aridez hasta los comienzos del Holoceno (IS2) (Grumelli *et al.* 2012).

Holoceno

Geosuelo Las Tapias: (Cantú 1992, 1998) desarrollado sobre la anterior formación, está constituido por distintos grandes grupos y subgrupos de molisoles. En la mayor parte del territorio está cubierto por sedimentos eólicos de la Formación Laguna Oscura. Su desarrollo habría comenzado durante el *Hypsithermal* u *Optimum Climaticum* (IS1) y en los sectores donde se encuentra en superficie o con una leve cubierta eólica, seguiría desarrollándose. La edad es Holoceno Inferior a Medio.

Formación Arroyo Las Lajas: (Cantú 1992, 1998) los sedimentos que la componen son gravas, arenas y limos. Esta formación corresponde a un ciclo fluvial de escasa magnitud difundido en el sur de Córdoba y marca el final del denominado *Optimum Climaticum*. Los depósitos descritos se encuentran en canales de fondo plano y paredes verticales y subverticales, con rellenos coluviales y aluviales. La edad sería Holoceno Medio.

Formación Laguna oscura: (Cantú 1992, 1998) la componen sedimentos eólicos arenosos muy finos y limosos, extendidos en amplias regiones del sur de Córdoba. Su desarrollo comenzó al finalizar el *Optimum Climaticum* y sobre estos materiales se desarrolla el suelo actual. Su edad OSL es 6,6ka (Grumelli, 2010)

Período	Época	Edad (Ka)	Unid. Litoestratigráfica y Aloestratigráfica	Unid. Edafo-Estratigráficas	Clima	Edad inferida	Procesos Dominantes
CUATERNARIO	HOLOCENO	1.5		Suelo Actual	Templado subhúmedo a húmedo	Presente	Pedogenesis Erosión eólica, Hidrica y fluvial
		2.2					
		6.0	Formación Laguna Oscura		Frio y Seco		Erosión eólica, depósitos de loess arenoso y formas medanosas
		10.0	Formación Las Lajas	Geosuelo Las Tapias	Templ. y Húmedo	Hypsitermal	Pedogenesis erosión hídrica en interfluvios, fluvial y remisión, depósitos aluviales y coluviales
	PLEISTOCENO SUP	49.7	Formación La Invernada		Frio y seco	Younger Dryas Ultimo maximo glacial	Erosión eólica. Depósitos de loess arenoso con canales efímeros
		106.0	Formación Chocancharaba	Geosuelo La Colacha	Semiarid. a arido	Interglacial	Pedogenesis, depósitos aluviales y coluviales
			Formación Pampiano Sup.	Geosuelo Ea El Cerrito	Frio y seco	Penultimo Glacial	Depositos de loess limoso y formacion de calcretos
	PLEISTOCENO MEDIO	147.0	Formación Pampiano Medio	Geosuelo Santa Catalina	Templ. Calido y húmedo	Interglacial	Depositos aluviales y palustres

Figura 2. Cuadro estratigráfico regional (Grumelli, 2010).

II.2.2. ESTRUCTURAS

La zona de estudio se encuentra incluida en la provincia geológica Llanura Chaco Pampeana, la cual limita al Oeste con las Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. Aquí las características estructurales son similares a las de las Sierras de Córdoba, las cuales se resuelven como un conjunto de bloques fallados, separados por valles longitudinales, en donde el basculamiento de los bloques mayores del basamento ha generado una morfología asimétrica con ladera oriental tendida y occidental escarpada. Las dislocaciones que limitan longitudinalmente los bloques mayores del basamento son fallas inversas, de orientación preferencial NNO-SSE, con alto ángulo y tendencia a curvarse en profundidad (lítricas), que buzcan en superficie entre 50° y 70° hacia el

bloque levantado (González Bonorino, 1950; Gordillo y Lencinas, 1979; Introcaso *et al.* 1987).

El área analizada se encuentra en una zona de intraplaca, con probada sismicidad histórica y actual. Las principales estructuras identificadas en la zona (Figura 3), según el análisis sismotectónico regional (Sagripanti, 2006), se agrupan según su rumbo en:

- Fracturas de rumbo meridiano a submeridiano: son las más importantes ya que han definido los grandes bloques diferencialmente ascendidos y basculados característicos de las Sierras, con evidencias neotectónicas (Sagripanti, 2006). Estas fracturas generan a lo largo de toda la planicie pampeana grandes condicionamientos para los sistemas de drenaje superficial y para el movimiento del agua subterránea. Las fallas más relevantes son la de Comechingones (frente occidental), Guacha Corral, Río de Los Sauces, Sierra Chica, Santa Catalina, San Basilio, del Tigre Muerto, Levalle, Reducción, Alejandro-Pampayasta y El Rastreador-Los Cisnes.
- Fracturas de rumbo E-O: muchas de carácter normal, las cuales además de controlar la ubicación de muchos tramos de los ríos, determinan el hundimiento escalonado de las sierras de Comechingones y de Las Peñas, así como la ubicación de algunos sistemas volcánicos cretácicos al sur de la sierra de Comechingones (Cantú y Degiovanni, 1982). Entre estas fracturas podemos mencionar las fallas de Elena, arroyo Boca del Sauce, El Cano, del Teguá, Río Cuarto; entre otras.
- Fracturas de rumbo NO-SE: representadas en el extremo sur de las Sierras de Comechingones y en las planicies occidentales. Provocan el descenso escalonado de los bloques serranos y controlan la mayoría de los cursos que tienen sus nacientes en este sector. Se destacan las fallas: Las Lajas-Sampacho, Alpa Corral, Chaito-Chazón (Cantú y Degiovanni, 1982).
- Fracturas de rumbo NNE-SSO: se presentan como más importantes las fallas del Saladillo y de Las Lagunas

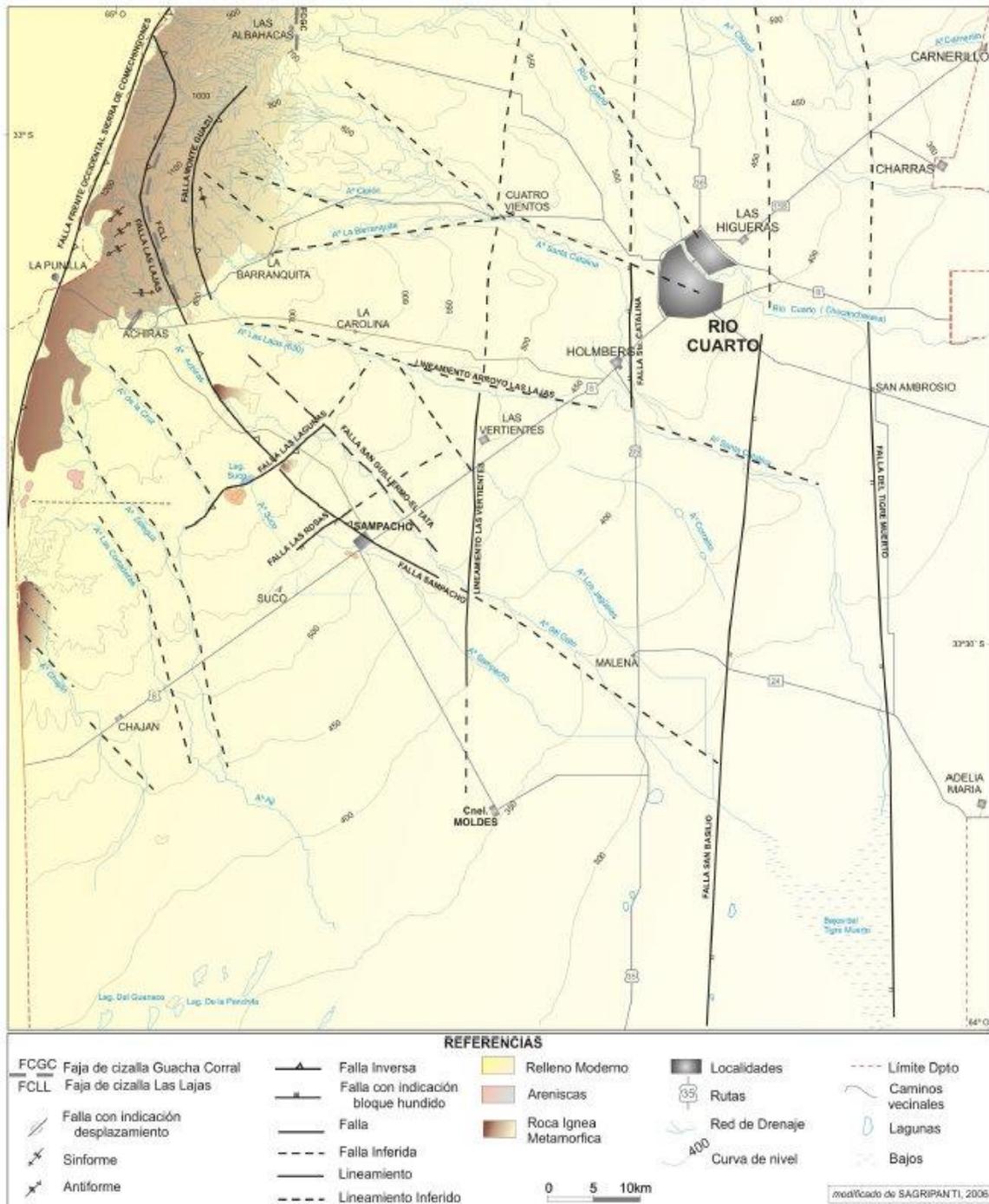


Figura 3. Mapa de estructuras regionales (Grumelli, 2010; modificado de Sagripanti, 2006).

Con respecto a los rasgos estructurales locales, resultan relevantes destacar para la cuenca media del arroyo Santa Catalina, las fallas de:

- Tigre Muerto: coincidiendo con lo establecido por Degiovanni y Cantú (1993), dicha se destaca por presentar un rumbo meridiano-submeridiano, que se ubica a los 64° 07' de longitud Oeste. Se infiere que su carácter es inverso con plano buzante al Este y labio hundido al oeste. La expresión de su traza en superficie es bien marcada, con un resalto topográfico

importante en el sector sur, que sería una respuesta morfotectónica a las reactivaciones neógenas. Constituye el límite occidental del bloque Levalle, ejerciendo un importante control sobre el arroyo Santa Catalina.

- San Basilio: según lo definido por Cantú y Degiovanni (1982), la misma se ubica a los 64° 20' de longitud Oeste y se infiere que su carácter es inverso, con plano buzante al este. Atraviesa la zona definiendo el límite oriental del bloque Tosquita y delimita conjuntamente con la Falla del Tigre Muerto un bloque hundido donde se sitúan los bañados del mismo nombre, con una diferencia de cota entre ambas márgenes de 50m.
- Santa Catalina: La misma se encuentra actualmente en proceso de investigación.

II.2.3. GEOMORFOLOGÍA

En el sur de la Provincia de Córdoba se reconocen dos Provincias Geomorfológicas, la Provincia Geomorfológica Sierras Pampeanas de Córdoba y la Provincia Geomorfológica Llanura Chaco Pampeana (Cantú y Degiovanni, 1984). El área de estudio se ubica dentro de la Llanura Chaco Pampeana, la cual se caracteriza por ser una extensa planicie donde los principales rasgos geomorfológicos están vinculados con el control estructural por parte de las megaestructuras meridianas y submeridianas, asociadas a aquellas de rumbo Este-Oeste y en menor grado a las de rumbo N 320° y N 60° (Cantú y Degiovanni, 1984).

Según Carignano *et al.* (2014), la zona de estudio se encuentra regionalmente dentro del contexto conformado por las unidades geomorfológicas denominadas **Piedemonte Oriental de la Sierra de Comechingones, Alto estructural de Levalle, y Planicie arenosa de Moldes y Malena**. Esta última unidad resulta de mayor interés ya que aquí se ubica el área analizada del tramo medio del arroyo Santa Catalina. Las mismas se describen a continuación:

- Unidad geomorfológica Piedemonte Oriental de la Sierra de Comechingones (psc): Se extiende a lo largo de 200 km, desde el valle estructural de La Cruz, al norte, hasta el 20 km al sur de la localidad de Chaján con un ancho del orden de 20–35 km y una altura variable entre 800 y 500 m s.n.m. El basamento se pierde por debajo de sedimentos aluviales y loessoides en un paisaje de colinas suaves y lomas bajas

conformado por el ambiente pedemontano que más al este se integra transicionalmente con la Planicie Arenosa del Sur (llanura Pampeana). Esta unidad a gran escala presenta un relieve que varía de moderado a fuertemente ondulado, asociado a la presencia de bloques de basamento elevados diferencialmente por neotectónica, yuxtaposición y/o coalescencia de abanicos aluviales, incisión fluvial, sedimentación y erosión eólica.

Haciendo hincapié en el Sector de Rodeo Viejo, este comprende una antigua bajada dislocada tectónicamente y disectada por los tributarios del río Chocancharava y del arroyo Santa Catalina. Estos cursos han incidido fuertemente el terreno, generando un relieve ondulado muy irregular, con desniveles locales del orden de 50–70 m, con máximos de hasta 120 m. Su configuración está controlada por estructuras de rumbo NE-SO, NO-SE y norte-sur, que controlan la red de drenaje y delimitan bloques, de relieve muy suave en el sector cumbral, que presentan una pendiente más pronunciada hacia el norte (0,9–2 %) y una tendida hacia el sur (inferior 1,2 %). En sentido oeste-este, toda el área muestra un relieve más regular y plano (gradiente 0,2–0,4 %), hasta el borde oriental del abanico del río Seco.

- Unidad geomorfológica Planicie arenosa de Moldes y Malena (ppm): Se encuentra dentro del ámbito de la Planicie arenosa del sur, caracterizándose como una llanura constituida por los derrames distales de los cursos de agua que drenan la vertiente oriental de la Sierra de Comechingones al sur del río Ctalamochita, y por acumulaciones de arenas de los importantes ciclos eólicos del Pleistoceno superior y Holoceno. En ella se reconocen algunas fajas fluviales y abanicos aluviales medios y distales que, en general, se encuentran muy disipados y cubiertos por las arenas del Mar de Arena Pampeano (Iriondo 1990a, b y c; 1999). Esta unidad, de relieve suave a moderadamente ondulado, tiene una pendiente general hacia el sudeste del orden del 0,5 a 0,1 % y se extiende aproximadamente entre las cotas 550–250 m s.n.m. En algunos sectores, especialmente al noreste y ONO, el relieve interno es más irregular por la presencia de altos estructurales y depresiones asociadas, paleocauces y/o dunas con mayor expresión topográfica.

Entre las morfoestructuras se destaca el alto de Santa Catalina-del Golf, de orientación submeridiana que controla a los arroyos Santa Catalina y Las Lajas como también al río Chocancharava (Doffo y Degiovanni 1993, Degiovanni *et al.* 2005; Doffo y Bonorino, 2006). Este y otros altos de la zona (15–20 m de desnivel local) conforman lomas de cumbres planas o ligeramente convexas con flancos de pendientes del orden de 0,5–0,7% cubiertas por materiales arenosos finos del Holoceno donde se distinguen campos de dunas longitudinales y algunas dunas parabólicas sobreimpuestas.

La planicie está surcada por los arroyos Santa Catalina, Las Lajas, del Gato y El Ají que sólo drenan áreas del piedemonte y la llanura. Estos cursos, natural o artificialmente, descargan en la depresión del Tigre Muerto a excepción del arroyo El Ají, exhibiendo un marcado proceso de incisión e integración con valles angostos y profundos, perfiles longitudinales desajustados y varios frentes de retroceso activos (Degiovanni 2008; Degiovanni y Doffo 2005, Degiovanni *et al.* 2005 y 2014, Doffo *et al.* 2010, Andreazzini *et al.* 2014).

Los materiales dominantes en las lomas que conforman la unidad son secuencias fluviales con diferente grado de cementación, depósitos loésicos con paleosuelos y sedimentos lacustres-palustres, cubiertos por arenas eólicas (Degiovanni *et al.* 2005; Costa *et al.* 2005, Degiovanni 2008). La cubierta de arenas se presenta como un manto relativamente uniforme del cual sobresalen dunas longitudinales de 2 a 4 km de longitud y orientación SO-NE, que presentan distinto grado de disipación.

- Unidad geomorfológica Alto estructural de Levalle (AL): Es una dorsal de origen tectónico que emerge de la planicie arenosa del sur interrumpiendo su declive hacia el este. Esta morfoestructura está generada por la falla del Tigre Muerto que es una antigua falla cretácica, de rumbo submeridiano, asociada al rift intracratónico de Levalle (Chebli *et al.* 1999, 2005) que ha sido invertida tectónicamente durante el Cenozoico.

A lo largo de su traza, el alto de Levalle presenta una morfología que permite interpretar una flexura monoclinal con una pendiente occidental empinada (dada por una escarpa flexural) y una pendiente estructural oriental de bajo gradiente. Sus cotas varían entre 370 y 210 metros s.n.m.

con un desnivel local del orden de 15 a 60 metros, registrándose los mayores valores en su borde occidental y norte (pendientes variables entre 1,5 a 2 %), mientras que hacia el sur y este paulatinamente (0,5 a 0,7 % de pendiente) se sumerge en la llanura circundante. Su sector cumbral es suavemente ondulado asociado a la presencia de dunas longitudinales de rumbo SO-NE muy disipadas. Los materiales que aquí dominan son de tipo eólicos arenosos muy finos limosos con algunos niveles de calcretas.

II.2.4. HIDROLOGÍA

Considerando lo reportado por Degiovanni y Blarasin (2005) la hidrología del área de estudio presenta las siguientes características:

- **Hidrología Superficial:** Las cuencas principalmente involucradas en la zona de estudio son la Cuenca del río Cuarto y la del Arroyo Santa Catalina. Las mismas tienen sus nacientes en el área de las Sierras de Comechingones, en donde las rocas de muy baja permeabilidad, las altas pendientes y el régimen de precipitaciones de alta intensidad, provocan escurrimientos rápidos en cortos períodos de tiempo, generándose así crecidas muy importantes. Las cuencas se resuelvan en un único curso colector a la salida de la sierra lo cual potencia el pico de las crecientes y sus consecuencias.

Las cuencas medias de estos cursos se desarrollan sobre sedimentos limo arenosos finos, de alta susceptibilidad de erosión, en relieves ondulados periserranos sometidos a uso agrícola-ganadero. Los cursos presentan profundización de cauces y migración lateral constituyendo el más grave riesgo para la infraestructura vial. Cuando estos pasan de los relieves ondulados a las planicies y depresiones de las cuencas bajas, disminuyen su velocidad, depositan los sedimentos y provocan anegamiento e inundación.

Los ríos y arroyos del área tienen en general un régimen permanente debido al aporte de la freática. Los caudales son muy variables, respondiendo a las crecidas, fundamentalmente vinculadas a episodios de tormentas. Se han determinado valores entre 0,1 m³/seg en los arroyos más pequeños durante el estiaje y valores superiores a 700 m³/seg en crecientes de verano para el río Cuarto. Los caudales sólidos medidos

vinculados a los sedimentos suspendidos, varían entre 0,04 kg/seg hasta 40 kg/seg. Esta variabilidad, sumado a aspectos de calidad química, hace que el agua superficial tenga un uso restringido, pudiendo destacarse el riego de quintas a partir de algunas acequias que toman agua del río Cuarto y el uso recreativo de las lagunas más grandes.

- **Hidrología Subterránea:**

- Acuífero freático: Al Sur de la provincia de Córdoba el agua del acuífero freático circula con una dirección general NW-SE, observándose una jerarquización de los flujos de agua que permiten distinguir circuitos locales, intermedios y regionales. En la región se producen los efectos resultantes de un sistema de flujo de tipo gravitacional: 1) flujo descendente en áreas de recarga y ascendente en áreas de descarga, con potenciales hidráulicos descendentes y ascendentes hacia la profundidad, respectivamente. 2) Balance de agua negativo en áreas de recarga y positivo en áreas de descarga, resultando éstas con bañados y lagunas. 3) Cambios en las facies aniónicas del agua, desde bicarbonatadas, pasando por sulfatadas hasta cloruradas, tanto a lo largo de los sistemas de flujo, como en profundidad. 4) Suelos salino-alcálinos y depósitos salinos en áreas de descarga. 5) Condiciones oxidantes en áreas de recarga y predominantemente reductoras en las de descarga. La configuración geológica-geomorfológica de la región, en bloques que basculan al Este-Sudeste es el principal condicionante de los flujos intermedios y regionales del agua subterránea y define las principales características hidrogeológicas de la región.
- Acuífero confinado: Su funcionamiento se conoce sólo parcialmente. En general están formados por arenas finas, gruesas y gravas, correspondientes a depósitos antiguos fluviales, ubicados a profundidades variables entre los 130 y los 400 metros, cuyos techos y bases son potentes paquetes de arcillas. En todos los casos tienen de mediana a alta conductividad hidráulica, pero no presentan espesores importantes (entre 5 y 10 m) lo que les confiere baja a mediana transmisividad. Las alturas de surgencia son

variables para los distintos niveles de confinamiento, habiéndose registrado 60 metros por encima de la superficie en la en algunas localidades del área. El sentido general de circulación del agua es NW-SE. La calidad del agua es variable, aunque en general puede establecerse que, para profundidades de explotación de 200 a 350 metros, las más dulces (hasta 1 g/l) se ubican en la zona occidental (Río Cuarto y alrededores) y las más saladas (hasta 2,5 g/l) en los sectores orientales.

II.2.5. USO ACTUAL DEL SUELO

Las actividades en el sector sur de la ciudad de Río Cuarto se relacionan con el sector primario, resultando predominante un uso agrícola extensivo del suelo, seguido por la ganadería extensiva e intensiva y también otros usos relacionados con las actividades terciarias propias de áreas urbanas como recreación y depósito de productos (alimenticios, combustibles y granos u oleaginosas). El uso residencial se extiende sobre rutas y caminos principales y secundarios (Montero, 2011).

Así, según Montero (2011), los principales usos del suelo en el área de estudio son los siguientes:

- **Agricultura extensiva:** Se caracterizan por parcelas de varias hectáreas de extensión, donde se destaca el patrón de la hilera de cultivo. Existen parcelas que corresponden a los rastrojos y tierras roturadas destinadas al cultivo de secano de soja, maíz y trigo. También se desarrollan pasturas de alfalfa.



Figura 4. Actividad agrícola del área.

- **Ganadería extensiva:** La actividad ganadera principal está destinada a la producción de bovinos y porcinos para carne (Figura 5).



Figura 5. Actividad ganadera desarrollada en la zona.

- **Ganadería intensiva:** Las parcelas son de tamaño menor a una hectárea. Se desarrolla la cría en feet loots de bovinos y además la cría intensiva de ovinos destinada a la producción y venta directa de carne y leche.
- **Depósitos de productos:** Se destinan terrenos de escasa extensión para la construcción de galpones, tales como, depósitos de mercaderías de comercios y supermercados de la ciudad. A mayor distancia de la ciudad y asociados a espacios de producción agropecuaria extensiva, se identifican otros depósitos destinados para almacenamiento de granos, cereales y oleaginosas o resguardo de maquinarias.
- **Recreación:** De áreas de aproximadamente 2 o 3 hectáreas. Son principalmente espacios verdes y construcciones de piletas (piscinas) y canchas para juegos.

II.3. VEGETACIÓN

Bianco *et al.* (1987) consideran a la región sudoeste de la provincia de Córdoba como un amplio ecotono donde confluyen elementos florísticos de tres provincias fitogeográficas argentinas, el "Parque Chaqueño", el "Espinal" y la "Pradera Pampeana", dentro de la unidad fisiográfica "llanuras bien drenadas" y en el tipo fisonómico "estepa graminosa".

La zona se encuentra profundamente alterada por la acción del hombre en donde la vegetación nativa se halla reducida a sectores poco alterados y escasos como las planicies de inundación, terrazas actuales del arroyo y en caminos rurales (Figura 6 y 7).



Figura 6 y 7. Vegetación del área.

La comunidad predominante es el flechillar, donde son frecuentes las especies del tipo *Stipa*, cuya distribución responde generalmente a distintos tipos de suelos: en los de textura más fina habitan: paja brava (*Stipa brachychaeta*), flechilla roja (*Stipa trichotoma*), flechilla común (*Stipa neesiana*), plumerillo (*Stipa papposa*), entre otros. En los de textura más gruesas habitan: paja vizcahera (*Stipa eriostachya*), paja blanca (*Stipa tenuissima*), flechilla negra (*Piptochaetium napostense*).

Son frecuentes también pasto horqueta (*Paspalum notatum*) y poa (*Poa ligularis*), pasto ilusión (*Eragrostis lugens*), briza (*Briza subaristata*). Son habituales, además, forrajeras naturalizadas como lupulina (*Medicago lupulina*), trébol de color blanco (*Melilotus albus*). Entre arbustos y sufrútices son comunes carda (*Eryngium horridum*), vernonia (*Vernonia mollissima*), poleo (*Lippia turbinata*), entre otros (Grumelli, 2010).

CAPÍTULO III

MÉTODOS

En el presente capítulo se señalan las principales metodologías aplicadas para el cumplimiento de los objetivos propuestos. El desarrollo metodológico se presenta de forma breve en aquellas metodologías ampliamente conocidas, entre las que se incluyen análisis físicos, químicos y fisicoquímicos y estudios mineralógicos de arenas y arcillas.

III.1. TAREAS PREVIAS DE GABINETE

Se realizó una revisión y actualización bibliográfica de los antecedentes sobre génesis de suelos y geología del cuaternario, tanto a nivel internacional y nacional como local. Además, recopilación, revisión e investigación y selección de toda la información existente en el área de estudio.

- Caracterización geológica: Se llevó a cabo una recopilación y actualización de la información geológica, estructural, estratigráfica, geomorfológica, entre otras, tanto a escala regional como local. A su vez, se determinaron las características climáticas de la zona de estudio (régimen de temperaturas, precipitaciones y vientos) mediante la utilización de la base de datos de La Estación Agrometeorológica de la Universidad Nacional de Río Cuarto, ubicada en el Campus Universitario.

III.2. TAREAS DE CAMPO

En el siguiente apartado se realizaron las siguientes tareas:

- Se efectuó el reconocimiento general del área a través de una serie de observaciones a campo y se seleccionó un perfil representativo a estudiar.
- Se llevó a cabo la descripción y muestreo del perfil y de las distintas secuencias reconocidas. En las mismas se realizó una descripción completa y profunda de cada sección, efectuando un especial interés en el relevamiento de los rasgos que pudieran conducir a las interpretaciones paleoambientales como: sistemas de raíces, krotovinas, traslocaciones (arcillas, limos y arenas finas, óxidos, materia orgánica, etc.), rizoconcreciones, entre otros.
- Se tomaron muestras disturbadas para análisis de laboratorio y mineralógico e indisturbadas para el análisis micromorfológico.

III.3. TAREAS DE LABORATORIO

Las muestras disturbadas del perfil seleccionado fueron secadas al aire, desmenuzadas, tamizadas (malla N° 10 ASTM) y cuarteadas. Posteriormente, sobre cada una de ellas, se efectuaron las determinaciones analíticas de rutina entre las que se incluyen propiedades químicas, físico-químicas y físicas.

A continuación, se describen los métodos utilizados:

- Carbono Orgánico (%): Se determinó la materia orgánica por pérdida por ignición (LOI) según la metodología de Dean's (1974, 1999) modificado por Heiri *et al.* (2001).
- pH: Determinado por método potenciométrico con una relación suelo-agua destilada de 1:2,5.
- Granulometría: Se realizó por el método combinado de la pipeta de Khün, basado en la aplicación de la Ley de Stokes, para las fracciones menores a 50 micrones y tamizado vía seca para las fracciones más gruesas separadas según los rangos establecidos por el Soil Survey Staff (2006).
- Análisis mineralógico en lupa: A partir de las muestras obtenidas en análisis granulométricos correspondientes a la fracción arena muy fina, se efectuaron las determinaciones mineralógicas mediante lupa binocular Nikon SMZ 745T con 5x de aumento. Se llevó a cabo el reconocimiento y conteo semicuantitativo de los distintos minerales presentes en las fracciones retenidas por el tamiz de 63 micrones de abertura,
- Determinación de los parámetros sedimentológicos estadísticos: El análisis en el tamaño del grano aporta importantes evidencias acerca del origen de los sedimentos, historia de su transporte y condiciones de deposición. Para comparar las distribuciones del tamaño de partícula de los depósitos muestreados, se compararon sus desvíos respecto a una distribución normal o Gaussiana. Para la representación gráfica y manipulación estadística de las frecuencias, la graduación de los umbrales se transformaron logarítmicamente en valores Φ (Krumbein, 1934).
- Parámetros estadísticos gráficos: Los parámetros estadísticos gráficos empleados fueron tamaño medio, desvío estándar, curtosis y coeficiente de asimetría. Para el tratamiento y procesado de los datos se empleó el programa GRADISTAT versión 8.0 (Blott, 2010).

- Estudios sedimentológicos de esfericidad y redondez: El análisis sedimentológico de redondez se realizó a la fracción arena muy fina por vía óptica. Sobre cada muestra examinada durante el análisis mineralógico de grano suelto, se determinó la redondez de los individuos mediante la escala de comparación visual de redondez para arenas, utilizando las clases propuestas por Powers (1953) y Shepard (1963). La redondez es una medida de la cantidad de aristas y vértices que presenta un clasto, que se mide a partir de la proyección bidimensional de una figura del clasto.
- Análisis micromorfológico en corte delgado: El estudio microscópico de los paleosuelos se realizó mediante microscopio petrográfico, sobre secciones delgadas normales y perpendiculares de cada depósito. Las muestras fueron secadas al aire y tratadas en laboratorio, como bloques de 5 cm de ancho por 3 cm de largo y 1 a 2 cm de espesor aproximadamente. La impregnación se realizó con resinas polyester de uso industrial, combinada con diluyente (monómero de estireno, hasta un 20%), catalizador y acelerador, en bomba de alto vacío sobre muestras secadas al aire. Luego se efectuó el corte del trozo de suelo incluido en resina, para obtener una superficie plana con el tamaño de la preparación microscópica deseado. Esta superficie se pulió para eliminar las huellas del corte y obtener un plano lo más suave posible. La superficie pulida se pegó con la misma resina y endurecedor, y una vez pegado el trozo de suelo al portaobjetos se cortó para obtener una muestra lo más fina posible. La misma se devastó hasta alcanzar un espesor de 30µm. Finalmente, las muestras se limpiaron cuidadosamente y se recubrieron con un cubreobjetos pegado con la misma resina y endurecedor en una proporción de 3/1 respectivamente, en bomba de alto vacío y estufa a 40°C.

III.4. TAREAS DE GABINETE

Esta etapa se basó en la interpretación de los datos obtenidos a campo, laboratorio y la integración de la información obtenida para la obtención del trabajo Final.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y CONCLUSIONES



IV.1. CARACTERIZACION CLIMATICA

Las condiciones climáticas varían regionalmente de más húmedas en el área serrana a subhúmeda y semiárida hacia el sudeste; en base a lo expuesto por Cantú (1998), Becker (2006), entre otros. El sur de Córdoba se caracteriza por un invierno relativamente riguroso y un verano medianamente cálido.

La caracterización climática del área de estudio fue establecida en base a la información proporcionada por La Estación Agrometeorológica de la Universidad Nacional de Río Cuarto, ubicada en el Campus Universitario (Latitud 33°06'00" S; Longitud 64°18'00" O y a 440 msnm). La misma posee una serie de datos continua desde 1976 y se han utilizado los datos de temperaturas y precipitaciones de la misma para elaborar los siguientes análisis:

- Régimen de temperatura: la temperatura media anual es de 16,48°C, la mínima media mensual es de 9,18°C para el mes de julio y máxima media mensual de 22,98°C para el mes de enero (Figura 8).

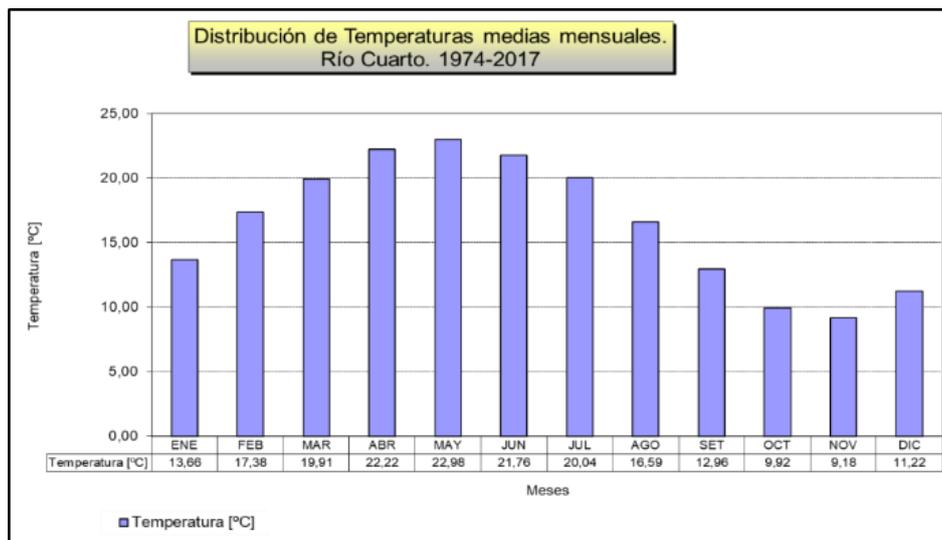


Figura 8. Distribución de la temperatura media mensual obtenido de la Estación Agrometeorológica de la UNRC.

Según Soil Taxonomy (2014), la temperatura media del suelo obtenida por un factor de conversión sería de 18,0°C a 18,5°C y corresponde a un **régimen de temperatura térmico**.

- Régimen de lluvias: las precipitaciones medias anuales son de 787mm, cuyas distribuciones se detallan en la Figura 9. Los años analizados van desde 1974 al 2017 en donde se puede observar un aumento de las precipitaciones a partir del año 1990, debido a que existe una mayor cantidad de años que superan las

precipitaciones medias anuales a partir del mismo; en comparación con los años previos a 1990.

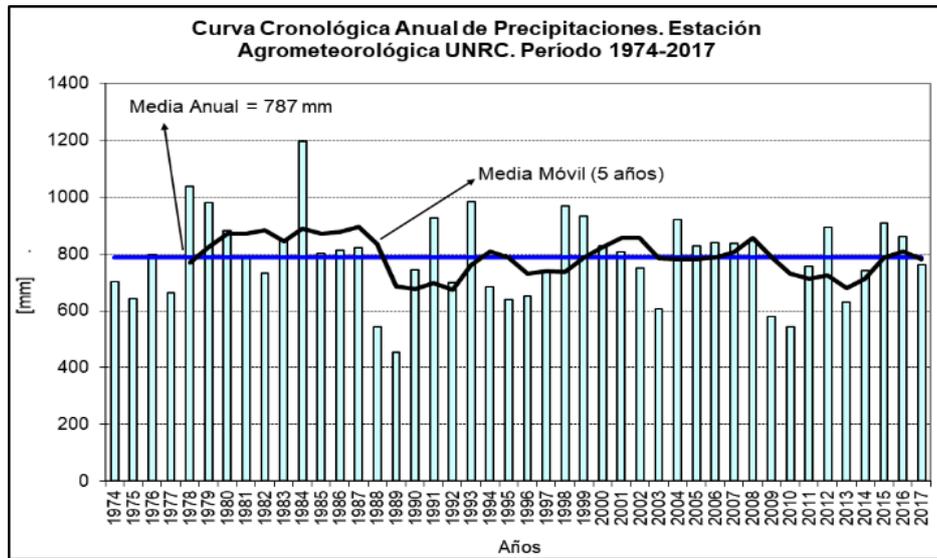


Figura 9. Curva cronológica anual de precipitaciones - Estación Agrometeorológica de la UNRC.

- **Balance hídrico seriado:** el mismo se desarrolló con una serie de 43 años de datos de precipitaciones, desde el año 1974 a 2017. De esta manera y, en base a lo detallado en la Figura 10, se puede establecer que se desarrolla un intervalo húmedo bien marcado, abarcando los meses de septiembre a abril, que concentran gran parte de las precipitaciones anuales. Por otro lado, se destaca un intervalo seco en los meses de mayo a agosto.

Según los datos de precipitaciones medias anuales (787mm) y los correspondientes a la evapotranspiración real media anual de 727,7mm, se establece que los excesos hídricos son de 59.3mm; los cuales se distribuyen en escurrimiento superficial e infiltración efectiva. El 92,46% del agua de las precipitaciones se pierde a causa de la evapotranspiración real y sólo el 7,54 % del agua escurre o infiltra.

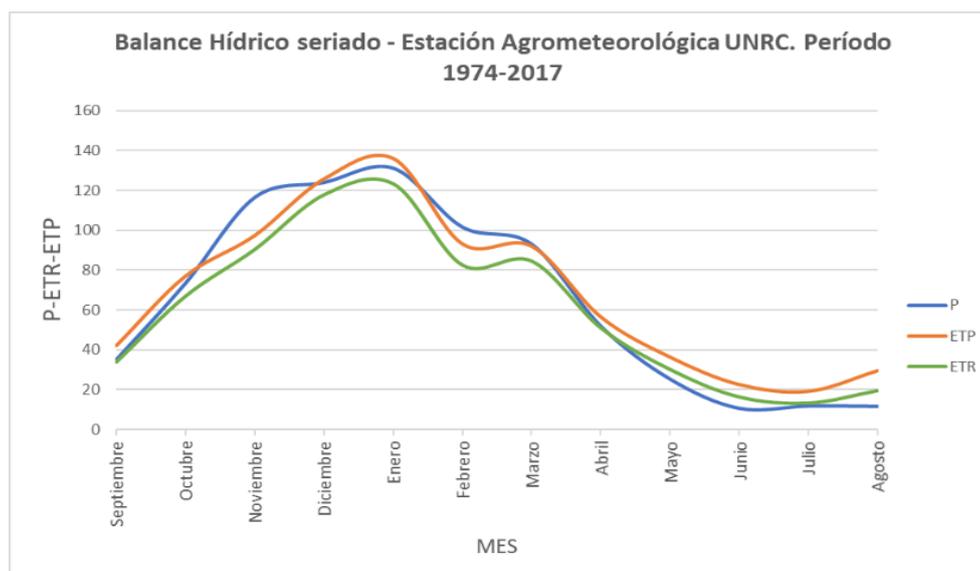


Figura 10. Balance hidrológico seriado - Estación Agrometeorológica de la UNRC.

- **Índice de sequía:** El mismo se obtuvo mediante la utilización del software PDIWIN, elaborado por Ravelo *et al.* (1999). Para el presente análisis se utilizaron los siguientes rangos que se establecen para los distintos valores del Índice:

RANGO CONDICIÓN DE SEQUÍA

>4.0 *Extremadamente húmedo*

3.0 a 3.9 *Muy húmedo*

2.0 a 2.9 *Moderadamente húmedo*

1.0 a 1.9 *Ligeramente húmedo*

0.5 a 0.9 *Húmedo incipiente*

-0.4 a 0.4 *Normal*

-0.5 a -0.9 *Sequía incipiente*

-1.0 a -1.9 *Sequía reducida*

-2.0 a -2.9 *Sequía moderada*

-3.0 a -3.9 *Sequía severa*

<-4.0 *Sequía extrema*

El comienzo del período de sequía se define a partir de un valor -1 del índice y se considera terminado cuando el mismo supera el nivel 0,5.

Por lo tanto, para la Estación Agrometeorológica de la UNRC se pueden establecer diversos ciclos secos y húmedos, de 3 a 4 años de duración, detallados en la Figura 11. Los ciclos húmedos son 3, entre los períodos de 1979 a 1981,

1983 a 1985 y 1998 a 2001. Por otro lado, los ciclos secos son 5, entre los períodos de 1975 a 1978, 1988 a 1990, 1994 a 1997, 2008 a 2011 y 2013 a 2015.

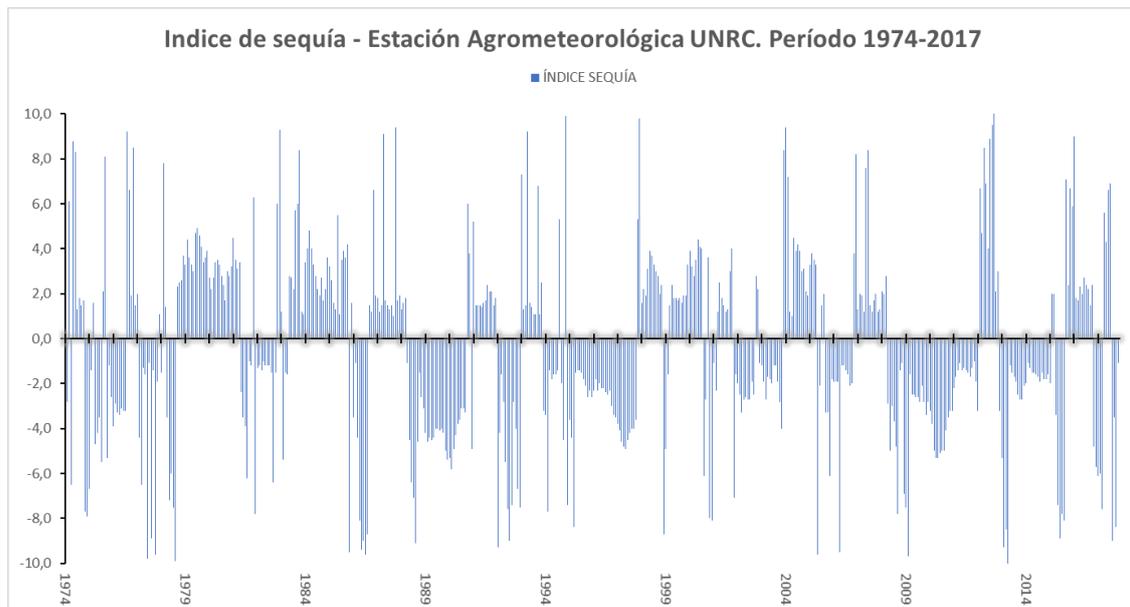


Figura 11. Curva de distribución de excesos hídricos - Estación Agrometeorológica de la UNRC.

A partir del análisis previo y de la observación del suelo a campo podría establecerse un **régimen de humedad údico** ya que la sección de control de humedad de los suelos de la región no estarían secos en alguna parte, por un período tan largo como 90 días acumulativos en años normales; según lo establece Soil Taxonomy (2014).

- **Vientos:** La dirección predominante de los vientos es Norte y Nordeste. Las velocidades medias son del orden de 12,5 km/h y las mayores velocidades se registran desde agosto hasta diciembre (Figura 12).

Rosa de vientos medios anuales. Río Cuarto

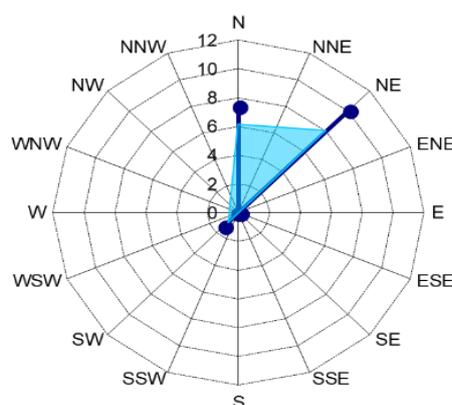


Figura 12. Rosa de los vientos medios anuales (período 1975 a 2001)- Estación Agrometeorológica de la UNRC.

IV.2. PERFIL ESTRATIGRÁFICO

El perfil estudiado (Figura 13) se encuentra en la margen norte del arroyo Santa Catalina, aproximadamente a 220 m aguas arriba del puente que lo cruza, en cercanías al paraje Santa Flora; específicamente en $33^{\circ}16'54.69''S$ y $64^{\circ}21'19.92''O$ (Figura 14).



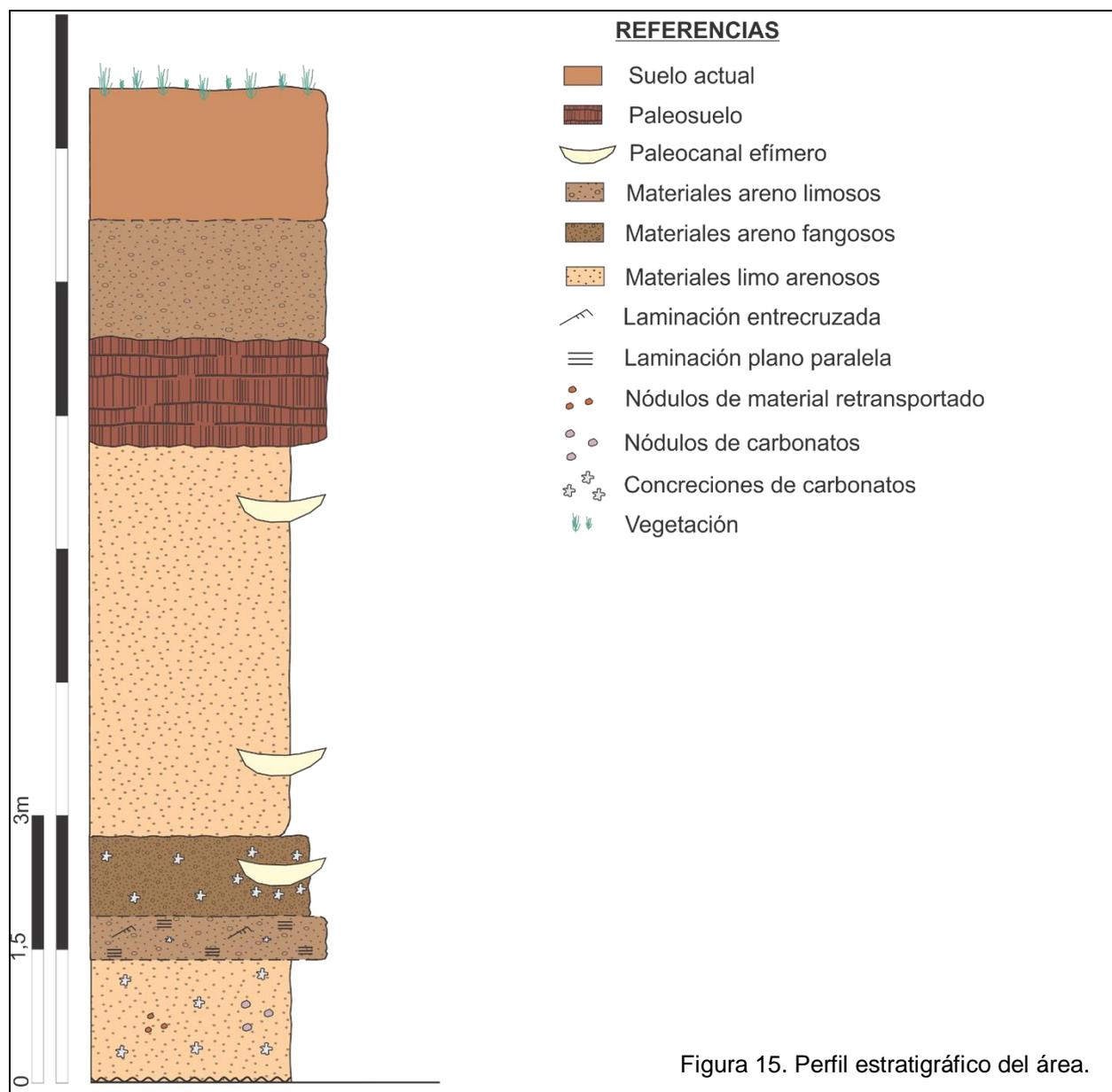
Figura 13. Perfil estudiado.



Figura 14. Ubicación del perfil.

IV.2.1 DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLÓGICA

El perfil descrito (Figura 15) compone una secuencia sedimentaria expuesta, con un espesor total de 11,45 m.



Presenta, de base a techo:

- Depósito 1 (0-1,38m): conforma la base del perfil y el nivel de base del arroyo. Se caracteriza por presentar una textura limo arenosa, con una estructura masiva, abundante porosidad y rasgos de bioturbación. En la misma se encuentran muñecas de tosca en patrón reticulado de diversos tamaños (5 a 20 cm en su eje mayor), nódulos dispersos de concreciones carbonáticas y nódulos redondeados de materiales finos retransportados. Presenta color en seco pardo

amarillento/anaranjado (10YR 7/3), pH 10,13 y un contenido de Carbono Orgánico de 2,15%. El contacto con el depósito suprayacente es de tipo transicional (Figura 16)

- Depósito 2 (1,38-1,88 m): presenta una textura areno limosa y una estructura sedimentaria compuesta por laminación plano paralela que varía a entrecruzada de bajo ángulo. Se hallan dispersas pequeñas muñecas de tosca (hasta 5 cm en su eje mayor). El color en seco es pardo amarillento/anaranjado (10YR 6/3), pH 9,91 y contenido de Carbono Orgánico de 0,95%. El contacto con el depósito suprayacente es de tipo transicional (Figura 17 y 18).

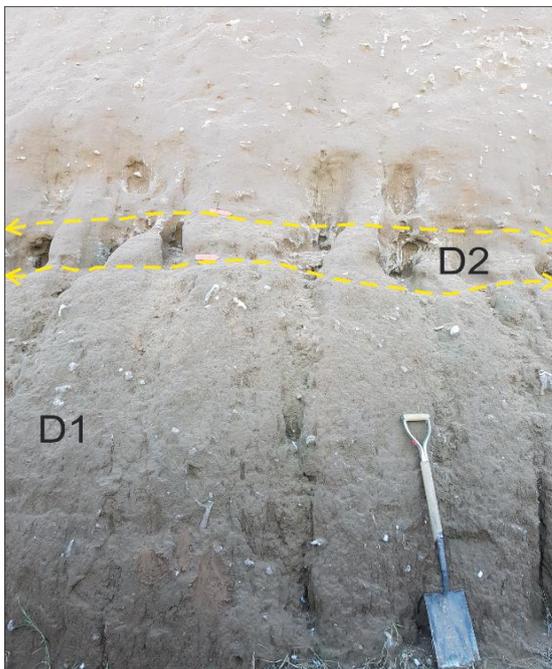


Figura 16. Depósito 1 (D1) en la base, y Depósito 2 (D2) suprayacente.



Figura 17. Depósito 2 (D2).



Figura 18. Depósito 2 (D2), por debajo Depósito 1 (D1) y por encima Depósito 3 (D3).

- Depósito 3 (1,88-2,80m): presenta textura arena fangosa y estructura masiva; muñecas de tosca, algunas en patrón reticulado y otras subredondeadas; de diversos tamaños (10cm en eje mayor). El color en seco es pardo anaranjado (7,5YR 7/3), pH 9,82 y contenido de Carbono Orgánico de 0,98%.

El sector medio de este depósito, presenta un paleocanal efímero en el que se desarrolla un paleosuelo (ver micromorfología) con un espesor de 0,62 m y textura arena limosa, color (7.5YR 6/3); el cual evidencia que las condiciones paleoclimáticas no eran estables. En la base del paleocanal se encuentran alineadas muñecas de tosca (Figura 19).

Hacia el techo del depósito se mantienen las mismas características sedimentológicas sin evidencias de nuevos paleocanales. El contacto con el depósito suprayacente es de tipo transicional (Figura 19).

- Depósito 4 (2,80-7,30m): en la base presenta textura limo arenosa y estructura masiva, color en seco pardo amarillento/anaranjado (10YR 7/3), pH 9,84 y contenido de Carbono Orgánico 1,22%.

Cercano a la base presenta un paleocanal efímero en el que se desarrolla un paleosuelo (ver micromorfología), de 0,56m de espesor con textura arena limosa y evidencias de laminación plano paralela (Figura 19). Lateralmente en la sección sedimentaria se presentan otros paleocanales hacia el techo (Figura 20), con las mismas características sedimentológicas, pero cada vez menos potentes. Esta disminución de espesor registrada en los paleocanales, puede deberse a un proceso de aridización climática creciente.

Hacia el techo del depósito, la textura y estructura no registran variaciones con respecto a la base; pero el color se torna pardo anaranjado (7,5YR 7/3), pH 9,74 y contenido de Carbono Orgánico 1,31%. El contacto con el depósito suprayacente es neto (Figura 21).

- Paleosuelo (7,30-8,55m): dentro de un paleocanal lenticular, de grandes dimensiones y con al menos evidencias de 3 pulsos fluviales, se presenta un paleosuelo con horizontes Bt. Estos horizontes tienen textura limo arenosa, estructura prismática gruesa y en los Bt superiores estructura prismática más fina; consistencia en seco dura a muy dura; color pardo anaranjado (7,5YR 6/3), pH 8,50 y contenido de Carbono Orgánico 1,27%. El contacto con el depósito suprayacente es neto (Figura 21).

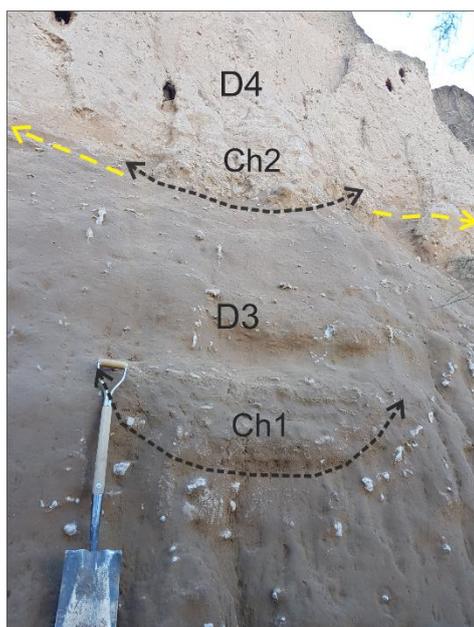


Figura 19. Depósito 3 y 4 (D3 y D4 respectivamente) con paleocanales efímeros (Ch1 y Ch2).

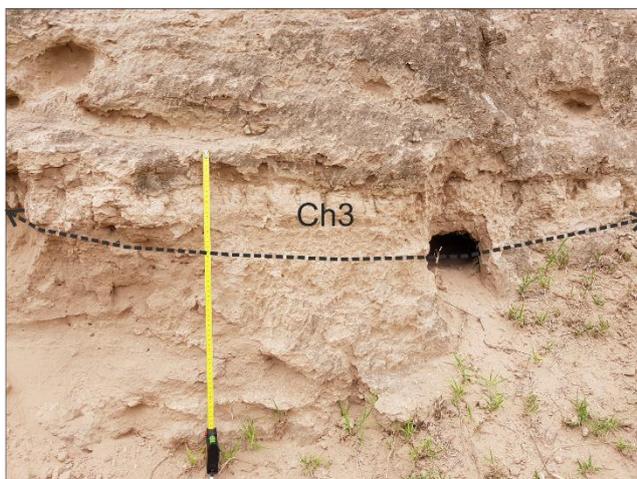


Figura 20. Depósito 4 en su parte superior(D4) con desarrollo de paleocanal efímero (Ch3).

- Depósito 5 (8,55-9,95 m): tiene textura areno limosa y estructura masiva; color pardo amarillento/anaranjado (10YR 7/3), pH 9,47 y contenido de Carbono Orgánico de 0,89%. El contacto con el depósito suprayacente es de tipo transicional (Figura 21).
- Suelo actual (9,55-11,45 m): de moderado grado de desarrollo, presenta una secuencia de horizontes A-Bw-BC-C, correspondiendo a un Hapludol típico, coincidiendo con lo mencionado por diversos autores para la región (Figura 22).

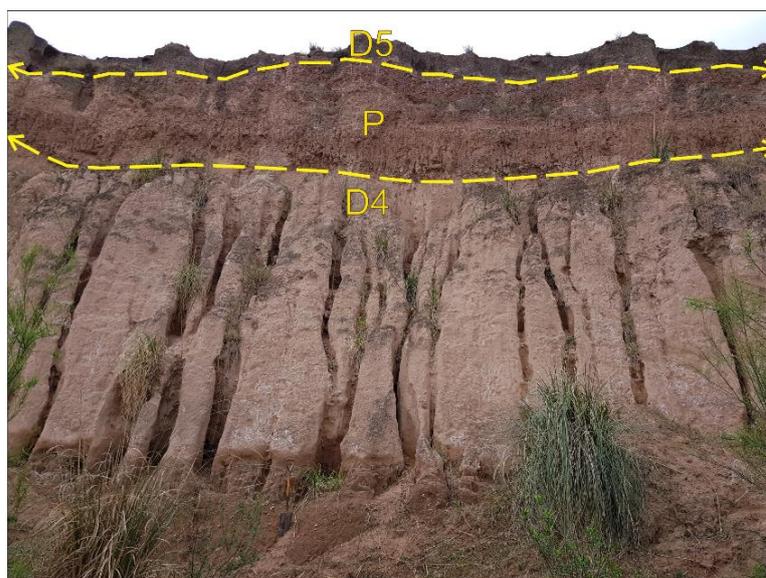


Figura 21. Límites entre los depósitos de la parte superior del perfil, entre ellos el depósito 5, 6 y el paleosuelo (D5, D6 y P respectivamente).



Figura 22. Suelo actual.

IV.2.2. DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA DE ARENAS MUY FINAS

A continuación se describe la mineralogía de arenas muy finas, para los diferentes depósitos y paleosuelos estudiados:

- Depósito 1 (Figura 23):
 - Cuarzo (20%): predominan granos subangulosos de baja esfericidad, escasamente alterados.
 - Feldespato/Plagioclasa (32%): compuestos por cristales subangulosos de baja esfericidad.
 - Líticos (3%): granos angulosos de alta esfericidad.
 - Vidrios volcánicos (17%): cristales muy angulosos a angulosos de baja esfericidad, con alteración moderada a baja.
 - Biotita (5%): minerales angulosos a muy angulosos de baja esfericidad, con alteración moderada a baja.
 - Muscovita (3%): granos angulosos de baja esfericidad.
 - Olivinos/Piroxenos (5%): cristales angulosos a subangulosos de baja esfericidad.
 - Minerales Opacos (15%): Granos subangulosos de alta esfericidad.

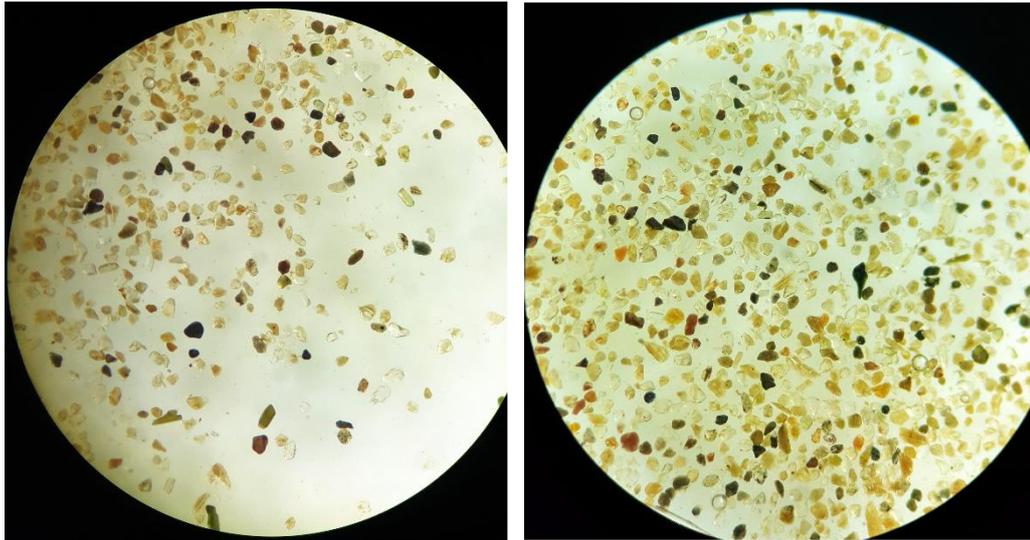


Figura 23. Mineralogía del depósito 1.

• Depósito 2 (Figura 24):

- Cuarzo (17%): granos subangulosos de baja esfericidad, escasamente alterados.
- Feldespato/Plagioclasa (25%): compuestos por cristales subangulosos de baja esfericidad.
- Líticos (4%): granos angulosos a subangulosos de alta esfericidad.
- Vidrios volcánicos (21%): cristales angulosos a muy angulosos de baja esfericidad, con alteración reducida.
- Biotita (5%): minerales angulosos a subangulosos de baja esfericidad, con alteración moderada.
- Muscovita (3%): granos angulosos de baja esfericidad.
- Olivinos/Piroxenos (10%): cristales angulosos a subangulosos de baja esfericidad, con alteración moderada a baja.
- Minerales Opacos (15%): Granos angulosos a subangulosos de alta esfericidad.

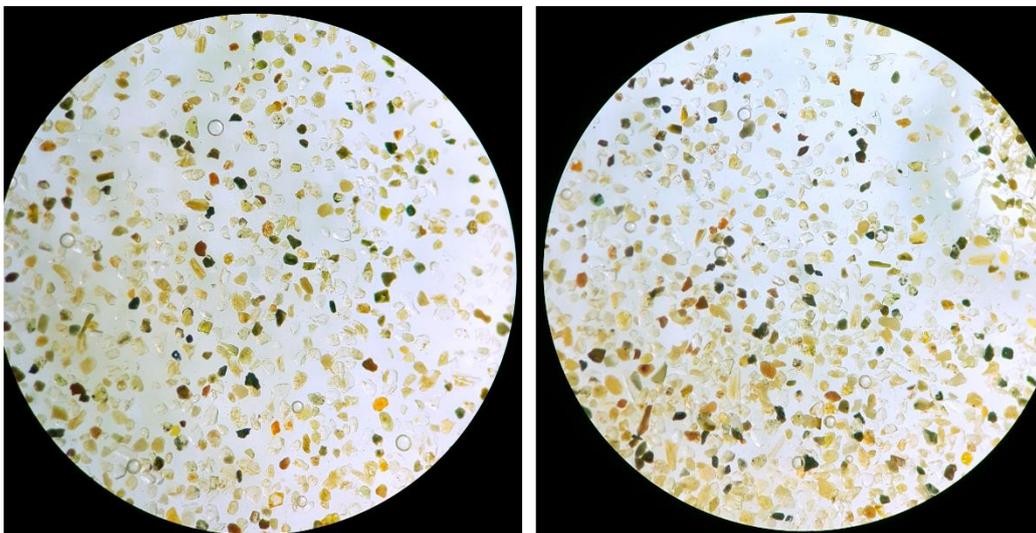


Figura 24. Mineralogía del depósito 2.

- Depósito 3 (Figura 25):

- Cuarzo (20%): granos angulosos a subangulosos de baja esfericidad.
- Feldespato/Plagioclasa (25%): compuestos por cristales subangulosos de alta esfericidad, con alteración moderada.
- Líticos (7%): granos subangulosos de alta esfericidad.
- Vidrios volcánicos (25%): cristales angulosos a subangulosos de baja esfericidad, con alteración moderada a baja.
- Biotita (5%): minerales angulosos a subangulosos de baja esfericidad.
- Muscovita (3%): granos angulosos de baja esfericidad.
- Olivinos/Piroxenos (5%): cristales angulosos a subangulosos de baja esfericidad, con alteración moderada a baja.
- Minerales Opacos (10%): Granos angulosos a subangulosos de alta esfericidad.

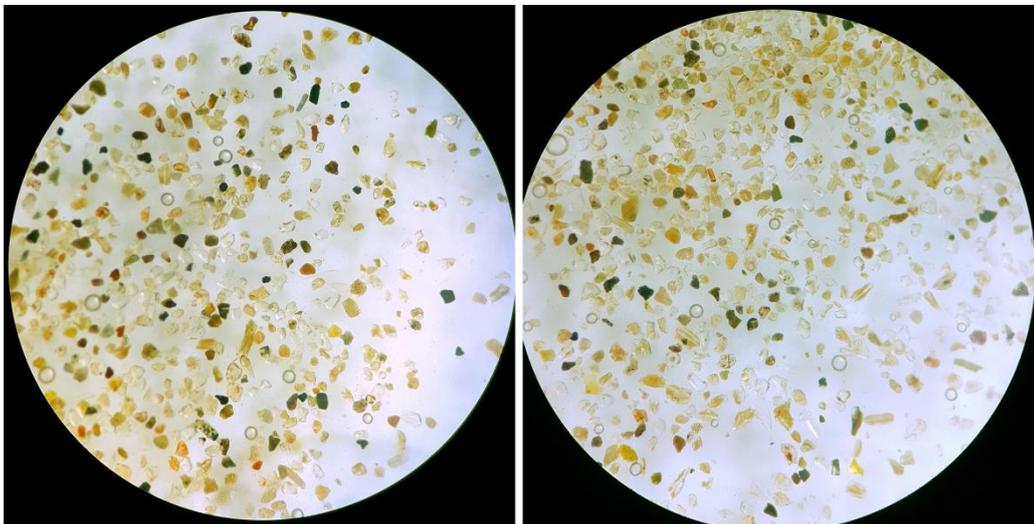


Figura 25. Mineralogía del depósito 3.

- Paleosuelo 1 (Figura 26):

- Cuarzo (24%): granos subangulosos de baja esfericidad.
- Feldespato/Plagioclasa (20%): compuestos por cristales angulosos a subangulosos de alta esfericidad.
- Líticos (4%): granos angulosos a subangulosos de baja esfericidad.
- Vidrios volcánicos (28%): cristales angulosos a subangulosos de baja esfericidad, con alteración moderada.
- Biotita (3%): minerales angulosos a subangulosos de baja esfericidad.
- Muscovita (2%): granos angulosos a subangulosos de baja esfericidad.
- Olivinos/Piroxenos (7%): cristales angulosos a subangulosos de baja esfericidad.
- Minerales Opacos (12%): Granos angulosos a subangulosos de alta esfericidad.

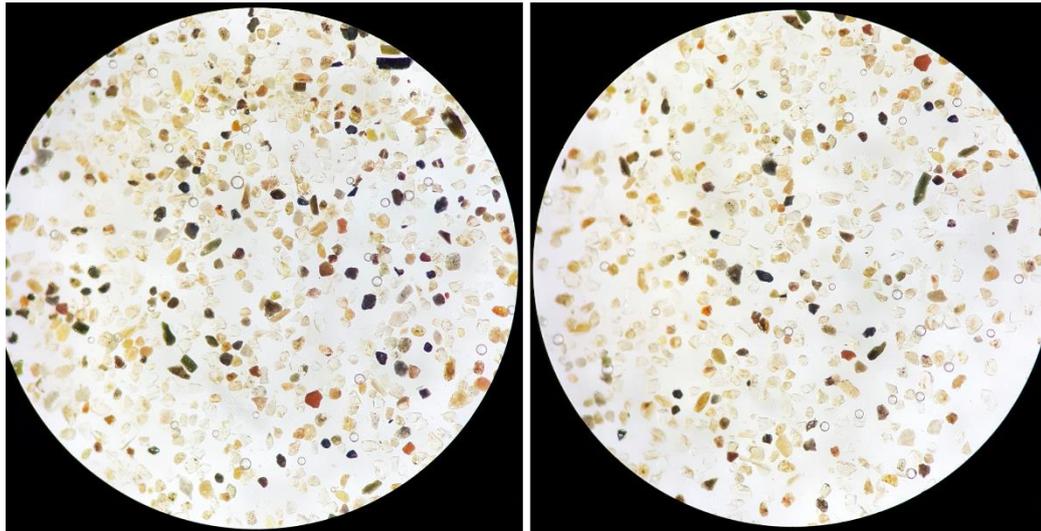


Figura 26. Mineralogía del paleosuelo 1.

• Depósito 4 (Figura 27):

- Cuarzo (15%): granos angulosos a subangulosos de baja esfericidad.
- Feldespato/Plagioclasa (22%): compuestos por cristales angulosos a subangulosos de alta esfericidad, con alteración moderada.
- Líticos (4%): granos angulosos a subangulosos de alta esfericidad.
- Vidrios volcánicos (27%): cristales angulosos a subangulosos de baja esfericidad, con alteración moderada a baja.
- Biotita (7%): minerales angulosos a subangulosos de baja esfericidad.
- Muscovita (3%): granos angulosos de baja esfericidad.
- Olivinos/Piroxenos (7%): cristales angulosos a subangulosos de baja esfericidad.
- Minerales Opacos (15%): Granos angulosos a subangulosos de alta esfericidad.

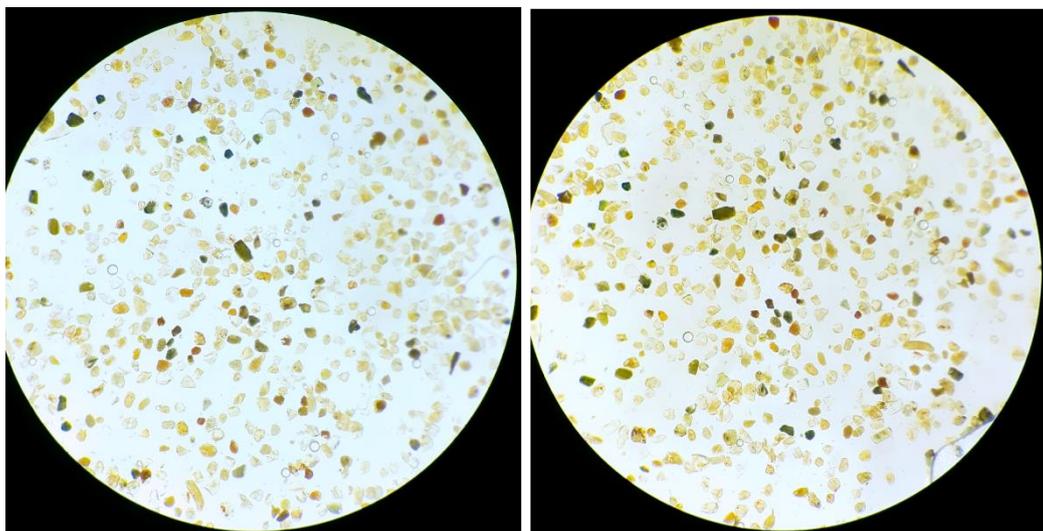


Figura 27. Mineralogía del depósito 4..

- Paleosuelo 2 (Figura 28):

- Cuarzo (24%): granos subangulosos de baja esfericidad.
- Feldespato/Plagioclasa (22%): compuestos por cristales subangulosos de alta esfericidad.
- Líticos (4%): granos subangulosos de alta esfericidad.
- Vidrios volcánicos (30%): cristales angulosos a subangulosos de baja esfericidad, con bajo grado de alteración.
- Biotita (4%): minerales angulosos a subangulosos de baja esfericidad.
- Muscovita (2%): granos angulosos a subangulosos de baja esfericidad.
- Olivinos/Piroxenos (7%): cristales angulosos a subangulosos de baja esfericidad.
- Minerales Opacos (7%): Granos angulosos a subangulosos de alta esfericidad.

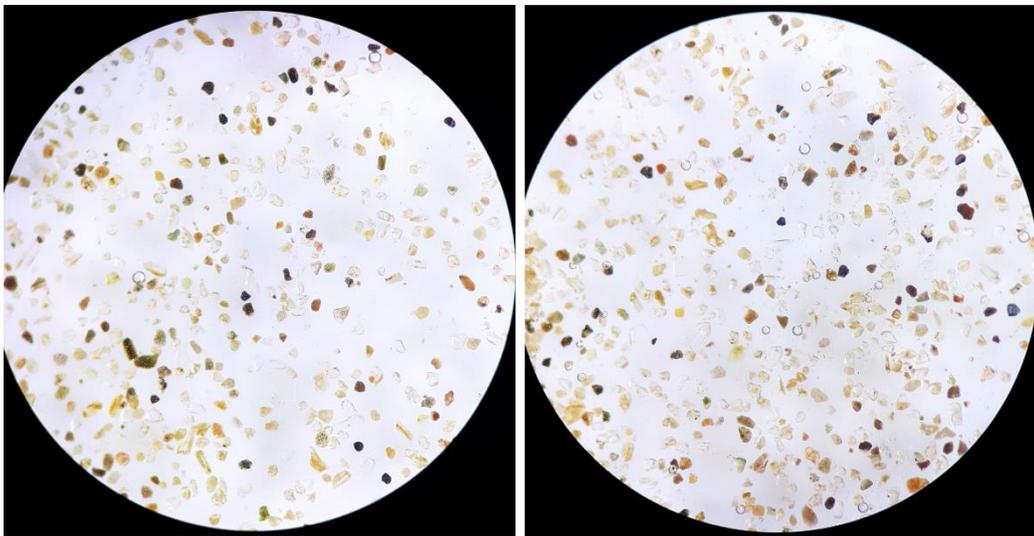


Figura 28. Mineralogía del paleosuelo 2.

- Paleosuelo 3 (Figura 29):

- Cuarzo (25%): granos subangulosos de baja esfericidad.
- Feldespato/Plagioclasa (23%): compuestos por cristales subangulosos de alta esfericidad.
- Líticos (6%): granos angulosos a subangulosos de alta esfericidad.
- Vidrios volcánicos (28%): cristales angulosos a subangulosos de baja esfericidad, con bajo grado de alteración.
- Biotita (4%): minerales subangulosos de baja esfericidad.
- Muscovita (2%): granos angulosos a subangulosos de baja esfericidad.
- Olivinos/Piroxenos (5%): cristales angulosos a subangulosos de baja esfericidad.
- Minerales Opacos (7%): Granos angulosos a subangulosos de alta esfericidad.

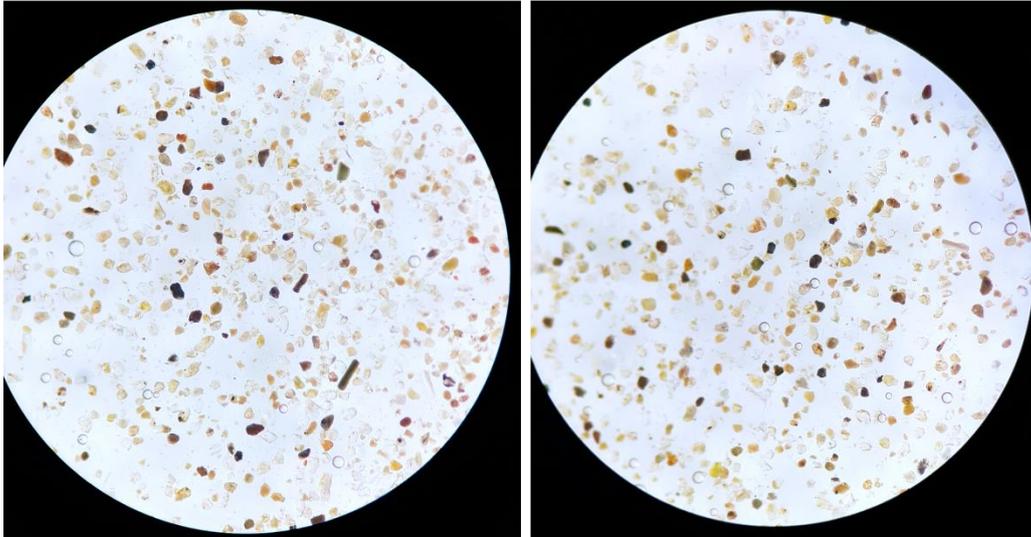


Figura 29. Mineralogía del paleosuelo

• Depósito 5 (Figura 30):

- Cuarzo (17%): granos angulosos a subangulosos de baja esfericidad.
- Feldespato/Plagioclasa (20%): compuestos por cristales angulosos a subangulosos de alta esfericidad.
- Líticos (4%): granos angulosos a subangulosos de alta esfericidad.
- Vidrios volcánicos (28%): cristales angulosos a subangulosos de baja esfericidad, con alteración moderada a baja.
- Biotita (8%): minerales angulosos de baja esfericidad.
- Muscovita (3%): granos angulosos de baja esfericidad.
- Olivinos/Piroxenos (5%): cristales angulosos de baja esfericidad.
- Minerales Opacos (15%): Granos angulosos a subangulosos de alta esfericidad.

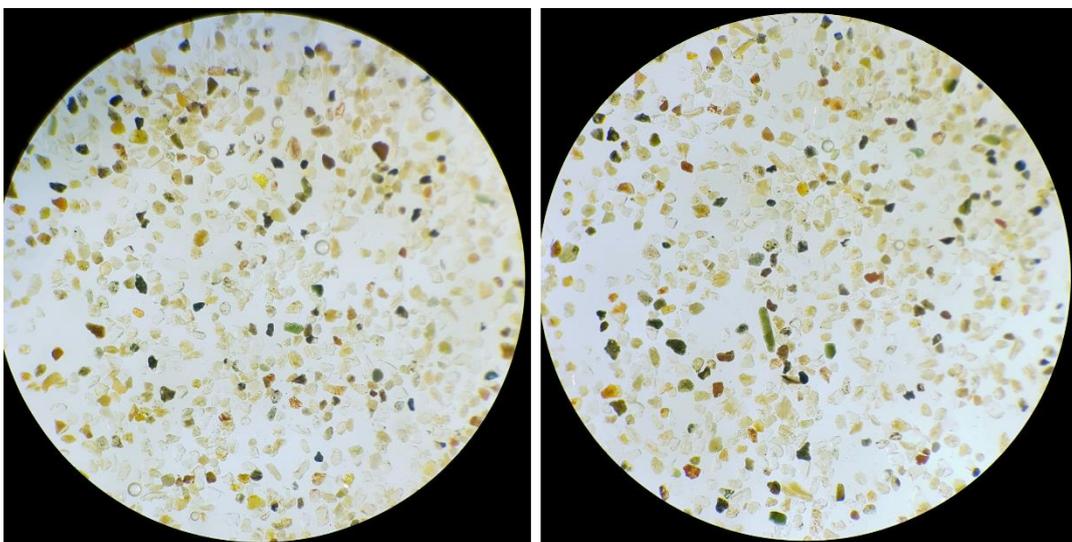


Figura 30. Mineralogía del depósito 5

En base a lo descrito se puede establecer que los depósitos identificados como 1 y 2, los materiales constituyentes tendrían una procedencia asociada tanto a materiales de la cordillera andina como de las sierras pampeanas; con predominancia de este último. Esto se debe a una menor proporción de vidrio volcánico que el resto de los depósitos, como así también, la presencia de minerales característicos de dicha región que presentan bajo grado de esfericidad; integrados por cuarzo, feldespatos potásicos, plagioclasa, piroxenos, fragmentos líticos, entre otros.

Para el resto de los depósitos analizados, en cambio, se suponen las mismas áreas de procedencia pero con un predominio de materiales de la cordillera andina. La mineralogía presenta una mayor proporción de vidrio volcánico con respecto a los dos primeros depósitos y, a su vez, mayor grado de esfericidad debido al desgaste producido durante su transporte, el cual es mayor si se lo compara con los materiales provenientes de las Sierras Pampeanas. Con respecto al vidrio volcánico, el mismo se encuentra en formas angulosas a subangulosas y no es afectado por dicho redondeamiento debido a que, al ser más liviano, se transporta en suspensión.

Las áreas de procedencia mencionadas coinciden con lo expuesto para el sur de la provincia de Córdoba por Becker (1987, 2006), Cantú (1992), Schiavo (2003), Grumelli (2010); entre diversos autores.

IV.2.3. PARÁMETROS ESTADÍSTICOS SEDIMENTOLÓGICOS

En el presente apartado, las fracciones granulométricas separadas según los rangos establecidos por el Soil Survey Manual (1993) se adaptaron a la escala Udden-Wentworth y se transformaron logarítmicamente en valores Φ establecidos por Krumbein, (1934), lo cual es óptimo para la representación gráfica y manipulación estadística de las frecuencias. Las características sedimentológicas y los parámetros estadísticos estudiados en este capítulo corresponden a los establecidos por Folk & Ward (1957) y son:

- La **media** y la **mediana** son las medidas de la tendencia central y reflejan la energía cinética media del agente de transporte.
- La **desviación standard** muestra el grado de selección granulométrica, refleja el tipo de agente de transporte y es una medida de su grado de fluidez o viscosidad. La selección es más baja cuantos mayores intervalos de grados estén involucrados en la distribución granulométrica.

- La **asimetría** muestra si la distribución es simétrica o asimétrica con respecto a la moda y la media. Las distribuciones con asimetría positiva poseen una cola de finos, mientras que las de asimetría negativa tienen una cola de materiales gruesos.
- La **curtosis** es una medida comparativa entre la selección en el centro de la distribución y en los extremos o colas. La distribución leptocúrtica posee mejor selección en el centro que en las colas de la distribución. La inversa sucede en la distribución platicúrtica.

Para el tratamiento y procesado de los datos se empleó el programa GRADISTAT versión 8.0 (2010), desarrollado en el Department of Geology at Royal Holloway University of London, UK. A continuación, se describen las características sedimentológicas y los parámetros estadísticos para los diferentes depósitos analizados:

- Depósito 1: compuesto por arenas (40,2%), limos (46,6%) y arcillas (13,2%). Los parámetros estadísticos calculados a partir de los resultados del análisis granulométrico indican un tipo de muestra unimodal, muy pobremente seleccionada, muy positiva y muy leptocúrtica (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros estadísticos para la caracterización sedimentológica.

METODO DE FOLK & WARD			
	Geométrico Mm	Logarítmico Φ	Descripción
Media	25,15	5,313	Limo grueso
Desvío	9,586	3,261	Muy pobremente seleccionada
Asimetría	-0,744	0,744	Muy Positiva
Curtosis	1,545	1,545	Muy Leptocúrtica
D10:	0,309	3,129	
D90:	114,3	11,66	
(D90 / D10):	369,6	3,726	
(D90 - D10):	114,0	8,530	
(D75 / D25):	10,80	1,962	
(D75 - D25):	76,45	3,433	

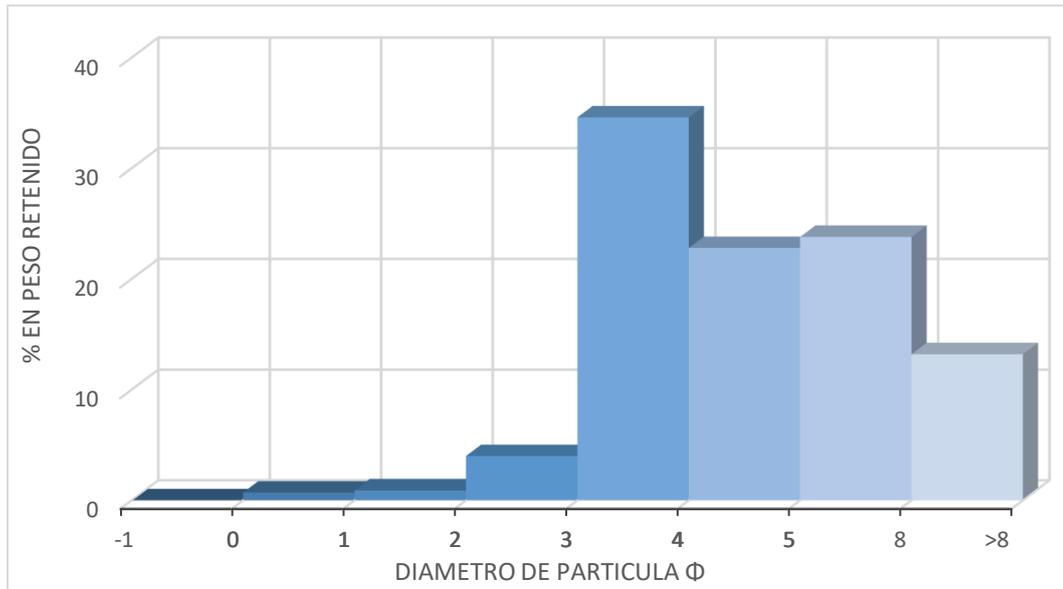


Figura 31. Curva de distribución de partículas Φ .

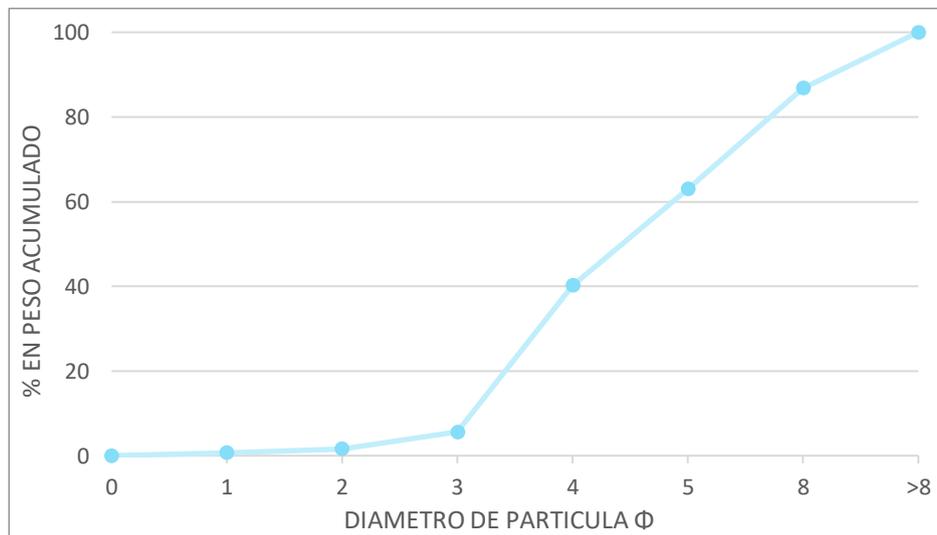


Figura 32. Curva de frecuencias acumuladas Φ .

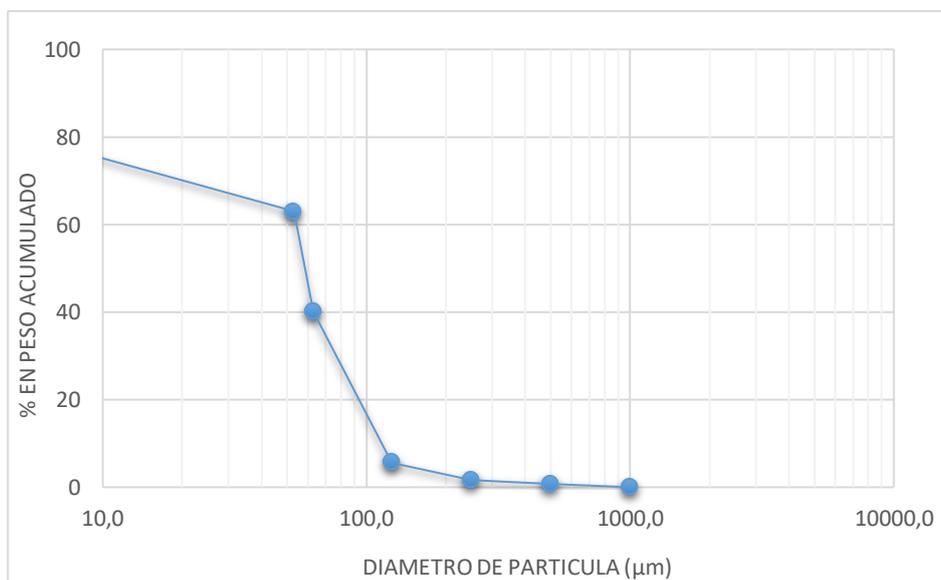


Figura 33. Curva de frecuencias acumuladas μm .

Las curvas de distribución del tamaño de partícula (Figura 31) y las curvas de frecuencias acumuladas (Figuras 32 y 33) muestran que el tamaño predominante es la arena muy fina (34,6%) y en menor proporción el limo grueso (28,8%), siendo la media de 5,313 Φ .

En base a los estudios paleoambientales de los parámetros estadísticos realizados por Mason & Folk (1958), como así también, los establecidos por Füchtbauer & Müller (1970) e incluyendo las evidencias de campo; se puede indicar que los materiales corresponden a sedimentos aluviales.

- Depósito 2: compuesto principalmente por arenas (69,5%), limos (24,9%) y arcillas (5,6%). Los parámetros estadísticos calculados a partir de los resultados del análisis granulométrico indican un tipo de muestra unimodal, pobremente seleccionada, muy positiva y extremadamente leptocúrtica (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros estadísticos para la caracterización sedimentológica.

METODO DE FOLK & WARD			
	Geométrico μm	Logarítmico Φ	Descripción
Media	77,79	3,684	Arena muy fina
Desvío	2,655	1,409	Pobremente seleccionada
Asimetría	-0,356	0,356	Muy positiva
Curtosis	3,855	3,855	Extremadamente leptocúrtica
D10:	9,203	3,045	
D90:	121,1	6,764	
(D90 / D10):	13,16	2,221	
(D90 - D10):	111,9	3,718	
(D75 / D25):	1,739	1,243	
(D75 - D25):	43,57	0,799	

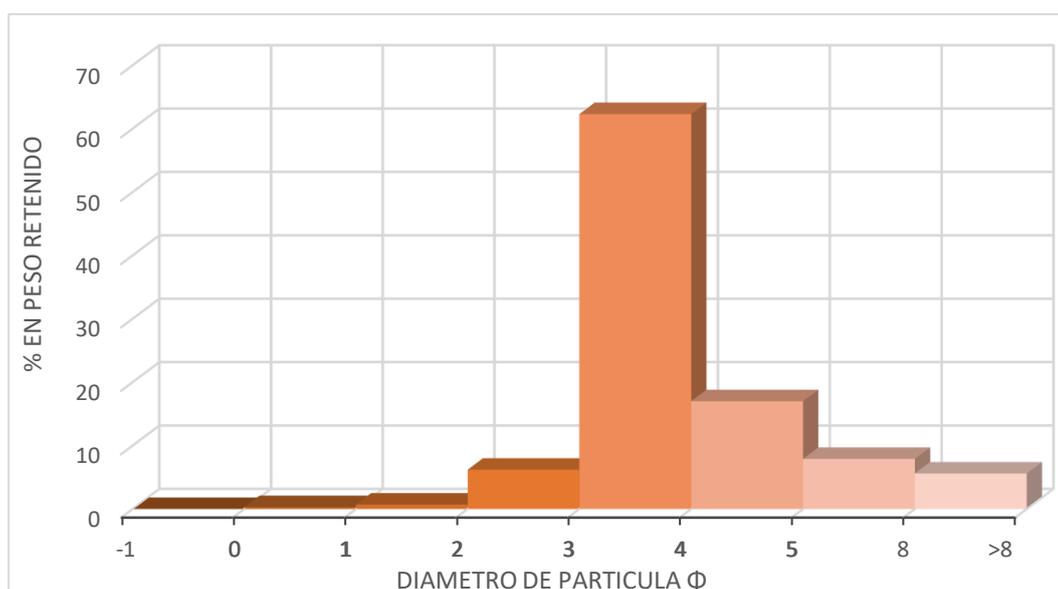


Figura 34. Curva de distribución de partículas Φ .

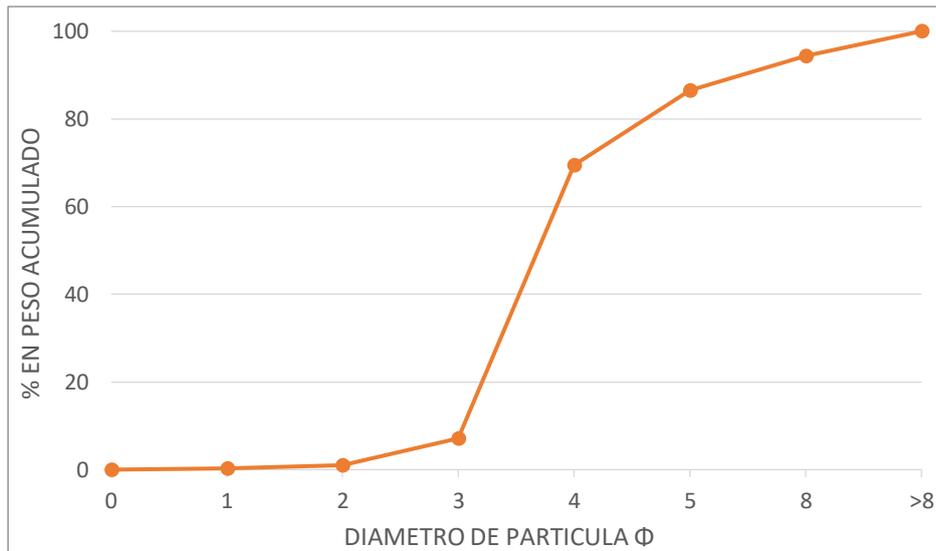


Figura 35. Curva de frecuencias acumuladas Φ.

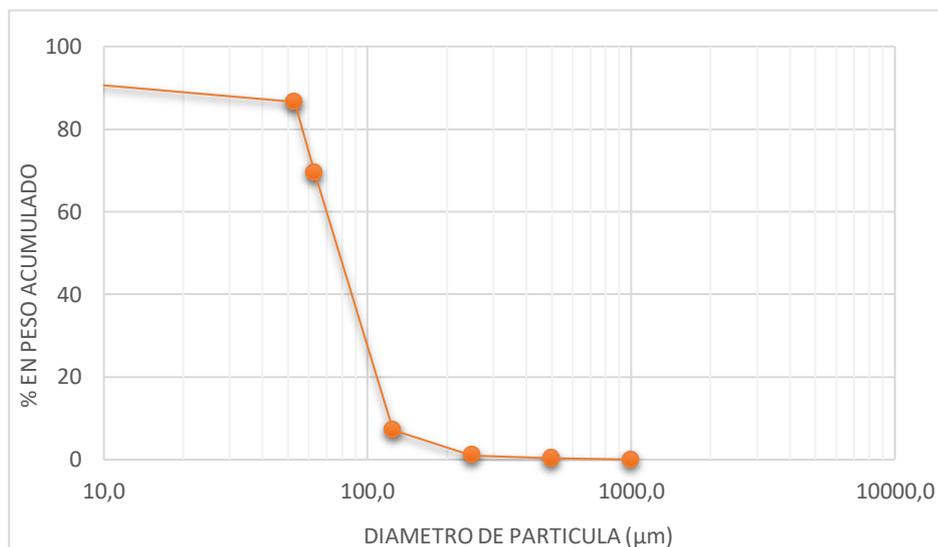


Figura 36. Curva de frecuencias acumuladas μm.

Las curvas de distribución del tamaño de partícula (Figura 34) y las curvas de frecuencias acumuladas (Figuras 35 y 36) muestran que el tamaño predominante es la arena muy fina (62,3%), siendo la media de 3,684 Φ.

En base a los estudios paleoambientales de los parámetros estadísticos realizados por Mason & Folk (1958), como así también, los establecidos por Füchtbauer & Müller (1970) e incluyendo las evidencias de campo; se puede indicar que los materiales corresponden a sedimentos paludiales.

- **Depósito 3:** compuesto principalmente por arenas (69,3%), limos (19,1%) y arcillas (11,6%). Los parámetros estadísticos calculados a partir de los resultados del análisis granulométrico indican un tipo de muestra unimodal, muy pobremente seleccionada, muy positiva y extremadamente leptocúrtica (Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros estadísticos para la caracterización sedimentológica.

METODO DE FOLK & WARD			
	Geométrico μm	Logarítmico Φ	Descripción
Media	37,46	4,739	Limo muy grueso
Desvío	7,811	2,966	Muy pobremente seleccionada
Asimetría	-0,790	0,790	Muy positiva
Curtosis	5,493	5,493	Extremadamente leptocúrtica
D10:	0,687	3,049	
D90:	120,8	10,51	
(D90 / D10):	175,8	3,446	
(D90 - D10):	120,1	7,458	
(D75 / D25):	1,916	1,285	
(D75 - D25):	48,96	0,938	

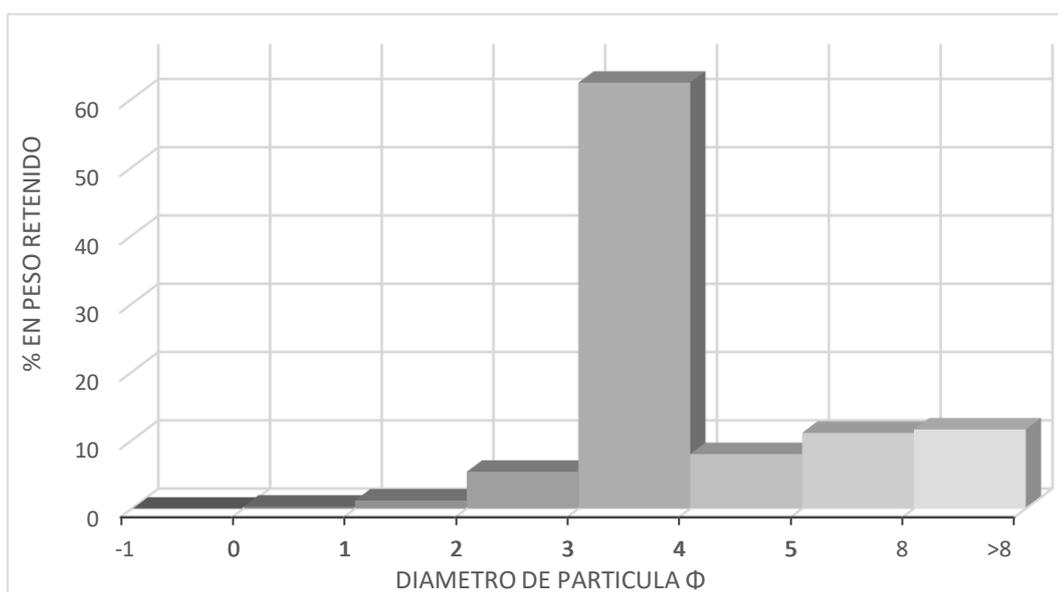


Figura 37. Curva de distribución de partículas Φ.

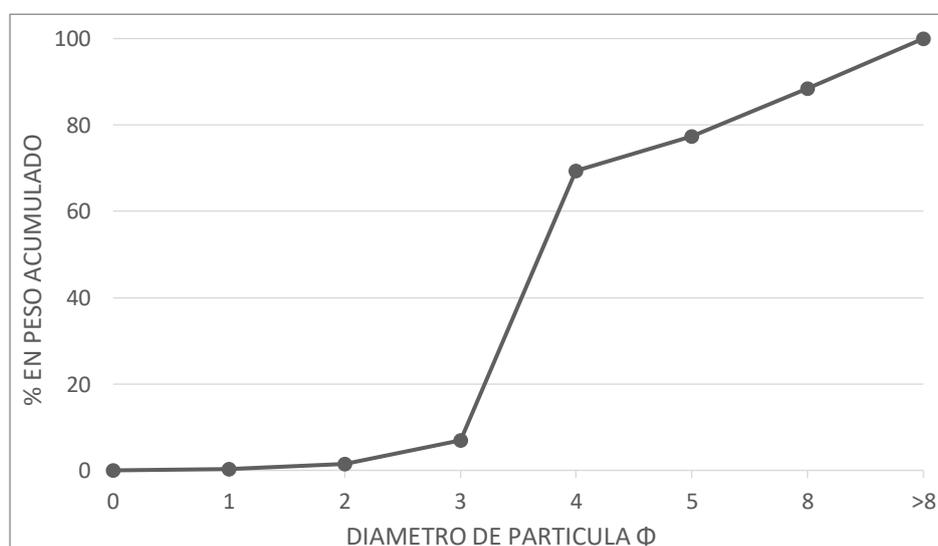


Figura 38. Curva de frecuencias acumuladas Φ.

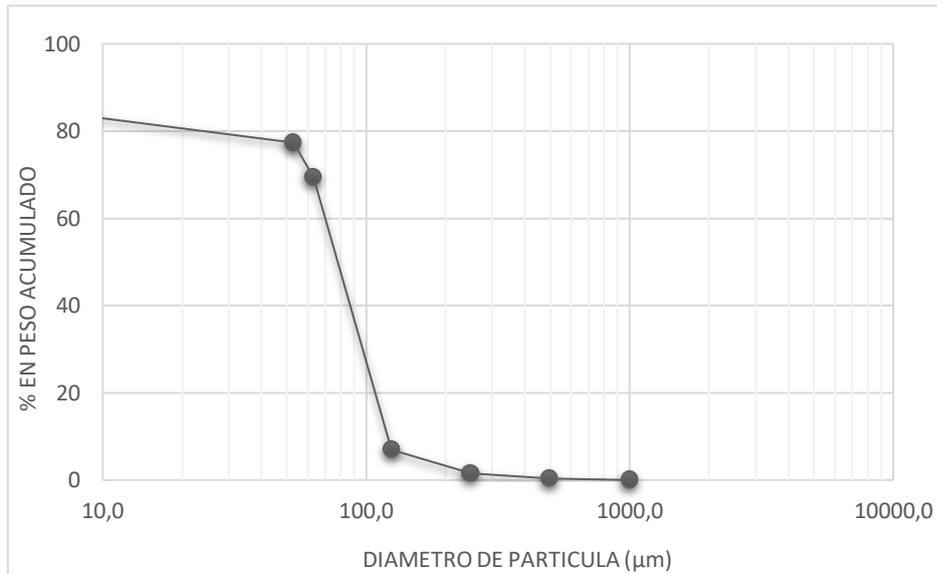


Figura 39. Curva de frecuencias acumuladas µm.

Las curvas de distribución del tamaño de partícula (Figura 37) y las curvas de frecuencias acumuladas (Figuras 38 y 39) muestran que el tamaño predominante es la arena muy fina (62,4%), siendo la media de 4,739 Φ .

En base a los estudios paleoambientales de los parámetros estadísticos realizados por Mason & Folk (1958), como así también, los establecidos por Füchtbauer & Müller (1970) e incluyendo las evidencias de campo; se puede indicar que los materiales corresponden a sedimentos eólicos del tipo loessoides.

- Paleosuelo1: compuesto principalmente por arenas (52,2%), limos (31,9%) y arcillas (15,9%). Los parámetros estadísticos calculados a partir de los resultados del análisis granulométrico indican un tipo de muestra unimodal, muy pobremente seleccionada, muy positiva y leptocúrtica (Tabla 4).

Tabla 4. Parámetros estadísticos para la caracterización sedimentológica.

METODO DE FOLK & WARD			
	Geométrico µm	Logarítmico Φ	Descripción
Media	24,18	5,370	Limo grueso
Desvío	11,46	3,518	Muy pobremente seleccionada
Asimetría	-0,784	0,784	Muy positiva
Curtois	1,482	1,482	Leptocúrtica
D10:	0,118	3,078	
D90:	118,4	13,05	
(D90 / D10):	1003,3	4,239	
(D90 - D10):	118,3	9,971	
(D75 / D25):	13,92	2,116	
(D75 - D25):	87,63	3,799	

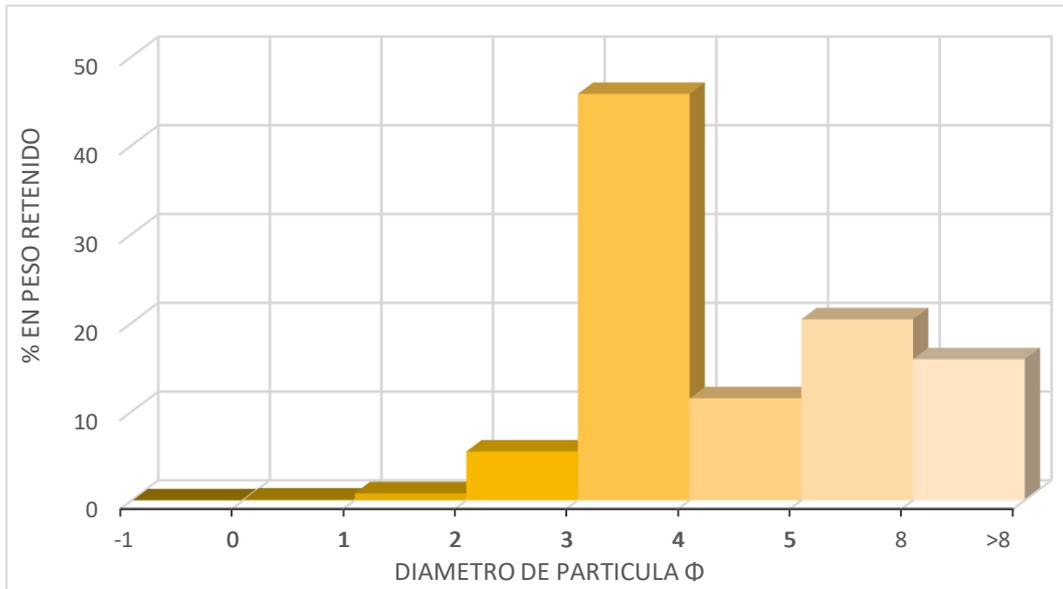


Figura 40. Curva de distribución de partículas Φ .

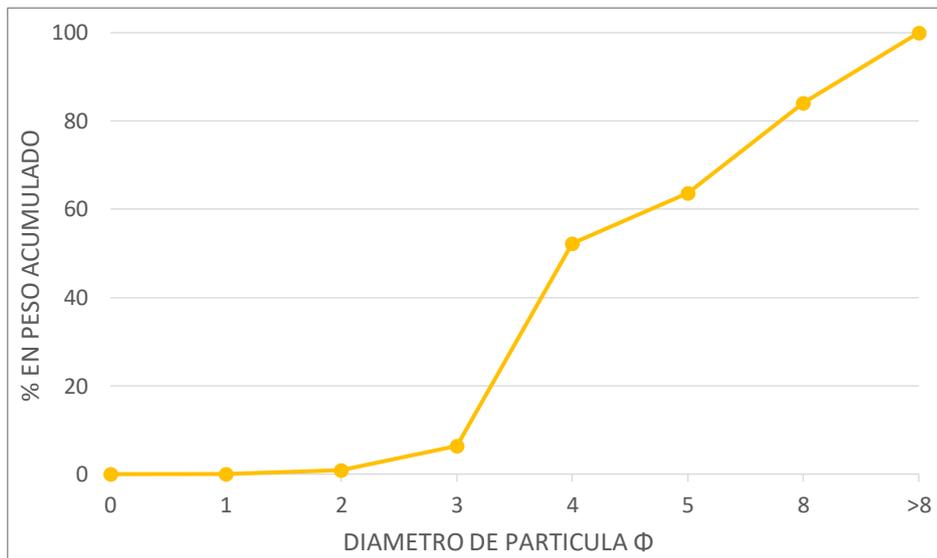


Figura 41. Curva de frecuencias acumuladas Φ .

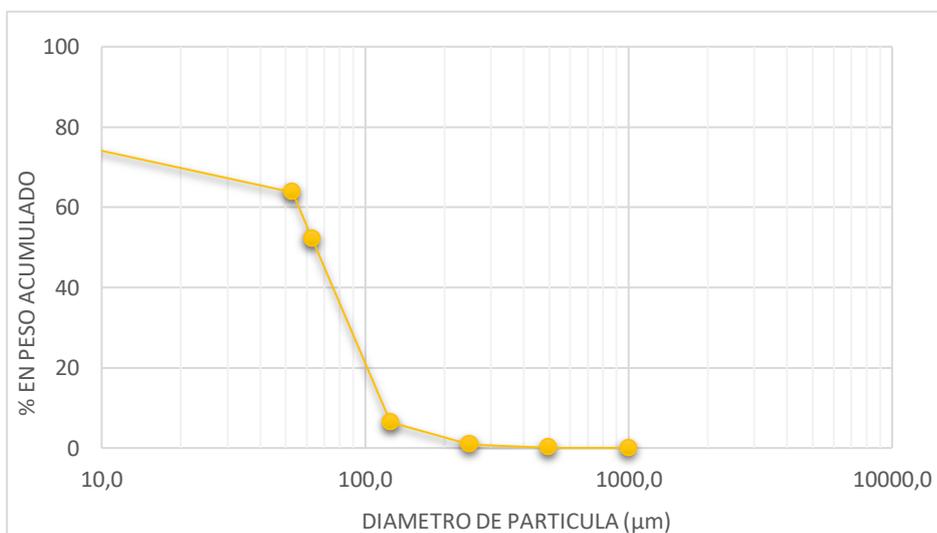


Figura 39. Curva de frecuencias acumuladas μm .

Las curvas de distribución del tamaño de partícula (Figura 40) y las curvas de frecuencias acumuladas (Figuras 41 y 42) muestran que el tamaño predominante es la arena muy fina (45,8%) y en menor medida la arena muy fina, siendo la media de 5,370 Φ .

En base a los estudios paleoambientales de los parámetros estadísticos realizados por Mason & Folk (1958), como así también, los establecidos por Füchtbauer & Müller (1970) e incluyendo las evidencias de campo; se puede indicar que los materiales corresponden a sedimentos eólicos del tipo loessoides.

- **Depósito 4**: compuesto principalmente por arenas (47,5%) limos (40,2%) y arcillas (12,3%). Los parámetros estadísticos calculados a partir de los resultados del análisis granulométrico indican un tipo de muestra unimodal, muy pobremente seleccionada, muy positiva y leptocúrtica (Tabla 5).

Tabla 5. Parámetros estadísticos para la caracterización sedimentológica.

METODO DE FOLK & WARD			
	Geométrico μm	Logarítmico Φ	Descripción
Media	26,37	5,245	Limo grueso
Desvío	9,013	3,172	Muy pobremente seleccionada
Asimetría	-0,760	0,760	Muy positiva
Curtosis	1,434	1,434	Leptocúrtica
D10:	0,484	3,127	
D90:	114,4	11,01	
(D90 / D10):	236,2	3,521	
(D90 - D10):	114,0	7,884	
(D75 / D25):	11,80	2,025	
(D75 - D25):	82,29	3,561	

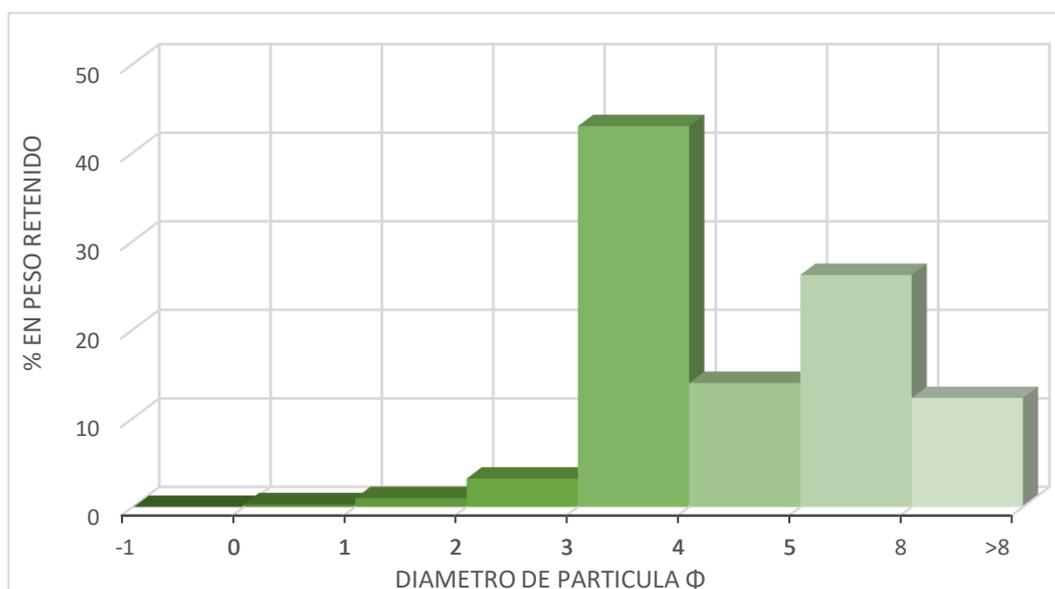


Figura 43. Curva de distribución de partículas Φ .

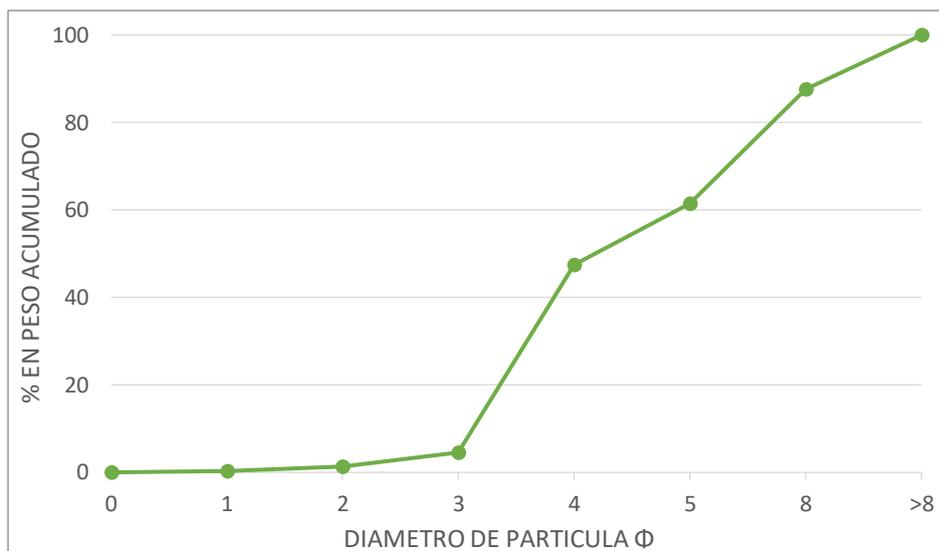


Figura 44. Curva de frecuencias acumuladas Φ.

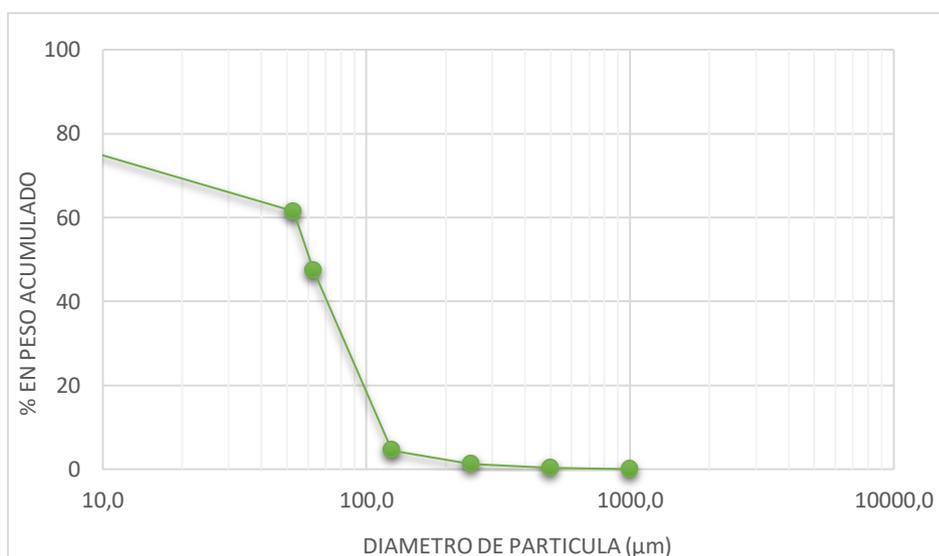


Figura 45. Curva de frecuencias acumuladas μm.

Las curvas de distribución del tamaño de partícula (Figura 43) y las curvas de frecuencias acumuladas (Figuras 44 y 45) muestran que el tamaño predominante es la arena muy fina (43%) siendo la media de 5,245 Φ.

En base a los estudios paleoambientales de los parámetros estadísticos realizados por Mason & Folk (1958), como así también, los establecidos por Füchtbauer & Müller (1970) e incluyendo las evidencias de campo; se puede indicar que los materiales corresponden a sedimentos eólicos del tipo loessoides.

- Paleosuelo 2: compuesto principalmente por arenas (53,2%), limos (31,3%) y arcillas (15,5%). Los parámetros estadísticos calculados a partir de los resultados del análisis granulométrico indican un tipo de muestra unimodal, muy pobremente seleccionada, muy positiva y leptocúrtica (Tabla 6).

Tabla 6. Parámetros estadísticos para la caracterización sedimentológica.

METODO DE FOLK & WARD			
	Geométrico μm	Logarítmico Φ	Descripción
Media	24,61	5,345	Limo grueso
3,438	10,84	3,438	Muy pobremente seleccionada
Asimetría	-0,808	0,808	Muy positiva
Curtosis	1,480	1,480	Leptocúrtica
D10:	0,134	3,110	
D90:	115,8	12,86	
(D90 / D10):	861,8	4,135	
(D90 - D10):	115,6	9,751	
(D75 / D25):	13,07	2,085	
(D75 - D25):	86,40	3,708	

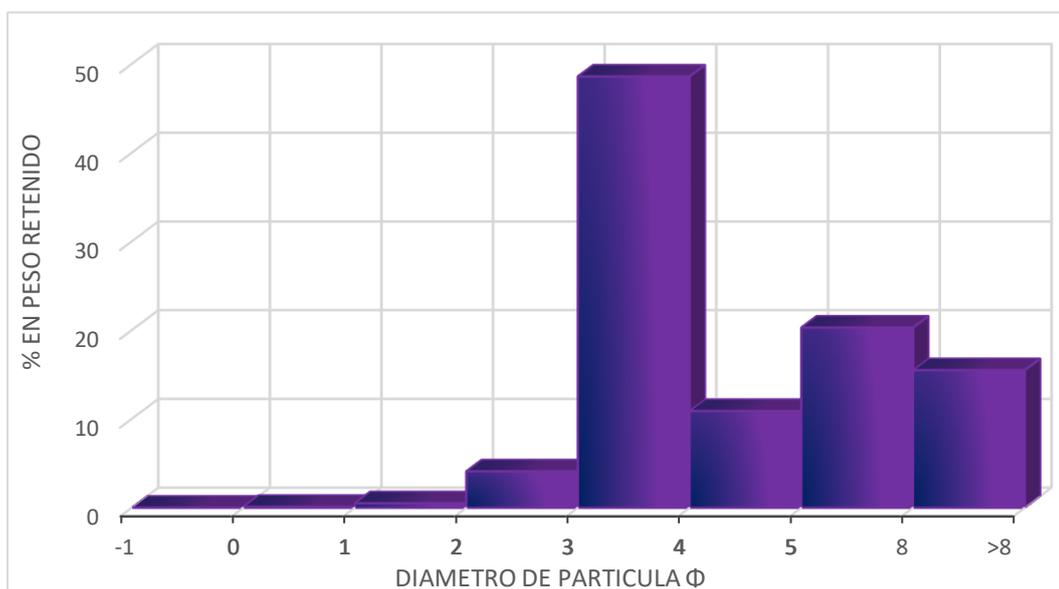


Figura 46. Curva de distribución de partículas Φ .

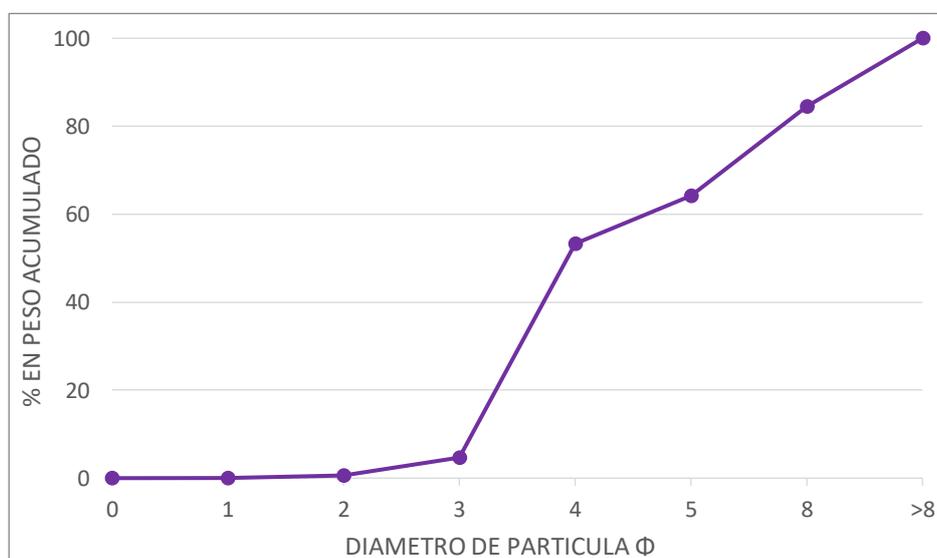


Figura 47. Curva de frecuencias acumuladas Φ .

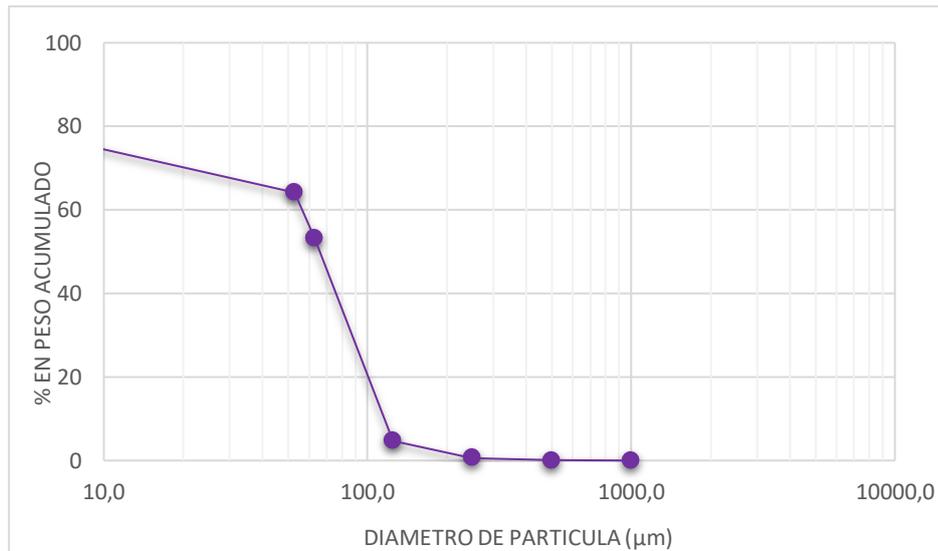


Figura 48. Curva de frecuencias acumuladas μm .

Las curvas de distribución del tamaño de partícula (Figura 46) y las curvas de frecuencias acumuladas (Figuras 47 y 48) muestran que el tamaño predominante es la arena muy fina (48,6%) y en menor medida la arena muy fina, siendo la media de 5,345 Φ .

En base a los estudios paleoambientales de los parámetros estadísticos realizados por Mason & Folk (1958), como así también, los establecidos por Füchtbauer & Müller (1970) e incluyendo las evidencias de campo; se puede indicar que los materiales corresponden a sedimentos eólicos del tipo loessoides.

- Paleosuelo 3: compuesto principalmente por arenas (48,1%), limos (35,1%) y arcillas (16,8%). Los parámetros estadísticos calculados a partir de los resultados del análisis granulométrico indican un tipo de muestra unimodal, muy pobremente seleccionada, muy positiva y leptocúrtica (Tabla 7).

Tabla 7. Parámetros estadísticos para la caracterización sedimentológica.

	METODO DE FOLK & WARD		Descripción
	Geométrico μm	Logarítmico Φ	
Media	20,51	5,607	Limo grueso
Desvío	12,35	3,627	Muy pobremente seleccionada
Asimetría	-0,798	0,798	Muy positiva
Curtosis	1,380	1,380	Leptocúrtica
D10:	0,092	3,131	
D90:	114,1	13,41	
(D90 / D10):	1243,4	4,283	
(D90 - D10):	114,0	10,28	
(D75 / D25):	16,62	2,168	
(D75 - D25):	84,69	4,055	

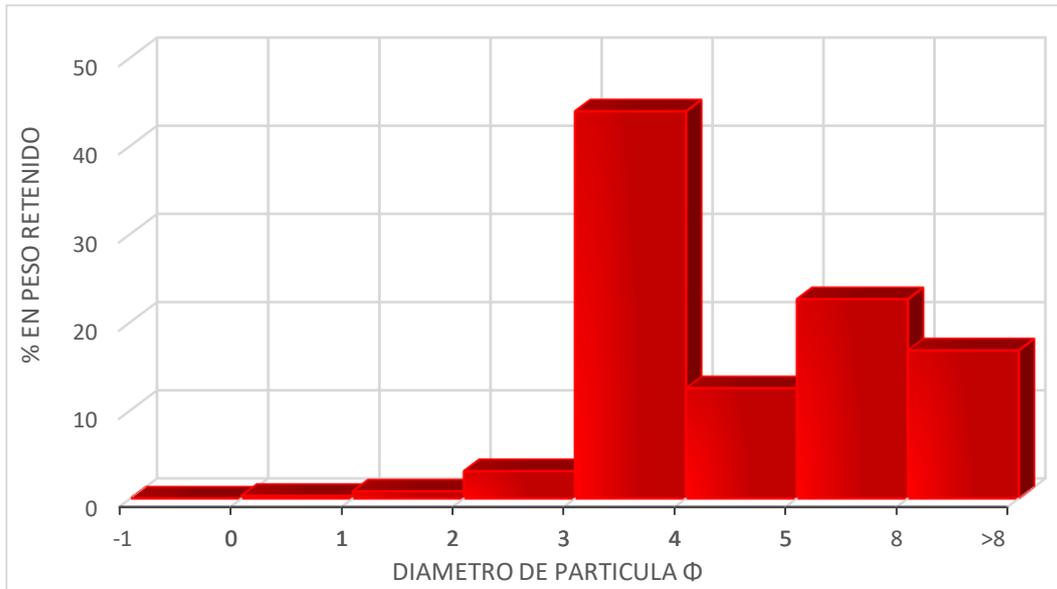


Figura 49. Curva de distribución de partículas Φ .

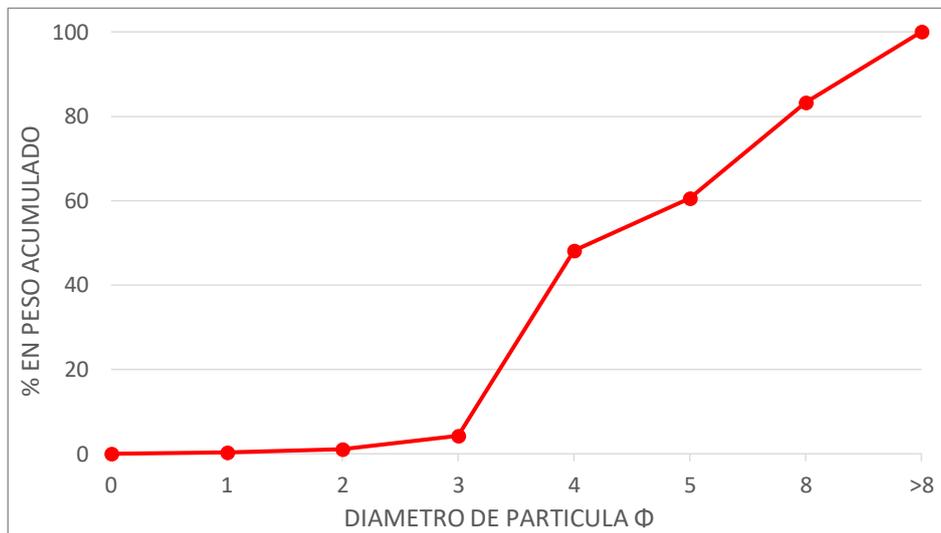


Figura 50. Curva de frecuencias acumuladas Φ .

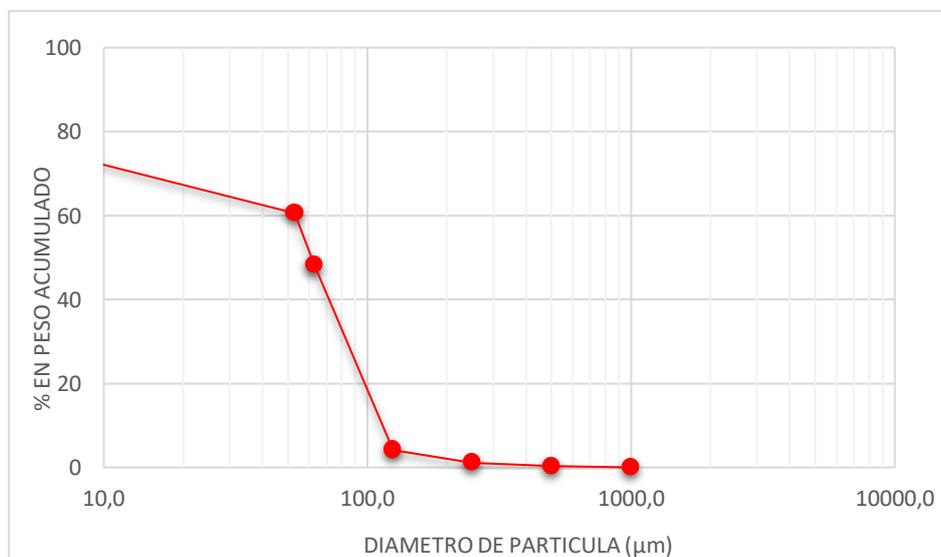


Figura 51. Curva de frecuencias acumuladas μm .

Las curvas de distribución del tamaño de partícula (Figura 49) y las curvas de frecuencias acumuladas (Figuras 50 y 51) muestran que el tamaño predominante es la arena muy fina (43,9%), siendo la media de 5,607 Φ .

En base a los estudios paleoambientales de los parámetros estadísticos realizados por Mason & Folk (1958), como así también, los establecidos por Füchtbauer & Müller (1970) e incluyendo las evidencias de campo; se puede indicar que los materiales corresponden a sedimentos aluviales.

- **Depósito 5:** compuesto principalmente por arenas (74,9%), limos (18%) y arcillas (7,1%). Los parámetros estadísticos calculados a partir de los resultados del análisis granulométrico indican un tipo de muestra unimodal, pobremente seleccionada, muy positiva y extremadamente leptocúrtica (Tabla 8).

Tabla 8. Parámetros estadísticos para la caracterización sedimentológica.

METODO DE FOLK & WARD

	Geométrico μm	Logarítmico Φ	Descripción
Media	79,65	3,650	Arena muy fina
Desvío	3,304	1,724	Pobremente seleccionada
Asimetría	-0,419	0,419	Muy positiva
Curtois	5,314	5,314	Extremadamente leptocúrtica
D10:	8,032	3,039	
D90:	121,7	6,960	
(D90 / D10):	15,15	2,291	
(D90 - D10):	113,7	3,921	
(D75 / D25):	1,672	1,228	
(D75 - D25):	41,97	0,742	

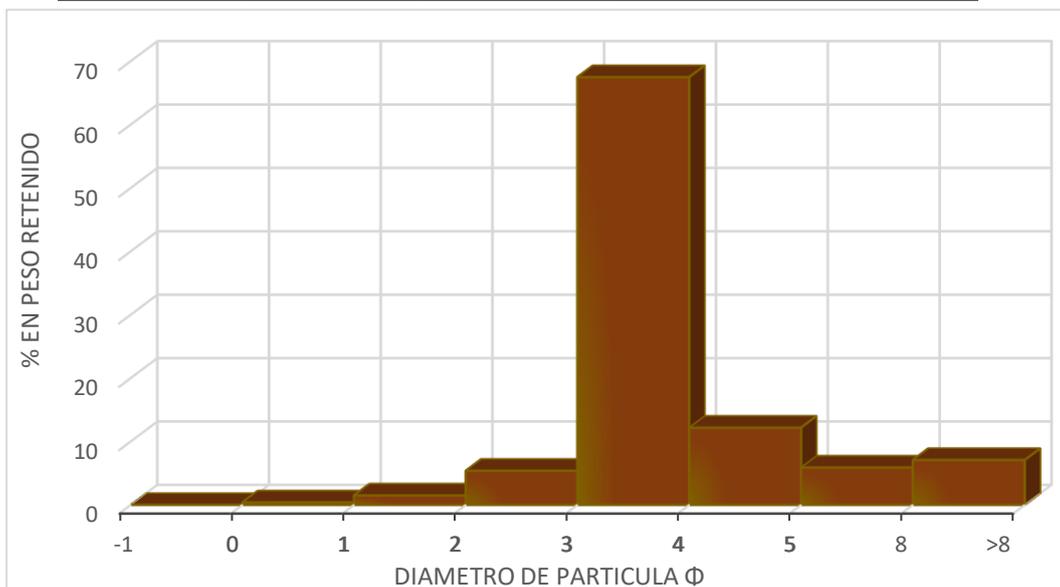


Figura 52. Curva de distribución de partículas Φ .

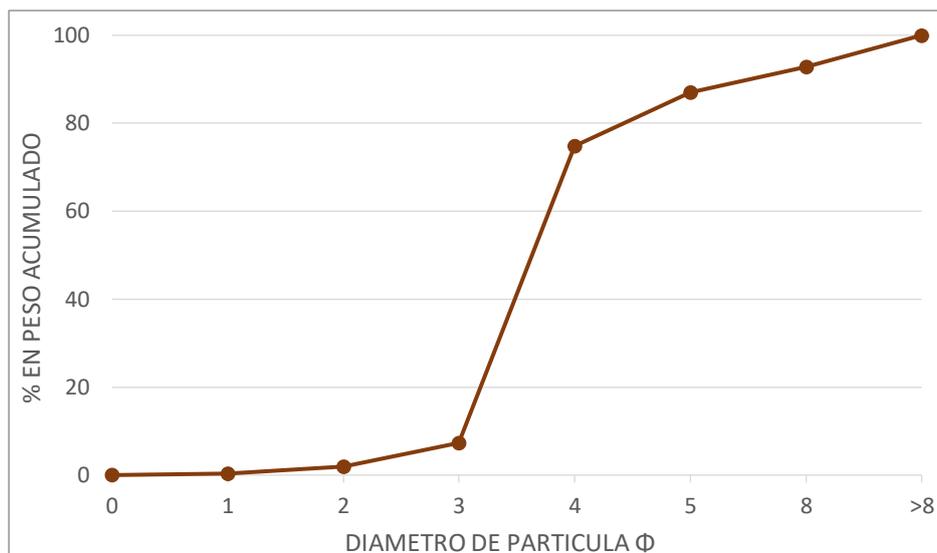


Figura 53. Curva de frecuencias acumuladas Φ.

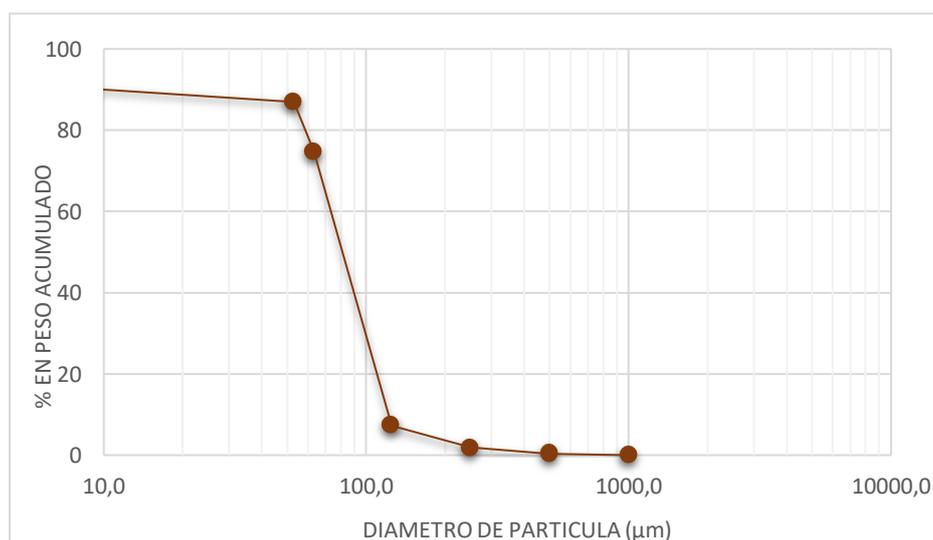


Figura 54. Curva de frecuencias acumuladas μm.

Las curvas de distribución del tamaño de partícula (Figura 52) y las curvas de frecuencias acumuladas (Figuras 53 y 54) muestran que el tamaño predominante es la arena muy fina (67,5%), siendo la media de 3,650 Φ.

En base a los estudios paleoambientales de los parámetros estadísticos realizados por Mason & Folk (1958), como así también, los establecidos por Füchtbauer & Müller (1970) e incluyendo las evidencias de campo; se puede indicar que los materiales corresponden a sedimentos eólicos característicos de médanos.

IV.2.4. DESCRIPCION MICROMORFOLÓGICA

El estudio micromorfológico se realiza con el objetivo de identificar los elementos constituyentes de los paleosuelos presentes, determinar sus mutuas relaciones en espacio y tiempo, e interpretar sus condiciones de formación. Las descripciones de las muestras se realizaron de acuerdo al Manual de micromorfología de suelos y técnicas complementarias de Loaiza *et al.* (2014).

- Palesuelo 1

Se presenta en el mismo una *microestructura* granular a bloques subangulares débilmente desarrollados, con los agregados parcialmente acomodados. La distribución relacionada g/f es enaúlica y límite g/f 5µm.

La *porosidad* está compuesta por poros de empaquetamiento compuesto de formas subredondeadas lisas; con el desarrollo de canales, cavidades y fisuras (Figura 55). No se encuentran acomodados, están parcialmente rellenos (Figura 56) y ocupan un volumen de 25 a 30% del total de la sección.

La *masa basal* exhibe un *material grueso* compuesto de granos minerales, en donde se reconocen minerales subangulares a subredondeados de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, fragmentos líticos, minerales opacos y en menor medida vidrio volcánico. El grado de alteración en general es moderado y se aprecian artefactos como burbujas de aire en la resina. La *micromasa* presenta una contextura de birrefringencia granoestriada y poroestriada, pardo a pardo amarillenta.

Los principales *rasgos pedológicos* encontrados en el perfil son:

- Revestimientos finos de arcilla y óxidos, recubriendo las paredes de los poros y en superficies de los granos minerales.
- Relleno suelto discontinuo en algunos poros y canales; de materiales finos como limo.
- Nódulos típicos de materia orgánica y hierro; como así también de limos retransportados. Son pequeños a medianos, moderadamente impregnativos, pardo oscuros y alterados por sectores (Figura .57)

Estos rasgos pedológicos evidencian procesos de iluviación de arcillas con óxidos asociados, los cuales se encuentran revistiendo paredes de poros y algunos granos minerales. También el proceso de iluviación es apreciado en el relleno suelto discontinuo de limos que se presenta en poros y canales.

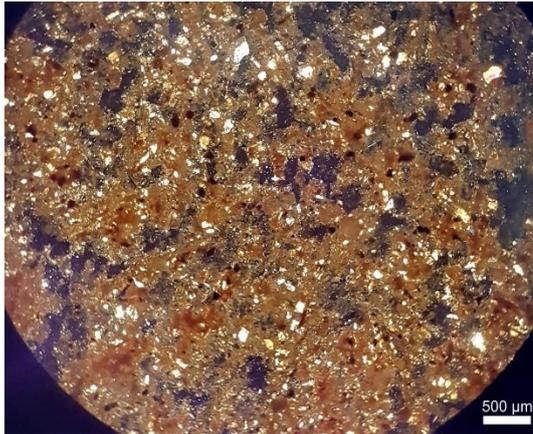


Figura 55. Porosidad característica del depósito (nicos cruzados).

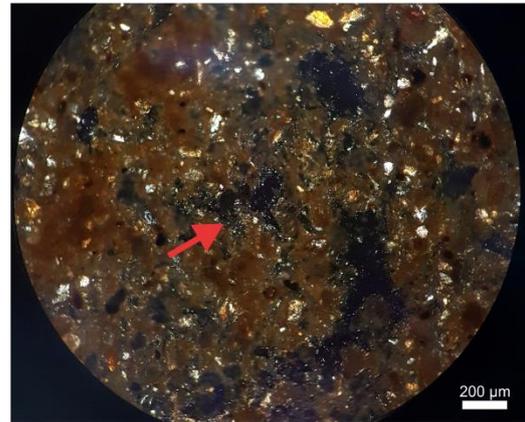


Figura 56. Relleno suelto discontinuo en poros y canales (nicos cruzados).

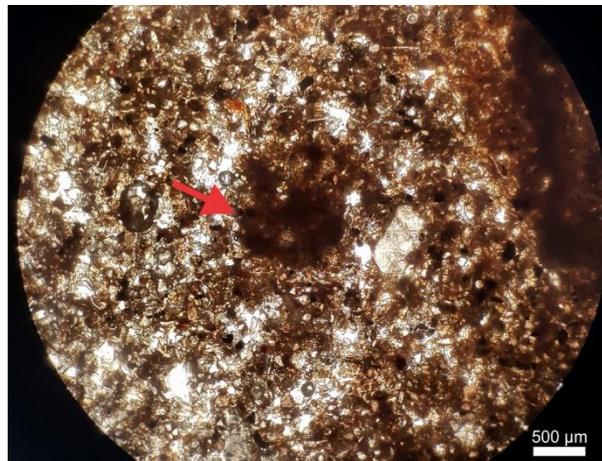


Figura 57. Nódulos típicos(nicoles paralelos).

Los nódulos de hierro previamente descriptos se habrían originado debido a condiciones de saturación de agua; y los nódulos más redondeados de limo indicarían un retransporte del material original.

En base a lo previamente mencionado se puede establecer que el presente paleocanal efímero desarrolló un proceso de pedogénesis, que se vio interrumpido debido a las variaciones paleoclimáticas de la zona.

- Paleosuelo 2

El mismo desarrolla una *microestructura* en bloques subangulares moderadamente desarrollados (Figura 58), con agregados parcialmente acomodados. La distribución relacionada g/f es enaúlica y límite g/f 5μm.

La *porosidad* se compone de poros de empaquetamiento compuesto con formas subredondeadas lisas; y se desarrollan canales, cavidades, cámaras y fisuras

(Figura 59). No se encuentran acomodados, se presentan parcialmente rellenos y ocupan entre un 25 a 30% del total de la sección.

La *masa basal* presenta un *material grueso* compuesto de granos minerales, en donde se reconocen minerales subangulares a subredondeados de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, fragmentos líticos, minerales opacos y vidrio volcánico en menor proporción. El grado de alteración es en general moderado y se aprecian artefactos. La *micromasa* exhibe una textura de birrefringencia granoestriada y poroestriada, pardo a pardo rojiza.

Los principales *rasgos pedológicos* encontrados en el perfil son:

- Revestimientos finos de arcilla y óxidos, recubriendo las paredes de los poros y en superficies de los granos minerales.
- Relleno suelto discontinuo en algunos poros, canales y cámaras; de materiales finos como limo (Figura 60).
- Nódulos típicos de materia orgánica y hierro; como así también de limos retransportados. Los mismos son pequeños, moderadamente impregnativos, color pardo oscuro y alterados por sectores.

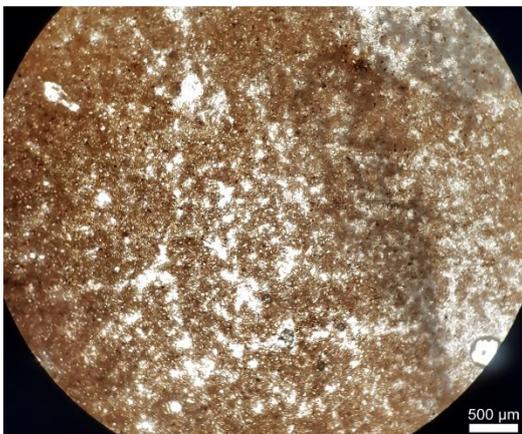


Figura 58. Microestructura en bloques subangulares (nicoles paralelos).

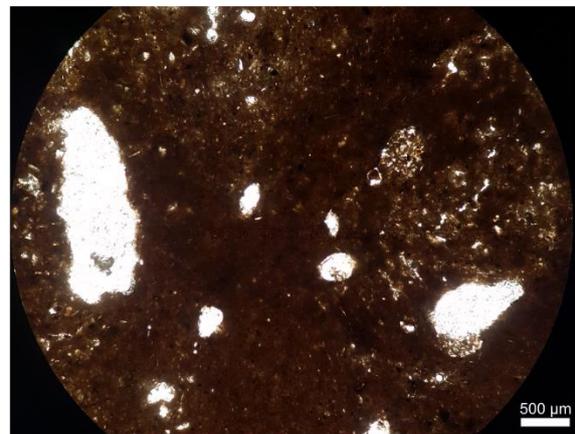


Figura 59. Cavidades (nicoles paralelos).

Los rasgos pedológicos permiten apreciar procesos de iluviación en el presente depósito. Este proceso se puede evidenciar mediante revestimientos de arcillas y óxidos en las paredes porales y en algunos granos minerales; como así también, en el relleno suelto discontinuo de limos que se presentan en algunos poros, cámaras y canales.

Los nódulos de hierro descritos se habrían originado debido a condiciones de saturación de agua; y los nódulos más redondeados de limo señalarían un retransporte del material original.

En base a lo previamente analizado se puede establecer que el presente paleocanal efímero desarrolló un proceso de pedogénesis, que posteriormente se vio interrumpido debido a las oscilaciones paleoclimáticas de la zona.



Figura 60. Relleno suelto discontinuo (nicoles paralelos).

- Paleosuelo 3

Presenta una *microestructura* en prismas subangulares bien desarrollados, y agregados parcialmente acomodados. La distribución relacionada g/f es enaúlica y límite g/f 5 μ m.

La *porosidad* se compone de poros de empaquetamiento compuesto con formas subredondeadas lisas; y se desarrollan canales, cavidades, cámaras y fisuras (Figura 61). No se encuentran acomodados, están parcial a levemente rellenos y ocupan entre un 20 a 25% del total de la sección.

La *masa basal* presenta un *material grueso* compuesto de granos minerales. En el mismo se reconocen minerales angulares/subangulares a subredondeados en algunos casos; de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, fragmentos líticos, minerales opacos y vidrio volcánico en menor proporción. El grado de alteración es moderado y se aprecian artefactos. La *micromasa* exhibe una contextura de birrefringencia granoestriada y poroestriada, pardo a pardo rojiza.

Los principales *rasgos pedológicos* encontrados en el perfil son:

- Revestimientos finos de arcilla y óxidos, recubriendo las paredes de los poros y en superficies de los granos minerales.
- Relleno suelto discontinuo en algunos poros, canales y cámaras y fisuras; de materiales finos como limo (Figura 62).
- Nódulos típicos de materia orgánica y hierro; como así también de materiales retransportados (Figura 63). Son de tamaños medios a

grandes, moderadamente impregnativos, color pardo oscuro y se hallan alterados en diverso grado.

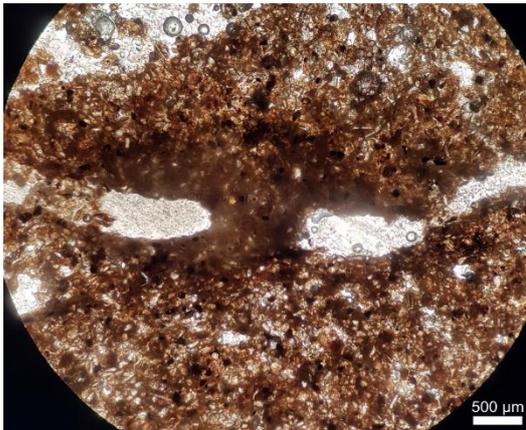


Figura 61. Canales y cavidades (nicles paralelos).

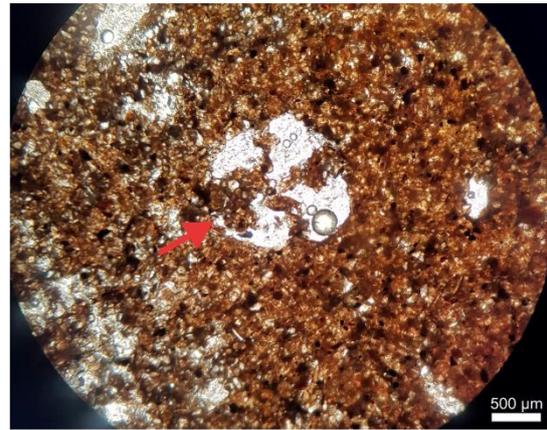


Figura 62. Relleno suelto discontinuo en poros (nicles paralelos).

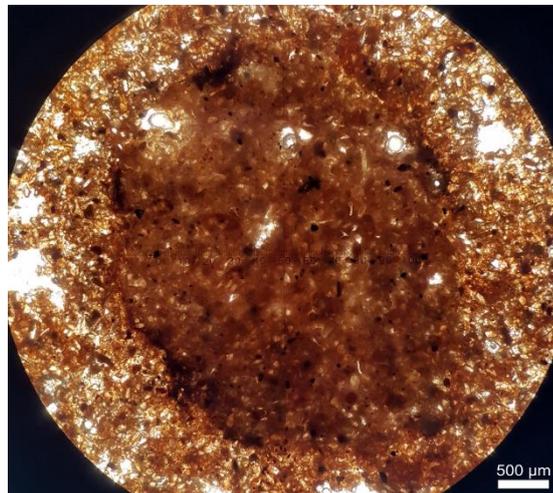


Figura 63. Nódulo de materia orgánica y hierro (nicles paralelos).

Los rasgos pedológicos denotan procesos de iluviación que se lo puede evidenciar en los revestimientos de arcillas y óxidos en las paredes de poros y granos minerales. También dicho proceso se lo reconoce por el relleno suelto discontinuo de limos que se presentan en algunos poros, cámaras y canales.

Los nódulos de hierro se habrían originado debido a condiciones de saturación de agua; y los nódulos más redondeados de material fino señalarían un retransporte del material original.

En base a lo previamente analizado se puede establecer que el presente paleosuelo desarrolló diversos procesos pedogenéticos, alcanzando un alto grado de desarrollo que se correspondería con un horizonte B textural. Posteriormente

el desarrollo del mismo se vio interrumpido debido a un proceso de aridización y posterior depositación de materiales eólicos.

IV.3. CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA

En base a los antecedentes disponibles para la zona de estudio y tomando como referencias las determinaciones realizadas por Cantú (2006) y Grumelli (2010), se ha podido establecer una correlación para los diferentes depósitos estudiados.

El **Depósito 1** muestra una clara correlación con la sedimentación planteada por Cantú (2006) y Grumelli (2010) para la **Formación Pampiano Medio**. Entre estas similitudes se destacan la presencia sedimentos de tipo aluvial o aluvial-paludial con una predominancia de arenas muy finas y limos, bioturbación prominente, presencia de cementaciones carbonáticas diversas y nódulos de materiales finos retransportados.

Con respecto al **Depósito 2**, el mismo presenta características de tipo transicional entre la **Formación Pampiano Medio** a **Pampeano Superior**, con sedimentos paludiales que desarrollan una laminación característica y la presencia de carbonatos difusos. Suprayaciendo, el **Depósito 3**, cuenta con características que permiten establecer una correlación con la **Formación Pampiano Superior**. Algunas de estas similitudes son la presencia de materiales eólicos loessoides y de cementación calcárea con formas y tamaños diversos; coincidiendo con la sedimentación planteada por Grumelli (2010). Los paleocanales observados en la formación presentan una evidente pedogénesis (ver apartado de micromorfología), lo cual evidencia un mejoramiento en las condiciones climáticas de manera paulatina. Así, al inicio de dichas condiciones, se desarrollan paleosuelos en dichos paleocanales con horizontes Bw incipientes. .

El **Depósito 4** presenta rasgos que permiten asignar una correlación con la **Formación La Invernada**. Esto es atribuido a la presencia de sedimentos eólicos asociados a mantos de loess, con estructuras masivas, predominancia de arenas muy finas y limos, y al desarrollo de paleocanales efímeros en los sectores inferiores a medios, rellenos de materiales eólicos retransportados. La estructura observadas en dichos paleocanales evidencian un proceso pedogenético de escasa a mediana intensidad dentro del mismo proceso eólico. Otros autores al describirlos no indicaron la presencia de estas estructuras pedogenéticas por lo que no se corresponden a ningún Geosuelo planteado para la zona.

Por encima de los depósitos previamente mencionados, se puede establecer la presencia del **Geosuelo Las Tapias**, el cual típicamente se lo encuentra en la zona suprayaciendo a los sedimentos eólicos de la Formación La Invernada; dentro de un gran paleocanal lenticular. Otras características que permiten establecer dicha correlación son la presencia de sedimentos de origen aluviales, estructura prismática característica, abundantes barnices y varios horizontes Bt.

Concluyendo con la secuencia analizada y en discordancia con el paleosuelo inferior, el **Depósito 5** puede ser asociado a la **Formación Laguna Oscura** debido a la presencia de sedimentos eólicos característicos de médanos, con materiales arenosos muy finos que poseen menos proporción de limo que la Formación La Invernada, como así también lo señala Cantú (2006). En la parte superior de este último depósito se desarrolla el suelo actual.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

A partir de las descripciones e interpretaciones realizadas de los depósitos sedimentarios y los paleosuelos, se pueden establecer que las condiciones ambientales han variado entre períodos húmedos y áridos. De esta manera los períodos húmedos se habrían caracterizado por un predominio de la pedogénesis como así también de incisión fluvial; en cambio en los períodos áridos se produce la acumulación de mantos loésicos con materiales aluviales esporádicos y luego una removilización posterior de los materiales arenosos conformando dunas longitudinales. Lo anteriormente mencionado resulta acorde a lo establecido por diversos autores para el sur de la Provincia, entre los que se encuentran Cantú (1992 y 1998), Degiovanni y Cantú (1997), Grumelli y Cantú (2006), Degiovanni (2008), Grumelli (2010), entre otros.

En base a las descripciones estratigráficas y a las correlaciones previamente establecidas, se puede observar que la secuencia sedimentaria estudiada apoya sobre la Formación Pampiano Medio; la cual conforma una secuencia aluvial-paludial en donde autores como Cantú (2006) y Grumelli (2010) le atribuyen una edad mayor a 147ka. Dicha edad correspondería al último interglacial que se caracteriza por presentar condiciones ambientales que varían de templado a cálido y húmedo con la formación de muñecas y nódulos de carbonato.

Hacia el techo de la Formación Pampiano Medio se destaca el desarrollo de un depósito transicional en el perfil, el cual puede ser asociado a un proceso de relleno laminar de escasa potencia en una zona fluvial/paludial. Esto último indicaría un proceso de aridización paulatina en la zona, asociada al penúltimo glacial.

En la Formación Pampiano Superior, en cambio, se observan materiales loessoides con presencia de muñecas de tosca dispersas, lo cual permite inferir un clima frío y seco, ya instalado. A su vez la presencia de paleocanales efímeros indica un régimen torrencial y esporádico que genera dichas formas fluviales. Mediante los estudios micromorfológicos se pudo corroborar que los materiales de estos últimos se encuentran edafizados, evidenciando un mejoramiento en las condiciones climáticas de manera gradual. De esta manera al comenzar dichas condiciones, se desarrollan paleosuelos en los paleocanales con horizontes Bw incipientes. Considerando las edades establecidas para la presente formación por Grumelli (2010, 2012, 2018) y otros autores, se plantean a los materiales de la misma de edad Plesitoceno Superior; vinculándose al Penúltimo Glacial.

Prosiguiendo con la secuencia establecida, la Formación La Invernada se destaca por el desarrollo de materiales loessoides y la presencia de paleocanales efímeros. Estos

últimos evidencian la participación de agua en el proceso de sedimentación, lo cual también puede ser corroborado por una suave laminación que algunos de ellos presentan. A su vez manifiestan un escaso a mediano desarrollo pedogenético, determinado mediante el análisis micromorfológico, lo cual no había sido determinado por otros autores y por lo tanto no pueden ser asociados con otros Geosuelos establecidos para zona. El clima que puede establecerse para la formación es semiárido en las secciones inferiores a medias y, debido a una tendencia a la disminución de la potencia de los paleocanales hacia los sectores superiores, las condiciones ambientales serían paulatinamente más áridas. La edad atribuida por Grumelli (2010) para la base de la misma es de $63,1 \pm 5,18$ ka y en base a lo previamente mencionado es que podría atribuirse que la presente formación estaría vinculada al último Máximo Glacial/Younger Dryas.

Por encima de la Formación La Invernada, y marcando claramente un ciclo más templado y húmedo, se desarrolla un paleosuelo de importante espesor en donde el mismo puede ser claramente correlacionable con el Geosuelo Las Tapias. Se caracteriza por presentar un elevado grado de desarrollo, abundantes barnices, horizontes Bt y por la presencia de varios pulsos fluviales; atribuyéndosele una edad Holoceno Inferior a Medio según Cantú (1998) y Grumelli (2010). De esta manera es que el mismo puede ser asociado al Hypsitermal, que se caracterizó por presentar condiciones climáticas favorables para el desarrollo del presente paleosuelo.

Finalizando la secuencia establecida y constituyendo el material original del suelo actual, se desarrolla la Formación Laguna Oscura (Cantú 1992, 1998). La misma se caracteriza por presentar materiales eólicos característicos de médanos, mostrando una clara evidencia de la aridización del clima, siendo consecuentemente frío y seco. Los sedimentos característicos de la formación tendrían una amplia distribución en el sur de Córdoba, como así lo proponen Cantú (1998) y Grumelli (2010). Estos autores plantean una edad Holoceno Medio a Superior, determinado más precisamente la edad de la base por Grumelli (2010) en unos 6,6Ka.

Sedimentológicamente, los parámetros estadísticos analizados para los diferentes depósitos muestran ciertas similitudes entre sí. Entre estas se pueden destacar curvas de frecuencias acumuladas similares, con un dominio de tamaño de arena muy fina y siendo unimodales en su conjunto. La selección varía de pobre a muy pobremente seleccionada, una asimetría muy positiva y una curtosis que abarca un rango que varía de leptocúrtica a extremadamente leptocúrtica. De esta manera y en base al análisis de

dichos parámetros se han podido establecer materiales de diferente origen para los depósitos estudiados, en donde los sedimentos eólicos tienden a predominar en varios de los mismos, siendo principalmente de tipo loessoides o propios de médanos; y en menor medida se identifican materiales aluviales y paludiales.

Mediante el análisis mineralógico se pudo establecer que litológicamente los materiales están compuestos por dos familias mineralógicas. Por un lado, la correspondiente al basamento de Las Sierras Pampeanas y por otro la de origen volcánico correspondiente a la Cordillera de los Andes. Así es que se establece un origen mixto proveniente de ambos sectores para los diferentes depósitos, pero en algunos existe un cierto predominio de un área sobre otra. Esto último puede ser establecido mediante el análisis de las especies minerales presentes en los mismos, como la proporción del vidrio volcánico que exhiben los depósitos o de otros minerales característicos de algunas de las áreas.

Mediante el análisis micromorfológico realizado para los materiales que rellenan los paleocanales efímeros y el paleosuelo atribuido al Geosuelo Las Tapias, se puede establecer que los revestimientos de arcillas y óxidos permiten evidenciar procesos de iluviación; como así también lo denotan los rellenos sueltos discontinuos de limos que se presentan en los diversos poros, cámaras y canales de dichos depósitos. Los nódulos de hierro encontrados en los mismos se habrían originado debido a condiciones de saturación de agua; y los nódulos más redondeados de limo y arcilla señalarían un proceso de retransporte del material original. En base a lo previamente expuesto, se puede concluir que los paleocanales efímeros desarrollaron un proceso de pedogénesis, que posteriormente se ve interrumpido debido a las variaciones paleoclimáticas de la zona.

Resulta importante mencionar que para los paleosuelos encontrados en la Formación Pampiano Superior y la Formación La Invernada, se requerirían estudios de mayor detalle para poder así definirlos formalmente en la secuencia estratigráfica de la región.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

- ANDREAZZINI M, DEGIOVANNI S, CANTÚ M, GRUMELLI M.T, SCHIAVO H. 2012. Estudio preliminar de secuencias cuaternarias en pampas de altura de la Sierra de Comechingones (cuenca alta del río Cuarto, Córdoba). 5º Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología Actas: 29, Río Cuarto.
- ANDREAZZINI J, DEGIOVANNI S, CANTÚ M, GRUMELLI M.T, SCHIAVO H. 2014. Análisis e interpretación paleoambiental de secuencias del Cuaternario superior en pampas de altura del sector centro-sur de la Sierra de Comechingones, Córdoba. Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis.
- ARGÜELLO G. 2009. El origen del loess de la zona centro norte de la Provincia de Córdoba, Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba, p. Córdoba.
- ARGÜELLO G.L, DOHRMANN R, MANSILLA L. 2012. Loess of Córdoba (Argentina) Central Plain, Present State of Knowledge and New Results of Research. En Rossi y Miranda (eds.) Argentina: Educational, Geographical and Cultural Issues. Nova Science Pub Incorporated. 1–49 p. New York.
- BECKER A. 1987. Génesis de las Series tentativa Spernanzoni y Rodeo Viejo Dpto. Río Cuarto. Provincia de Córdoba. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Río Cuarto. Inédito.
- BECKER A. 2006. Evaluación del proceso de degradación de suelos por erosión hídrica en una subcuenca representativa de la región pedemontana del suroeste de la provincia de Córdoba, Argentina. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, 800 pp.
- BECKER A, CANTU M. P, SCHIAVO H.F. 1996. Micromorfología de horizontes cámbicos de la provincia de Córdoba, Argentina. XV Congreso Arg. de la Ciencia del Suelo. La Pampa. Acta: 247-248.
- BECKER A. R, CANTU M.P, SCHIAVO H.F. 1997. Micromorphological characteristics of Molisol Cambic Horizons of Argentina Central Region. In: Soil Micromorphology: Studies on Soil Diversity, Diagnostics, Dynamics. Proceedings of the X International Working Meeting on Soil Micromorphology, Russia. Ed. S. Shoba; M. Gerasimova y R. Miedema. 52-58 pp.
- BECKER A, CANTÚ M.P, SCHIAVO H.F. 1998. Alteración de la Dinámica del agua y sales por la presencia de Fragipanes. Evidencias Micromorfológicas. Proceedings 16 Cong. Mundial Ciencia del Suelo, Francia. CD Symposium 30. 7 pág.
- BECKER A, GRUMELLI M, SCHIAVO H.F. 2012. Cambios morfoedológicos en agroecosistemas del centro-sur de Córdoba. Argentina. Río Cuarto. Revista. Artículo Completo. Congreso. V Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología.

- BEDER R. 1916. Estudios geológicos e hidrológicos en los alrededores de Villa Dolores. Boletín de la Dirección Nacional de Minería Geología e Hidrología 14: 1–26.
- BERNARDO I. C, CANTU M.p, BECKER A. 1991. Dinámica del fósforo en relación a la génesis de Hapludols típicos del suroeste de la provincia de Córdoba. XIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Resumen expandido. Acta: 195-196.
- BERTOLDI DE POMAR H. 1953. Contribución al Conocimiento del Origen de la Laguna Mar Chiquita de la Provincia de Córdoba. Tesis Doctoral (inérita), Universidad Nacional de Córdoba (inérita), 149 p. Córdoba.
- BERTOLINO S. 1989. Características físicas y mineralógicas y aspectos genéticos de los suelos del SE de la Provincia de Córdoba. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Córdoba (inérita). 99 p. Córdoba.
- BESOAIN E. 1985. Mineralogía de Arcillas. IICA, serie de libros y materiales educativos No. 60, San José, Costa Rica, 1205 p.
- BIANCO C. A, KRAUSS T.A, ANDERSON D.L, CANTERO J.J. 1987. Formaciones vegetales del suroeste de la provincia de Córdoba República Argentina. Revista UNRC, 71: 5-66.
- BLARASIN M, SÁNCHEZ M. 1987. Secuencia evolutiva de dunas cuaternarias en el sector de Laguna Oscura, Dpto. Río Cuarto, Prov. De Córdoba. 10º Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 297–300. Tucumán.
- BLOTT S. 2010. Software GRADISTAT versión 8.0. Departamento de Geología. Royal Holloway. Universidad de Londres. Reino Unido.
- BODENBENDER G. 1890. La cuenca del valle del Río Primero en Córdoba. Descripción geológica del valle del río Primero, desde las Sierras de Córdoba hasta la Mar Chiquita. Boletín Academia Nacional de Ciencias, 12: 5–55. Córdoba.
- BODENBENDER G. 1894. La llanura pampeana al este de las Sierras de Córdoba. Contribución a la historia de su desarrollo. Boletín Academia Nacional de Ciencias, 23 (2): 14–57. Córdoba.
- BRUNETTO E. 2008. Actividad neotectónica en el sector oriental de la cuenca inferior del río Dulce, laguna Mar Chiquita y bloque San Guillermo. Tesis Doctoral (inérita). Universidad Nacional de Córdoba, 306 p. Córdoba.
- CALDENIUS C. 1932. Las Glaciaciones cuaternarias en Patagonia y Tierra del Fuego, Anales, Dirección General de Geología y Minería, Buenos Aires, vol 95,150p.

- CANTERO G. A, CANTU M.P. 1981. Unidades de erosión de la cuenca del Sistema A^o Santa Catalina - Del Gato - Lag. Tigre Muerto 600.000 ha Escuela de Graduados - UNRC, 8 pp. Río Cuarto.
- CANTÚ M. P. 1992. Provincia de Córdoba. En: El Holoceno en la Argentina, M. Iriondo Editor Edición de CADINQUA. Volumen 1: 1-16.
- CANTÚ M. 1998. Estudio Geocientífico para la Evaluación Ambiental y Ordenación Territorial de una Cuenca Pedemontana. Caso: Cuenca del Arroyo La Colacha, Departamento Río Cuarto, Provincia de Córdoba. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Río Cuarto. 376 pp.
- CANTÚ M, BECKER A. 1988. Holoceno del área del arroyo Spornazoni, departamento Río Cuarto, Provincia de Córdoba, Argentina. Simposio Internacional sobre el Holoceno en América del Sur (INQUA), resúmenes: 24. Paraná.
- CANTU M. P, BECKER A. 1991. Génesis de Hapludols típicos del suroeste de la Provincia de Córdoba. XIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Resumen expandido. Acta, pág. 198.
- CANTÚ M, BLARASIN M. 1987. Geología del Pleistoceno Superior-Holoceno del arroyo Las Lajas-Km 630. Departamento Río Cuarto, Provincia de Córdoba. 10^o Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 337-340. Tucumán.
- CANTÚ M, DEGIOVANNI S. 1982. Rasgos tectónicos de la región Centro-Sur de la provincia de Córdoba. II Jornadas Científicas de la Fac. de Cs. Ex., Fco. -Qcas. y Nat. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.
- CANTÚ M, DEGIOVANNI S. 1983. Cuaternario de la región centro-sur de la Provincia de Córdoba. 4^o Jornadas Científicas Facultad de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto, Actas 1. Río Cuarto.
- CANTÚ M. P, DEGIOVANNI S. 1984. Geomorfología de la Región centro-sur de la Provincia de Córdoba. Noveno Congreso Geológico Argentino, Actas IV: 76-92. San Carlos de Bariloche.
- CANTU M.P, BECKER A, SCHIAVO H.F. 1996. Molisoles desarrollados en loess del Pleistoceno superior de Córdoba, Argentina. CD Com 05-049. XIII Congreso Latino Americano de la Ciencia del Suelo. Agosto 1996, Brasil.
- CANTU M. P, BECKER A, SCHIAVO H.F. 1997. Geología del Cuaternario del sitio Puerta del Tala-LA Cocha. Segundas Jornadas Nacionales de Historia Regional de Río Cuarto, 26-28 septiembre 1997. Acta de Resúmenes.

- CANTÚ M.P, SCHIAVO H.F, MUSSO T.B, BECKER A. 2004. Paleosuelos del Pleistoceno superior – Holoceno del Sur de la provincia de Córdoba, Argentina. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. CD. 12 p.p.
- CANTU M.P, SCHIAVO H.F, BECKER A, ZHOU L, GRUMELLI M.T. 2006. Pleistoceno Superior Tardío-Holoceno de la cuenca media del arroyo Santa Catalina, Prov. De Córdoba, Argentina. Argentina. Córdoba. Revista. Artículo Completo. Congreso. III Cong. Arg. Cuaternario y Geomorfología. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la U.N.C Universidad Nacional de Córdoba.
- CANTÚ M. P, BECKER A, SCHIAVO H. 2006a. Génesis y relaciones paleoambientales de los suelos con fragipanes del Sur de la Provincia de Córdoba. XX Cong. Arg. de la Ciencia del Suelo. Salta - Jujuy.
- CARIGNANO C. 1997. Caracterización y evolución durante el Cuaternario Superior en los ambientes geomorfológicos extraserranos en el NW de la Provincia de Córdoba. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba, (inérita) 208 p. Córdoba.
- CARIGNANO C, KRÖHLING D, DEGIOVANNID, S, CIOCCALE, M. 2014. Geología de Superficie, Geomorfología. Relatoría del XIX Congreso Geológico Argentino. 747-821. Córdoba.
- CASTELLANOS A. 1926. Observaciones preliminares sobre el Pleistoceno de la Provincia de Córdoba. Boletín Academia Nacional de Ciencias 23: 232–254. Córdoba.
- CASTELLANOS A. 1936. Los sedimentos del Pampeano inferior y del Araucano en el Valle de los Reartes, Sierras de Córdoba. Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas, Químicas y Naturales, Universidad Nacional del Litoral, Publ. 6: 19–44. Rosario.
- CASTELLANOS A. 1942. Los sedimentos pre-pampeanos del valle de Nono (Sierras de Córdoba). Publicaciones del Instituto de Fisiografía y Geología de la Universidad Nacional del Litoral, Publ. 13, 62 p. Rosario.
- CASTELLANOS A. 1944. Paleontología estratigráfica de los sedimentos neógenos de la Provincia de Córdoba. Publicaciones del Instituto de Fisiografía y Geología de la Universidad Nacional del Litoral 23: 5–47. Rosario.
- CHEBLI G, MOZETIC M, ROSSELLO E, BÜHLER M. 1999. Cuencas sedimentarias de la llanura chacopampeana. En Caminos, R. (ed.). Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29: 627–644. Buenos Aires.
- CHEBLI G.A, SPALLETTI L.A, RIVAROLA D, DE ELORRIAGA E, WEBSTER R.E. 2005. Cuencas cretácicas de la región central de la Argentina. 6º Congreso de Hidrocarburos. IAPG. Actas en CD. Mar del Plata.

- CIOCCALE M. 1999. Investigación geomorfológica de cuencas serranas: Estudio geomorfológico integral: Morfodinámica, morfometría y morfogénesis del flanco oriental de las Sierras Chicas de Córdoba. Tesis Doctoral (inédita), Universidad Nacional de Córdoba, 120 p. Córdoba.
- COMBINA A, SÁNCHEZ M. 2003. Análisis sedimentológico de la Formación La Invernada, Pleistoceno Tardío-Holoceno, pedemonte de las Sierras de Comechingones, Provincia de Córdoba, Argentina. AAS Revista 10(2): 123–135.
- CÓRDOBA F. 2005. Estudio geomorfológico y análisis paleoambiental del Cuaternario en las áreas cumbres de las Sierras de Córdoba: Pampa de Olaen. Trabajo Final (inédito), Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, 129 p. Córdoba.
- CÓRDOBA F, CIOCCALE M.A, TAUBER A. 2005. Geología y Estratigrafía del Pleistoceno tardío-Holoceno en la Pampa de Olaen, Sierras Grandes, Provincia de Córdoba. 16º Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 269–276. La Plata.
- COSTA C, ORTIZ SUÁREZ A, MIRÓ R, CHIESA J, GARDINI C, CARUGNO DURÁN A, OJEDA G, GUERSTEIN P, TOGNETTI G, MORLA P, STRASSER E. 2005. Hoja Geológica 3366-IV. Villa Mercedes. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín. 348, 100 p.
- DE LEÓN L, CANTERO G. A, HAMPP E. 1976. Paisajes geoquímicos en el sur del Departamento Río Cuarto. UNRC-FAyV.
- DEAN W.E. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. Journal of Sedimentary Petrology 44: 242-248.
- DEGIOVANNI S. 2008. Análisis geoambiental del comportamiento de los sistemas fluviales del Sur de Córdoba, en especial del Aº Achiras - del Gato, como base para su gestión sustentable. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Río Cuarto (inédita), 597 p. Río Cuarto.
- DEGIOVANNI S, BLARASÍN M. 2005. Hidrología superficial y morfodinámica de sistemas fluviales en el Sur de Cba. En Blarasín M., Degiovanni, S., Cabrera, A. y Villegas M. (eds.). Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba, Universidad Nacional de Río Cuarto: 31–40. Río Cuarto.
- DEGIOVANNI S, CANTU M. P. 1993. Carta de restricciones para uso agrícola y ganadero del área mal drenada comprendida entre Gral. Soler y Laboulaye, Cba. Primera reunión sobre preparación y uso de Mapas Temáticos. Publicación Especial Nº1:1-18. Córdoba.

- DEGIOVANNI S. B, CANTÚ M.P. 1998. Neotectonic activity in the La Cruz- Gigena depression, Córdoba, Argentina. IV International Conference on Geomorphology. Bologna, Italia. Actas de Resúmenes.
- DEGIOVANNI S, DOFFO N. 2005. Longitudinal profile adjustment and channel stability: a case-study of the Achiras-del Gato and Las Lajas streams, southern of Cordoba Province, Argentina. 6º International Conference on Geomorphology. Abstract. 20–321. Zaragoza.
- DEGIOVANNI S, ECHEVARRÍA K, ANDREAZZINI J, DOFFO N. 2014. Los sistemas fluviales del Sur de Córdoba: alteraciones históricas, procesos de ajustes y consecuencias ambientales. Actas 19º Congreso Geológico Argentino, Córdoba.
- DEGIOVANNI S, VILLEGAS M, BLARASÍN M, SAGRIPANTI G. 2005. Hoja Geológica 3263-III. Río Cuarto. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires. Boletín 349, 95 p.
- DÖERING A. 1907. La Formation Pampéenne de Cordoba. En: Lehmann-Nitsche R. (ed.), Nouvelles Recherches sur la Formation Pampéenne et l'homme Fossile de la Republique Argentine. Revista del Museo de La Plata 14: 72–190. La Plata.
- DOFFO N, BONORINO G. 2006. Evidencias de ajustes por tectonismo en los cauces de los arroyos Las Lajas y Santa Catalina, Departamento Río Cuarto, Córdoba. 3º Congreso Cuaternario y Geomorfología. Actas 1: 367–375. Córdoba.
- DOFFO N, DEGIOVANNI S. 1993. Geomorfología de la Hoja Río Cuarto, su aplicación en estudios de susceptibilidad de erosión. 12º Congreso Geológico Argentino. Actas, 6: 274–282. Mendoza.
- DOFFO N, DEGIOVANNI S, VILLEGAS M. 2010. Integración de cuencas de drenaje en áreas de llanura durante la última centuria. El caso del arroyo Las Lajas, Córdoba, Argentina. 1º Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras. 1: 131–138. Azul.
- ERIC C. 1986. Geología del cuaternario en el río de las Barrancas, Dpto Río Cuarto, Prov. de Córdoba. UNRC.
- FERUGLIO E. 1944. Estudios Geológicos y Glaciológicos en la región del Lago Argentino (Patagonia). Boletín Academia Nacional Ciencias, Córdoba, 37, 1-208.
- FIDALGO F, TONNI E.P. 1978. Aspectos paleoclimáticos del Pleistoceno Tardío-Reciente en la Provincia de Buenos Aires. Segunda Reunión Informativa del Cuaternario Bonarense. Comisión Investigaciones Científicas de la Prov. Buenos Aires. Trenquen Lauquen, 21-28.

- FIDALGO F, DE FRANCESCO F, PACUAL R. 1975 Geología superficial de la llanura bonaerense, Relatorio, Geologico de la Provincia de Buenos Aires, VI Congr. Geol. Argentino 103-138.
- FIDALGO F, RIGGI J. C, CORREA H, PORRO N. 1991. Los sedimentos postpampeanos continentales en el ámbito sur bonaerense. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 46 3-4: 239-256.
- FOLK R.L, WARD W.C. 1957 Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology, 27, 3-26.
- FRECHEN M, ARGUELLO G, BUDZIAK M, CANTU M, CARLINI A, FRILLING W, KRUCK J, NORIEGA J, SANABRIA J, SCHEELE B, TONI E. 2003. Chronostratigraphy of pampa loess- a review. En: II Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. Tucumán. Conferencia. Abstract. pp 17- 19. Ed. M. M. Collantes, J. M. Sayago & L. V. Neder.
- FRENGUELLI J. 1918. Notas preliminares sobre la constitución geológica del subsuelo de la Cuenca de Córdoba. Boletín Academia Nacional de Ciencias, 23: 203–228. Córdoba.
- FRENGUELLI J. 1945. El piso Platense. Revista del Museo de La Plata (Nueva Serie), Sección Geología, 2: 287–311. La Plata.
- FRENGUELLI J. 1957. El Neozoico. Geografía de la República Argentina. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos GAEA 2: 1–113.
- FRENGUELLI J, CORDINI R. 1937. La diatomita de Quilino (prov. de Córdoba), su contenido y posibilidades de explotación. Revista del Museo de La Plata, NS. Tomo I, Sección Geología, 67–116. La Plata.
- FRENGUELLI J, DE APARICIO F. 1932. Excursión a la laguna Mar Chiquita (Provincia de Córdoba). Publicaciones del Museo Antropológico y Etnográfico de la Fac. de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Buenos Aires, Serie A II, 121–147.
- FÜCHTBAUER H, MÜLLER G. 1970. Sedimente und Sedimentgesteine. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- GONZÁLEZ BONORINO F. 1950. Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. Revista de la Asociación Geológica Argentina 5: 81-110.
- GORDILLO C. E, LENCINAS A. 1979. Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. Académica Nacional de Ciencias, Vol. I: 577-650. Córdoba.
- GOYA F. 2005. Estratigrafía y fósiles cuaternarios de las pampas de altura en el Departamento Cruz del Eje. Trabajo Final de la Carrera de Geología (inédito), Escuela de Geología,

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba,
142p.Córdoba.

GROEBER P. (1952). Englazamiento pedemontano del norte de la Patagonia. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos GAEA, Boletín, 29, 6-10.

GRUMELLI M. 2010. Génesis y relaciones paleoclimáticas de los suelos de la Colonia Nueva Sampacho, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Unaporte al estudio del cambio climático global. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto, 342 p. Río Cuarto.

GRUMELLI M, CANTU M.P. 2006. Vinculación de los aspectos geomorfológicos y evolución de los suelos en un área al suroeste de Río Cuarto. III Cong. Arg. de Cuaternario y Geomorf. Córdoba, Argentina. 417-426 pp

GRUMELLI M, CANTÚ M.P, SCHIAVO H.F, BECKER A. 2008. Rasgos micromorfológicos y caracterización mineralógica de los suelos aluviales de la colonia nueva Sampacho, Córdoba, Argentina. XXI Cong. Arg. de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis Argentina.

GRUMELLI M, CANTÚ M.P, BECKER A, SCHIAVO H.F. 2010b. Caracterización sedimentológica, mineralógica y micromorfológica de suelos aluviales de Sampacho, Córdoba. XXII Cong. Arg. de la Ciencia del Suelo. Rosario. Argentina.

GRUMELLI M, CANTU M, BOUZA P. 2010a. caracterización paleoclimática de la serie nueva Sampacho mediante la determinación del hierro pedogenético. XXII Cong. Arg. de la Ciencia del Suelo. Rosario. Argentina.

GRUMELLI M, CANTÚ M, BECKER A, SCHIAVO H. 2012. Evidencias de cambios ambientales durante el Pleistoceno Superior – Holoceno en la Colonia Nueva Sampacho, Córdoba. Argentina. Río Cuarto. Revista. Artículo Completo. Congreso. V Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. Universidad Nacional de Río Cuarto, Dpto. Geología.

HEIRI O, LOTTER A.F, LEMCKE G. 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. Journal of Paleolimnology 25: 101-110.

INTROCASO A, LION A, RAMOS V.A. 1987. La estructura profunda de las Sierras de Córdoba. Asociación Geológica Argentina. Rev, 42, 1-2.

IÑIGUEZ A, SCOPPA C. 1970. Los minerales de arcilla en los suelos "zonales" ubicados entre los ríos Paraná y Salado Provincia de Buenos Aires. RIA 71: 1-41.

IÑIGUEZ A, SCOPPA C. 1971. Mineralogía de arcilla en suelos alcalinos-sódicos del noroeste de la provincia de Buenos Aires. RIA 83:119-140.

- ÍÑIGUEZ A, SCOPPA C. 1974. Significado genético de la mineralogía de arcillas en los suelos del flanco norte de las sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires. LEMIT. Serie II 262:57-71.
- IRIONDO M. 1990a. Map of the South America plains -Its present state. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula 6: 297–308.
- IRIONDO M. 1990b. The Northern Pampa. En Loess Stratigraphy and Geomorphology of the Pampas (Post-symposium field excursion). International Symposium on Loess, INQUA.
- IRIONDO M. 1990c. The Late Holocene dry period in the Argentina plains. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula 7: 197–218.
- IRIONDO M. 1999. Climatic changes in the South American plains: Records of a continent-scale oscillation. Quaternary International 57/58: 93-112.
- JARSUN L. 1981. Génesis, taxonomía y aptitud de los suelos, Departamento Marcos Juárez y Unión, Provincia de Córdoba. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba, 149 p. Córdoba.
- KRAPOVICKAS J. 2014. Estratigrafía y mamíferos cuaternarios de las "pampas de altura" de las Sierras Pampeanas de Córdoba, Argentina. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba (inédita), 390 p. Córdoba.
- KRAPOVICKAS J, TAUBER A. 2012. La estratigrafía en las pampas de altura de las Sierras Pampeanas de Córdoba: Modelo regional. 5º Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas: 34–35. Río Cuarto.
- KRÖHLING D. 1998. Geomorfología y Geología del Cuaternario de la cuenca del río Carcarañá, desde la confluencia de los ríos Tercero y Cuarto, provincias de Sta. Fe y Córdoba. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba (inédita), 224 p. Córdoba.
- KRÖHLING D.M, IRIONDO M. 1999. Upper Quaternary Palaeoclimates of the Mar Chiquita area, North Pampa, Argentina. Quaternary International 57-58: 149–163.
- KRUMBEIN W.C. 1934. Size frequency distributions of sediments. J. of Sedimentary Petrology 4: 65-77
- LEONARDI R. 1961. Contribución al conocimiento de la estratigrafía y paleontología de la Pampa de Olaen. Tesis Doctoral (inédita). Universidad Nacional de Córdoba.
- LOAIZA J.C, STOOPS G, POCH R.M, CASAMITJANA M. (EDS). 2014. Manual de micromorfología de suelos y técnicas complementarias. Fondo Editorial Pascual Bravo. Medellín, 384 pp.

Tesis de Licenciatura: "*Análisis paleoambiental de secuencias cuaternarias en el tramo medio del arroyo Santa Catalina, Córdoba, Argentina*".
Pascualone, Franco D.

- MACK G.H, JAMES W.C. 1993. Calcic paleosols of the Plio-Pleistocene Camp Rice and Palomas formation, southern Rio Grande rift, USA. *Sedimentary Geology* 77, 89–90.
- MANZUR A. 1995. Aspectos genéticos de los suelos presentes en Atum Pampa y Athos Pampa, Sierras Grandes, Córdoba, Tesis Doctoral (inédita). Universidad Nacional de Córdoba, 105 p. Córdoba.
- MARTÍNEZ D. 1991. Caracterización geoquímica de las aguas de la laguna Mar Chiquita, Provincia de Córdoba. Tesis Doctoral (inédita). Universidad Nacional de Córdoba. 219 p. Córdoba.
- MASON C.C, FOLK R.L. 1958. Differentiation of beach, dune and eolian flat environments by size analysis, Mustang Island, Texas. *Jour. Sed. Petrol.* 28: 211-226.
- MERCER J. H. 1976 Glacial history of Southernmost South America. *Quaternary Research* 6, 125-166.
- MONTERO M. 2011. Usos del suelo en la ciudad de Río Cuarto: sector sur. Proyecto de Investigación: "Problemáticas de la Sociogeografía Urbana de la ciudad de Río Cuarto". UNRC. Departamento de Geografía. Facultad de Ciencias Humanas. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- MORRÁS H. J. M, DELAUNE M. 1981. Composición mineralógica de la fracción arena de algunos suelos de los bajos submeridionales Santa Fe. *Actas 8avo Congreso Geológico Argentino*, 4: 343-352.
- MORRÁS H. J. M, DELAUNE M. 1985. Caracterización de áreas sedimentarias del norte de la provincia de Santa Fe en base a la composición mineralógica de la fracción arena. *Ciencia del suelo*, 3 1-2: 140-151.
- ORTOLANI C. 2008. Estratigrafía del Cuaternario del Tramo Medio del Arroyo Achiras-Del Gato. Dpto. Río Cuarto - Prov. Córdoba. Tesis de Licenciatura. U.N.R.C
- PANIGATTI JL, MC PEREZ, MUSSETTI M. 1983. Evolución de la temperatura del suelo. Influencia de la cobertura. *Public. Misc. N°15. INTA EEA, Rafaela.* 35p.
- PIÑEIRO A, PANIGATTI J.L. 1972. Génesis de un suelo planosol. *RIA. Serie 3, IX:* 1-27.
- PIOVANO E. 1994. Interrelaciones del modelo deposicional de la Formación Saldán (Cretácico inferior), Sierra Chica de Córdoba, Rep. Arg., con los parámetros físicos y químicos. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba. Pp. Córdoba
- POWERS M. C. 1953. A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Research*, 23(2), 117-119.

- RABASSA J, CLAPPERTON C.M. 1990. Quaternary glaciations of the southern Andes. *Quaternary Science Reviews* 9, 153-174
- RABASSA J, HEUSSER C. J, STUCKENRATH R. (1986). New data on Holocene sea transgression in the Beagle Channel: Tierra del Fuego, Argentina. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 4, 291–309.
- RAVELO A. C, HERRERO M.A. 1999. Software PDIWIN V1.0. CREAN. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UNCRETALLACK, G., 2001. *Soils of the Past. An introduction to paleopedology* Blackwell Science. 2nd. Edition. UK. 404p.
- RODRIGUEZ M. J. 2016. Conformación de unidades morfodepológicas como herramienta para el ordenamiento territorial en el Departamento General San Martín. U.N.V.M.
- RODRIGUEZ M.J, BECKER A, GRUMELLI M, CASTRO R, GUZMÁN L.A, RAZQUÍN C, SODERO S, CASTOLDI L, EMILIANI E, GIACONE C, CONCI E, HEREDIA P. 2015. Evaluación de la calidad de suelos mediante un sig. Departamento General San Martín, Córdoba. 5° Jornadas Argentinas de gvSIG. Tecnología libre para las ciencias y la educación. Mendoza.
- SAGRIPANTI G. L. 2006. Neotectónica y Peligro Sísmico de la región de Sampacho, Dpto. Río Cuarto, Pcia. de Córdoba, Inédito, Tesis Doctoral Universidad Nacional de Río Cuarto.
- SANABRIA J. 2000. Génesis de suelos y su relación con la geomorfología y geología del Cuaternario en la cuenca baja del Río Anizacate, Córdoba. Tesis Doctoral (inédita), Universidad Nacional de Córdoba, 220 p. Córdoba.
- SANABRIA J.A, ARGÜELLO G.L. 2009. Los Suelos Enterrados en la Plataforma Basculada Ondulada en la Región Central de la Provincia de Córdoba, Argentina. 4º Congreso de Cuaternario y Geomorfología, Actas: 306, La Plata.
- SANABRIA J.A, ARGÜELLO G.L, MORETTI L. 2006. Análisis de tres perfiles litocronoestratigráficos en la llanura central cordobesa. Argentina. 3º Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas 2: 911–917. Córdoba, Argentina.
- SANABRIA J.A, TAUBER A, ARGÜELLO G, MORRÁS H, MORETTI L, KRAPOVICKAS J, ROUZAUT S, MANSILLA L, ZAHN E. 2014. Paleosuelos del Holoceno, en el área de Los Gigantes. Sierra Grande de Córdoba, Argentina. 19º Congreso Geológico Argentino. Córdoba.
- SÁNCHEZ M, BLARASIN M. 1987. Depósitos eólicos cuaternarios de la zona de Cuatro Vientos. Dpto. Río Cuarto, Provincia de Córdoba, Rep. Argentina. 10º Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 293–296. Tucumán.

- SÁNCHEZ M, COMBINA A. 1991. Secuencias sedimentarias cuaternarias y su relación con el ambiente tectónico local en Cuatro Vientos - Córdoba. Jornadas Científicas de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales, UNRC, Actas G-P 80. Río Cuarto.
- SANTA CRUZ J. 1972a. Geología al Este de las Sierras Chicas (Provincia de Córdoba) entre La Granja y Unquillo, con especial referencia a las entidades sedimentarias. 5º Congreso Geológico Argentino, Actas Tomo IV: 221–234. Carlos Paz.
- SANTA CRUZ J. 1972b. Geología al Este de las Sierras Chicas (Provincia de Córdoba), Valle del río Primero. 5º Congreso Geológico Argentino, Actas 1 (3-4): 102–109. Carlos Paz.
- SANTA CRUZ J. 1973. Cortes geológicos transversales del valle del río Santa Catalina (Córdoba) en el sector del pie de sierra. Boletín de la Asociación Geológica de Córdoba, Actas 2(1-2): 25–28.
- SANTA CRUZ J. 1979. Aspectos sedimentológicos de las formaciones aflorantes al este de las Sierras Chicas. Provincia de Córdoba, Rep. Arg. Revista de la Asociación Geológica de Córdoba 33(3): 232–244.
- SAYAGO J.M. 1975. Geomorfología aplicada del valle de San Alberto (Provincia de Córdoba). Universidad Nacional de Córdoba. Tesis Doctoral, 131 p. Córdoba.
- SAYAGO J.M. 1999. Aproximación regional al loess subtropical argentino. 1º Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas: 159–175. La Pampa.
- SCHIAVO H. F. 1991. Evolución de una catena de suelos en la región Pedemontana, Dpto. Río Cuarto, Córdoba. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Río Cuarto.
- SCHIAVO H. F. 2003. Tipos y génesis de las Toscas Calcretos de la región Centro Oeste de la Provincia de Córdoba. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Río Cuarto. 148 pp.
- SCHIAVO H. F, CANTÚ M.P. 2001. Génesis de los calcretos de la Sierra de las Peñas, Córdoba Argentina. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. CD. Trabajo IV-9, 4 páginas.
- SCHIAVO H. F, CANTÚ, M. P. 2002. Micromorfología de los calcretos del Departamento Río Cuarto, provincia de Córdoba, Argentina. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. CD. 6 páginas.
- SCHIAVO H. F, BECKER A, CANTU M.P. 1993. Caracterización y génesis de los fragipanes de la Depresión de Curapaligüe, Dpto. Saenz Peña, Córdoba, Argentina. Ciencia del Suelo. Buenos Aires: Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Vol.13 n°1. p28 - 34. issn 0326-3169.

- SCHIAVO H. F, CANTÚ M. P, BECKER A. 2004. Los calcretos de la Sierras de Las Peña, su génesis y la relación con el suelo actual. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. CD 7 páginas.
- SCHIAVO H.F, BECKER A, GRUMELLI M, CANTÚ M, IMBELLONEE P. 2014. Calcretas del suroeste de la provincia de Córdoba. Suelos con acumulaciones calcáreas y yesíferas de Argentina. Buenos Aires: Ediciones INTA 2014. p3 - 24. isbn 978-987-521-477-4.
- SCHIAVO H.F, BECKER A, GRUMELLI M, CANTÚ M. 2013. Calcretos del Suroeste de Córdoba. Capítulo en libro en prensa. Editora: Imbellone Perla.
- SCHIAVO H.F, BECKER A.R, CANTÚ M.P. 1995. Caracterización y génesis de los fragipanes de la depresión Curapaligüe. Departamento Sáenz Peña, Córdoba, Argentina. Suplemento IDIA 33: 659–673.
- SOIL SURVEY STAFF, 1993. Soil Survey Manual. U.S. Dept. Agric. Handbook vol. 18, U.S. Govt. Print. Office, Washington, DC.
- SOIL SURVEY STAFF, 2006. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. On Line, Washington, DC.
- SOIL SURVEY STAFF, 2014. Claves para la Taxonomía de Suelos, Décima segunda Edición - Traducido al español. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Washington, DC.
- STOOPS G. 2003. Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections. Soil Science of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 174 pp.
- TAUBER A, GOYA F. 2006. Estratigrafía y fósiles del Pleistoceno- Holoceno en las pampas de altura en el Departamento Cruz del Eje, Córdoba, Argentina. 3º Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas 2: 717–726. Córdoba.
- VARGAS GIL J. R. 1983. Génesis de los paleargids de la Puna Argentina. X Congr. Arg. Y VIII Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata.
- VARGAS GIL J. R, SCOPPA C, IÑIGUEZ A. 1972. Génesis de los suelos de la región norte de la Bahía de San Borombón. RIA Serie Clima y Suelo, IX,1:29-52.
- VILLEGAS M, SÁNCHEZ M. 1988. Secuencia holocena de la cuenca media baja del Río Cuarto, Dptos. Río Cuarto-J. Celman, Córdoba, Arg. 1º Simposio Int. sobre el Holoceno de América del Sur, Paraná. Resumen Expandido.
- ZANOR G. 2009. El registro sedimentario de la Salina de Ambargasta (29°S-64°O): análisis de multi-indicadores y reconstrucción paleoambiental durante el Pleistoceno tardío-Holoceno. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba (inédita), 211 p. Córdoba.