

Universidad Nacional de Río Cuarto

Facultad de Ciencias Exactas, Físico químicas y Naturales

Departamento de Geología

**CARACTERIZACION DE
SUELOS EN UNA
TRANSECTA DEL CAMPUS
DE LA UNRC, RIO CUARTO,
CORDOBA**

GIORDANINO MARÍA LORENA

DIRECTORA: DRA. MARÍA GRUMELLI

CODIRECTOR: DR. HUGO SCHIAVO

Tesis de Licenciatura - 2019

A close-up photograph of a young green plant sprout with several leaves emerging from dark, rich, textured soil. The lighting is warm, highlighting the vibrant green of the plant against the dark brown earth.

INDICE DE CONTENIDOS

I.INTRODUCCIÓN	8
I.1 FUNDAMENTACIÓN Y ANTECEDENTES	9
I.2. HIPÓTESIS	11
I.3.OBJETIVOS	12
I.4. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	12
II.MATERIALES Y METODOS	14
II.1 ETAPA DE GABINETE INICIAL	15
II.1.1 Caracterización Geológica	15
II.1.2 Caracterización climática de Rio Cuarto	15
<i>II.1.2.1 Información termométrica</i>	16
<i>II.1.2.2 Vientos</i>	16
<i>II.1.2.3 Información pluviométrica</i>	16
II.1.3 Uso del suelo y vegetación	18
II.1.4 Caracterización de hidrología superficial y subterránea	18
II.1.5 Determinación de la transecta	18
II.2 ETAPA DE CAMPO	19
II.3 ETAPA DE LABORATORIO	19
II.4 ETAPA DE GABINETE FINAL	21
III.CARACTERIZACION GEOLOGICA	22
III.1. ESTRATIGRAFÍA	23
III.2. ESTRUCTURA	27
III.3 GEOMORFOLOGÍA	30
III.4. VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO	38
III.5. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL REGIONAL	40

III.6 HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA: ACUÍFERO FREÁTICO	44
III.6.1. Hidrodinámica	44
III.6.2. Características litológicas del acuífero freático	45
III.6.3. Calidad natural del agua y problemas de contaminación	46
IV.RESULTADOS Y CONCLUSIONES	49
IV.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	50
IV.2. DETERMINACION DE LA TRANSECTA	59
IV.2.1. Descripción y análisis del suelo en la posición de loma	60
IV.2.2. Descripción y análisis del suelo en la posición de media loma	63
IV.2.3. Descripción y análisis del suelo en la posición de bajo	67
IV.3. MINERALOGIA DE ARENAS FINAS	71
IV.3.1. Suelo en la posición de loma	71
IV.3.2. Suelo en la posición de media loma	73
IV.3.3. Suelo en la posición de bajo	74
IV.4. APLICACIÓN DEL CONCEPTO DE CATENA A LOS SUELOS DESCRITOS	75
V.DISCUSIÓN	83
VI.BIBLIOGRAFÍA	87

INDICE DE FIGURAS

Figura I.1: imagen del área de estudio tomada de Google map	13
Figura I.2: Mapa de ubicación de la zona de estudio	13
Figura III.1: Mapa Estructural del Sur de Córdoba (tomado de Sagripanti 2006)	30
Figura III.2: Esquema Geomorfológico (Tomado de Hoja Geológica 3363-III Río Cuarto)	37
Figura III.3: Fotografía tomada en el sector de media loma con vista hacia el Sureste	39
Figura III.4: Fotografía tomada desde la RN 36 con vista hacia el Norte	40
Figura III.5: Acuífero freático: mapa curvas equipotenciales (Tomado de Hoja Geológica II Río Cuarto)	48
Figura IV.1: Direcciones predominantes del viento en la ciudad de Río Cuarto. Período desde 1975 a 1993	51
Figura IV.2: Distribución de velocidades medias mensuales de vientos en la ciudad de Río Cuarto. Período desde 1976 a 2001	52
Figura IV.3: Distribución de temperaturas medias mensuales ciudad de Río Cuarto. Período desde 1974 a 2017	52
Figura IV.4: Distribución de precipitaciones anuales en la ciudad de Río Cuarto. Período desde 1974 a 2017	53
Figura IV.5: Distribución de precipitaciones medias mensuales en la ciudad de Río Cuarto. Período desde 1974 a 2017	54
Figura IV.6: Balance hídrico seriado para la ciudad de Río Cuarto	55
Figura IV.7: índice de sequía para la ciudad de Río Cuarto. Período desde 1974 a 2017	58
Figura IV.8 Imagen tomada de Google Maps donde se observa la ubicación de las calicatas	59

Figura IV.9a: Perfil suelo en la posición de alto	63
Figura IV.9b: Detalle del perfil suelo en la posición de alto	63
Figura IV 10: Perfil suelo en la posición de media loma	66
Figura IV 11: Perfil suelo en la posición de bajo	70
Figura IV.12. Mineralogía de Horizonte C del suelo en la posición de loma	72
Figura IV.13: Mineralogía de Horizonte C del suelo en la posición de media loma	74
Figura IV.14: Mineralogía de Horizonte C del suelo en la posición de bajo	75
Figura IV.15: Secuencia catenaria estudiada	77
Figura IV16: influencia del relieve sobre los procesos de arrastre y sedimentos de partículas	78
Figura IV.17: Clasificación textural de los suelos de la transecta	78
Figura IV18: Comparación del porcentaje de carbono orgánico entre los diferentes suelos	80
Figura IV.19: Comparación del pH entre los distintos suelos	81
Figura IV.20: Comparaciones del contenido de bases entre los suelos de la catena	82

INDICE DE TABLAS

Tabla III.1: Cuadro estratigráfico regional (<i>Grumelli, 2010</i>)	27
Tabla IV.1: Rangos establecidos para distintos valores de sequía	56
Tabla IV.2 Datos analíticos del perfil típico del suelo en la posición de loma	61
Tabla IV.3. Datos analíticos del perfil típico del suelo en la posición de media loma	65
Tabla IV.4 Datos analíticos del perfil típico del suelo en la posición de bajo	68



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

I.1 FUNDAMENTACIÓN Y ANTECEDENTES

En cuanto a los primeros antecedentes que describen la relación suelo-paisaje o pedología-geomorfología, podemos citar los conceptos de Dokuchaev, (1883) considerado el padre de la Edafología, quien fue la primera persona que propuso que las variaciones geográficas en las características del suelo estaban relacionadas también con las variaciones climáticas y topográficas, así como con factores geológicos (material parental o roca madre). Sus ideas fueron desarrolladas por otros científicos, como Hans Jenny (1941) que, al desarrollar un sistema cuantitativo de estudio de la pedología a través del análisis de los Factores Formadores de los suelos, establece algunas de las relaciones más importantes entre suelo y relieve. Tal es así que las aplicaciones de Jenny determinaron cambios muy importantes en el estudio de la Geomorfología, la geología del Cuaternario, la Paleopedología y la Arqueología. Posteriormente se avanza en la integración de estos conceptos mediante los estudios llevados a cabo por numerosos autores (Ruhe, 1956, 1960; Butler, 1959; Morrison, 1967). Una contribución de gran importancia es la aportada por Birkeland (1974), quien asocia la teoría genética de los suelos con los estudios geomorfológicos e impulsa la interpretación geológica de los cinco factores de formación y provee el sustento teórico de los estudios de crono secuencias. Gerrard (1992) resalta que las vinculaciones entre geomorfología y suelos también dependen de otros factores como la actividad tectónica, el rejuvenecimiento y los cambios climáticos.

Como ya se ha visto, cuando hablamos de las relaciones entre geomorfología y pedología o suelo-paisaje, el espectro de las áreas y de los tópicos de investigación interdisciplinaria es amplio y variado. En este caso particular, nos centramos en el relieve como aspecto fundamental en la formación de suelos, donde la pedogénesis influye en el relieve y viceversa.

Desde el punto de vista edáfico, los elementos del relieve más importantes son la inclinación y longitud de las laderas, la posición fisiográfica y la orientación. Los procesos de erosión y acumulación (el transporte de sedimentos tanto vertical como lateral por el flujo del agua) también están relacionados con las características topográficas. El relieve determina especialmente la cantidad de agua que se infiltra, se mueve y se acumula en los suelos y a su vez la acción del agua condiciona gran parte de los procesos edafogenéticos.

La comprensión de que las formas de pendiente particulares estaban asociadas con secuencias de suelo particulares condujo a la formulación del concepto de catena. Milne (1935) definió originalmente una catena como una unidad de mapeo, una agrupación de suelos que, si bien se dividen en un sistema natural de clasificación debido a diferencias fundamentales y morfológicas, igual están vinculadas en su aparición por condiciones de topografía y se repiten las mismas relaciones entre sí, siempre que se cumplan las mismas condiciones. El verdadero significado de las catenas radica en el reconocimiento de los procesos esenciales involucrados en la diferenciación catenaria y no en la apariencia formal de su producto. Es la interacción de los suelos y las formas de relieve, y

por lo tanto los procesos del suelo y los procesos geomorfológicos, que es la clave de las catenas y la razón por la cual el concepto ha sido tan importante en los estudios de suelos y formas de relieve. Pero la amplia aplicabilidad del concepto se complica por consideraciones de variaciones del material original y diferencias climáticas. El conocimiento de los suelos/paisaje del sur de la provincia de Córdoba a escala regional y de semidetalle fue abordado por Cantú y Degiovanni (1984) y posteriormente Degiovanni *et al.* (2003, 2005). También es necesario citar a Capitanelli (1979) por su Geografía de la provincia de Córdoba. Otras investigaciones efectuadas en la zona a escala de detalle y semidetalle que están referidas a diversos aspectos geológicos, entre los que se incluyen la relación suelo/paisaje son Cantú (1998, 2006), Schiavo (2003), Grumelli (2006, 2010), Rodríguez (2015, 2016), Grumelli *et al.* (2018), Ronco (2018), entre otros. Sanabria *et al.* (2014) presentan una síntesis muy importante del avance de los estudios de los suelos de la provincia de Córdoba.

I.2. HIPÓTESIS

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 son loess arenosos muy finos compuestos por dos familias mineralógicas, la del basamento de Sierras Pampeanas y la volcánica de la Cordillera de los Andes (Cantú, 1992; Becker, 1987, 2006; Schiavo, 2003; Grumelli, 2010). La evolución de los suelos está

fuertemente condicionada por la litología, la edad de los materiales cuaternarios, el clima y la neotectónica (Grumelli, 2010).

Los suelos ubicados en el campo experimental del campus de la UNRC, así como los materiales originarios, responden principalmente a la posición en el relieve, la edad de los materiales cuaternarios y los cambios climáticos del Pleistoceno Superior-Holoceno.

I.3.OBJETIVOS

I.3.1. Objetivo General

Caracterizar los suelos representativos a lo largo de una transecta del tipo toposecuencia o catena.

I.3.2. Objetivos específicos

- Establecer las relaciones suelo-paisaje para los suelos de la catena seleccionada.
- Determinar las características morfológicas, físicas, químicas y fisicoquímicas de los suelos identificados.
- Clasificar taxonómicamente los suelos representativos de la catena.

I.4. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en el Campo de Docencia y Experimentación (CAMDOCEX) de la UNRC (Figura I.1). Este predio se ubica a la vera de la ruta

36 km 601, frente al Campus Universitario, Departamento Río Cuarto, Córdoba, Argentina (Figura I.2).



Figura I.1: imagen del área de estudio tomada de Google maps

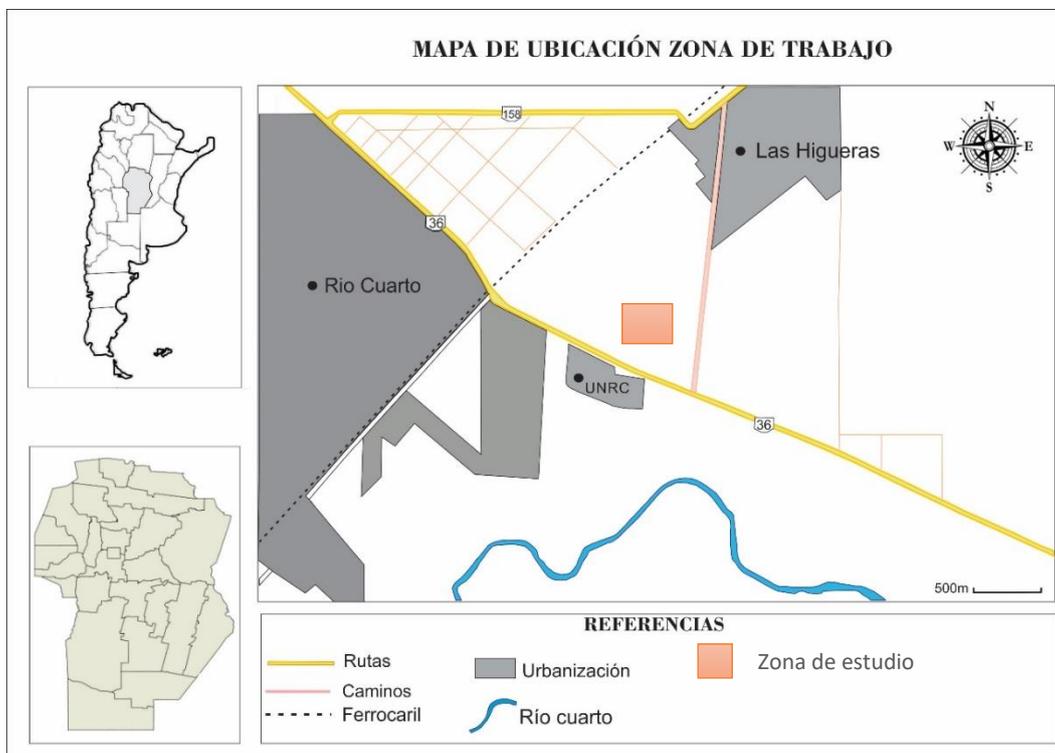


Figura I.2: Mapa de ubicación de la zona de estudio

A close-up photograph of a young green plant sprout with three leaves emerging from dark, rich, textured soil. The lighting is warm, highlighting the texture of the soil and the vibrant green of the plant.

CAPITULO II

MATERIALES Y METODOS

En el presente capítulo se indican de forma breve las metodologías y materiales que fueron aplicadas en la caracterización geomorfológica, estructural, hidrológica, climática y uso del suelo del área de estudio.

Se realiza un desarrollo más amplio del método empleado en el muestreo de campo y en las determinaciones químicas, físicas y físico-químicas de cada calicata.

II.1 ETAPA DE GABINETE INICIAL

Durante esta etapa se llevó a cabo en primera medida la recopilación y el análisis de antecedentes geológicos-geomorfológicos, cartográficos, pedológicos, clima, hidrografía subterránea y superficial, vegetación natural y uso de la tierra entre otros.

II.1.1 Caracterización Geológica.

Se llevo a cabo utilizando la Hoja Geológica 3363-III Río Cuarto. Se describieron las principales características estratigráficas, estructurales y geomorfológicas, algunas de ellas se tomaron las modificaciones y actualizaciones de Grumelli (2010).

II.1.2 Caracterización climática de Río Cuarto.

Se realizó a través de la información proveniente de la Estación Agrometeorológica de la Universidad Nacional de Río Cuarto ubicada en el Campus Universitario a 6km de la ciudad homónima (Latitud 33°06'00" S; Longitud 64°18'00" O y a 440m s.n.m.), posee una serie de datos desde 1976 hasta 2017. Esta Estación provee información diaria de temperatura, precipitación (tipo, cantidad, hora de inicio y de finalización), vientos (dirección, velocidad y frecuencia), humedad relativa y heliofanía.

II.1.2.1 Información termométrica

Se calculó la temperatura media anual y se graficó la distribución de las temperaturas medias mensuales, haciendo mención de las temperaturas mínima y la máxima.

II.1.2.2 Vientos

Se calculó a velocidad media anual del viento y se graficó la rosa de los vientos medios anuales con ocho direcciones, Norte (N), Noreste (NE), Este (E), Sureste (SE), Sur (S), Suroeste (SO), Oeste (O), Noroeste (NO); además, se graficó la distribución de velocidades medias mensuales.

II.1.2.3 Información pluviométrica:

Se calcularon los parámetros que a continuación se detallan:

- ✚ La precipitación media anual y las precipitaciones medias mensual, máxima y mínima.

- ✚ Se tomó la curva cronológica anual de precipitaciones ya elaborada y se realizó la distribución de las precipitaciones medias mensuales.
- ✚ Evapotranspiración Potencial (ETP) por el método de Thornthwaite y Mather (1955).
- ✚ Evapotranspiración Real (ETR) a través del balance hídrico modular (Thornthwaite y Mather, 1955) y del balance hídrico seriado (Ravelo, 1990).

Balance hídrico modular: se calculó el balance hídrico modular por el método de Thornthwaite y Mather (1955). A través del mismo se obtuvo la evapotranspiración potencial (ETP).

Balance hídrico seriado: se estimó el balance hídrico seriado a través del Modelo PDIMES (Ravelo, 1990).

El balance hídrico seriado permitió establecer el almacenaje, recarga potencial, recarga, agua potencialmente extraíble, agua extraída, evapotranspiración real y escurrimiento como excedente en el balance. En el cálculo del balance hídrico seriado se utilizó el valor de evapotranspiración potencial (ETP) calculado por el método de Thornthwaite y Mather (1955).

A través del balance hídrico seriado se calculó el índice mensual de

sequía a partir de la consideración de un índice de anomalía hídrica (por exceso o defecto) en función de las deficiencias hídricas (d) y los rangos de índice de sequía establecidos por Cantú (1998).

II.1.3 Uso del suelo y vegetación

Se caracterizó la vegetación nativa y se identificaron los principales usos del suelo en la ciudad de Río Cuarto. En el sector de ubicación de la transecta, el uso del suelo es meramente agrícola.

II.1.4 Caracterización de hidrología superficial y subterránea

Se llevó a cabo utilizando la Hoja Geológica 3363-III Río Cuarto. Se describió la hidrología superficial y subterránea (acuífero freático) del sur de la provincia de Córdoba. En este último describieron las principales características: hidrodinámica, litología, calidad de agua y problemas de contaminación.

II.1.5 Determinación de la transecta

Para concluir esta etapa y como principal eje de estudio de esta tesis, se realizó un análisis de las relaciones suelo-paisaje mediante Cartas Topográficas del IGN, así como de imágenes satelitales Landsat 8 y fotografías aéreas para establecer la localización en el terreno de los puntos representativos de los suelos desarrollados en el área de estudio.

II.2 ETAPA DE CAMPO

Se definieron tres sectores de transecta a caracterizar loma, media loma y bajo. Considerando que el área de trabajo es un campo experimental de varias disciplinas de la UNRC, se consensuó la ubicación de las calicatas para cada una de las secciones de la transecta.

Se realizó la apertura de tres calicatas, efectuándose la descripción de los suelos según el Soil Taxonomy (2014). El muestreo realizado es representativo de todo el perfil, ya que se muestrearon todos los horizontes descriptos.

II.3 ETAPA DE LABORATORIO

Sobre las muestras disturbadas se realizaron los análisis físicos, físico-químicos y químicos de rutina. En primera instancia fueron secadas al aire, desmenuzadas, tamizadas (malla N° 10 ASTM) y cuarteadas hasta obtener aproximadamente 1 kg.

Seguidamente se realizaron para cada una de ellas las determinaciones analíticas descriptas a continuación:

Carbono Orgánico (%): Se midió la materia orgánica por pérdida por ignición (LOI) según la metodología de Dean's (1974, 1999) modificado por Heiri *et al.*

(2001). Partiendo de una muestra de 7 gr de suelo, se seca a estufa a 105°C por 24 horas y luego se incinera en la mufla a 550°C por 4 horas.

Granulometría: El análisis granulométrico 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).

Tratamientos previos de la muestra: Partiendo de una muestra de 40 gr de suelo se realizó la eliminación de materia orgánica coloidal en frío mediante la incorporación de 100 ml de agua destilada y 10 ml de agua oxigenada al 20%. Posteriormente se añadió Ácido acético para cesar la reacción completamente. Se lavó la muestra repetidamente en centrifugadora (2.000 rpm por 30 minutos) con agua destilada hasta que el sobrenadante fue claro.

Finalmente se secó a estufa con temperatura menor a 40°C y se mortereó, para luego proseguir con el tamizado utilizando los tamices n° 18-35-60-120-230-270-Fondo.

pH: Se realizó por métodos potenciométricos; solución con agua destilada en 1:1 (Jackson, 1970).

Bases Intercambiables: Por el método del acetato de amonio, determinando los cationes Ca y Mg por titulación y Na y K por fotometría de llama.

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) por el método de acetato de amonio que utiliza acetato de sodio, determinando Na total por fotometría de llama.

Análisis mineralógico de arenas

Del tamizado del horizonte C de cada calicata muestreada, se separó la fracción retenida en el tamiz malla A.S.T.M. N° 230 (arena fina) para proceder con el análisis mineralógico de grano suelto por vía óptica. Además de la identificación, se analizó la esfericidad, redondez y el tamaño de cada clase individuo mineral

II.4 ETAPA DE GABINETE FINAL

Esta etapa consistió en la interpretación de los datos obtenidos en las etapas de campo y el procesamiento de los datos obtenidos en el laboratorio, para su posterior integración y realización del consiguiente informe.



CAPITULO III

CARACTERIZACION GEOLOGICA

III.1. ESTRATIGRAFÍA

Los estudios de los sedimentos cuaternarios se iniciaron tempranamente al igual que el resto de los estudios geológicos. 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, es la base de los estudios de estratigrafía del sur de Córdoba. Posteriormente dichos estudios se ampliaron a través de Degiovanni *et al.* (2005) y se complementaron y corrigieron edades (Tabla III.1) por Grumelli (2010).

A continuación, se presenta una breve descripción de esta:

Formación Alpa Corral (Cantú, 1998): hasta el momento se han descrito sólo en las cercanías de la localidad de Alpa Corral. 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.

En base a consideraciones geológicas Cantú ubicó su límite en el Plio-Pleistoceno. Tauber *et al.* (1992) han hallado restos fósiles que establecerían una edad más antigua para esta formación.

Formación Pampiano: (Cantú, 1992) Inicialmente descrita como fluvioeólica por no encontrarse la relación temporal y espacial de cada unidad. Grumelli (2010) describe dos miembros, los que afloran en el Arroyo del Gato, mostrando una clara relación entre ellos. El inferior se puede homologar con la Formación

Ensenada de la Provincia de Buenos Aires y el superior con la Formación Buenos Aires (González Bonorino, 1968).

El miembro inferior está integrado por facies planicie aluvial predominante y corresponde a sedimentos arenosos finos y muy finos y limos arenosos, laminados, de color pardo rojizo. Presenta además una facies coluvial integrada por sedimentos arena limosos homogéneos con débil estructura sedimentaria. De acuerdo a lo propuesto por Grumelli (2010) estos sedimentos del miembro inferior de la Formación Pampiano estarían indicando el 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 sedimentos eólicos, pardo amarillento, compuesto por limos y limos arenosos, con formación de calcretos. Estos sedimentos eólicos conforman el miembro superior de la Formación Pampiano, se corresponde con una aridización del clima (Grumelli, 2010) y corresponderían al Pleistoceno Superior, con una edad OSL 106 ka.

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.

Geosuelo Ea. El Cerrito: (Cantú, 1992) este paleosuelo se ha descrito en varios sectores del sur de Córdoba, en el área pedemontana y en las cercanías del arroyo Chucul y el arroyo Las Lajas. Se ha reconocido un horizonte Bt con estructura columnar y semicolumnar, con revestimientos de arcillas y óxidos de hierro.

Formación Chocancharava: (Cantú, 1992, 1998) son sedimentos representativos de un ciclo fluvial, se observa en todos los arroyos y ríos de la provincia. Está compuesto por facies de canal granodecrecientes que pasan a secuencias de aguas tranquilas. Sobre estos sedimentos se encuentra desarrollado el pedocomplejo La Colacha descrito por Cantú (1998, 2005) en los arroyos Las Lajas y del Gato. La edad sería Pleistoceno Superior.

Formación La Invernada: (Cantú 1992, 1998) corresponde a un espeso manto de loess que cubre grandes extensiones de la llanura e incluso ha cubierto las pampas de altura de las sierras Pampeanas como Pampa de Pocho, Achala, Olaen y otras menores de las Sierras de Comechingones. Este proceso deposicional loésico comienza entre los 77ka-50 ka OSL y culmina a los 10,5 ka OSL. Por lo general se observa la presencia de paleocanales cortando la sedimentación eólica cercano a la parte basal, siendo hacia arriba 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 luego una continua aridez hasta los comienzos del Holoceno (IS2) (Grumelli *et al.*, 2012).

Suelo Las Tapias: (Cantú 1992, 1998) desarrollado sobre sedimentos eólicos de la Formación La Invernada, está constituido por distintos grandes grupos y subgrupos del orden de los *molisoles*. En la mayor parte del territorio está cubierto por los 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) 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) son sedimentos eólicos arenosos muy finos y limosos, extendidos en amplias regiones del sur de Córdoba. Su deposición comenzó al finalizar el período Optimum Climaticum. Sobre estos materiales se desarrolla el suelo actual. Su edad OSL es 6,6 ka (Grumelli, 2010)

Tabla III.1: Cuadro estratigráfico regional (Grumelli, 2010).

Período	Época	Edad (Ka)	Unid. Litoestratigráfica y Alostratigráfica	Unid. Edafo-Estratigráficas	Clima	Edad inferida	Procesos Dominantes	
CUATERNARIO	HOLOCENO	1.5		Suelo Actual	Templado subhúmedo a húmedo	Presente	Pedogenesis Erosión eólica, Hídrica y fluvial	
		2.2						
		6.0	Formación Laguna Oscura		Frío 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			Formación La Invernada		Frío y seco	Younger Dryas	Erosión eólica. Depósitos de loess arenoso con canales efímeros
		49.7					Ultimo máximo glacial	
		106.0	Formación Chocancharaba	Geosuelo La Colacha	Semiarid. a arido		Interglaciario	Pedogenesis, depósitos aluviales y coluviales
			Formación Pampiano Sup.	Geosuelo Ea El Cerrito	Frío y seco		Penultimo Glacial	Depósitos de loess limoso y formación de calcretos
	PLEISTOCENO MEDIO			Formación Pampiano Medio	Geosuelo Santa Catalina	Templ. Calido y húmedo	Interglaciario	Depósitos aluviales y palustres
		147.0						

III.2. ESTRUCTURA

La región del sur de Córdoba muestra un estilo tectónico definido por bloques hundidos y levantados, basculados el E y SE, que generan una morfología escalonada y ondulada, cuya expresión disminuye en sentido de la pendiente

regional hacia el sudeste. Los bloques son elongados, con ejes mayores, con ejes mayores de dirección N-S y limitados por fallas normales e inversas con esta orientación (Degiovanni *et al.*, 2005). Su deposición condiciona la morfología, ejerciendo un control de la red de drenaje. Las depresiones que se ubican entre ellos son angostas y paralelas entre sí, conteniendo acumulaciones potentes de sedimentos que en algunos sectores superan los 5000 metros.

La orientación de las estructuras presentes (Figura III.1) definen varios sistemas que se describirán a continuación:

Sistema Norte-Sur: Se encuentra conformado por las fallas Santa Catalina, San Basilio, del Tigre Muerto, Levalle, Reducción, Alejandro-Pampayasta y El Rastreador-Los Cisnes.

Dentro de este sistema la megatrazza Alejandro Pampayasta es una de las más importantes para la región. Se ubica a los 63° 45' de longitud Oeste, con rumbo aproximadamente meridiano. Posee una longitud de centenares de kilómetros y genera un desnivel en la llanura que divide los bloques de la "pampa Elevada" y "Pampa Hundida" (Passoti, 1974).

Sistema Este-Oeste: Está constituido por la falla Río Cuarto y un conjunto de fracturas que limitan bloques menores.

La falla Río Cuarto (Villegas, 1996) ubicada a la latitud de 33° 10'S, controla al río homónimo hasta proximidades de la localidad de Reducción.

Hacia el sur se identificaron al menos cuatro fracturas que, aunque no presentan evidencias morfológicas superficiales muy marcadas, se pueden delimitar a partir de la interpretación del mapa de anomalías gravimétricas.

Sistema Noroeste-Sureste: Está bien representado en el extremo Sur de Las Sierras de Comechingones y en las planicies occidentales. Este sistema causa el descenso escalonado de los bloques serranos y controlan la red de drenaje de la mayoría de los cursos que tienen sus nacientes en ese sector. Algunas de las fallas de este sistema son Las Lajas-Sampacho, Alpa Corral y Chaito Chazón (Cantú y Degiovanni, 1982). En la zona de estudio estas fracturas son de carácter normal con componente de rumbo (Degiovanni y Cantú, 1997).

Sistema Nornoroeste-Sursuroeste: Las estructuras más importantes de este sistema son las fallas de Saladillo, Las Lagunas, Los Cóndores y San Francisco. Estas dos últimas habrían causado el desplazamiento de la Sierra de las Peñas hacia el NE (Degiovanni y Cantú, 1997), por otro lado, la falla de Las Lagunas es de carácter inverso y con probada actividad cuaternaria (Sagripanti *et al.*, 1998).

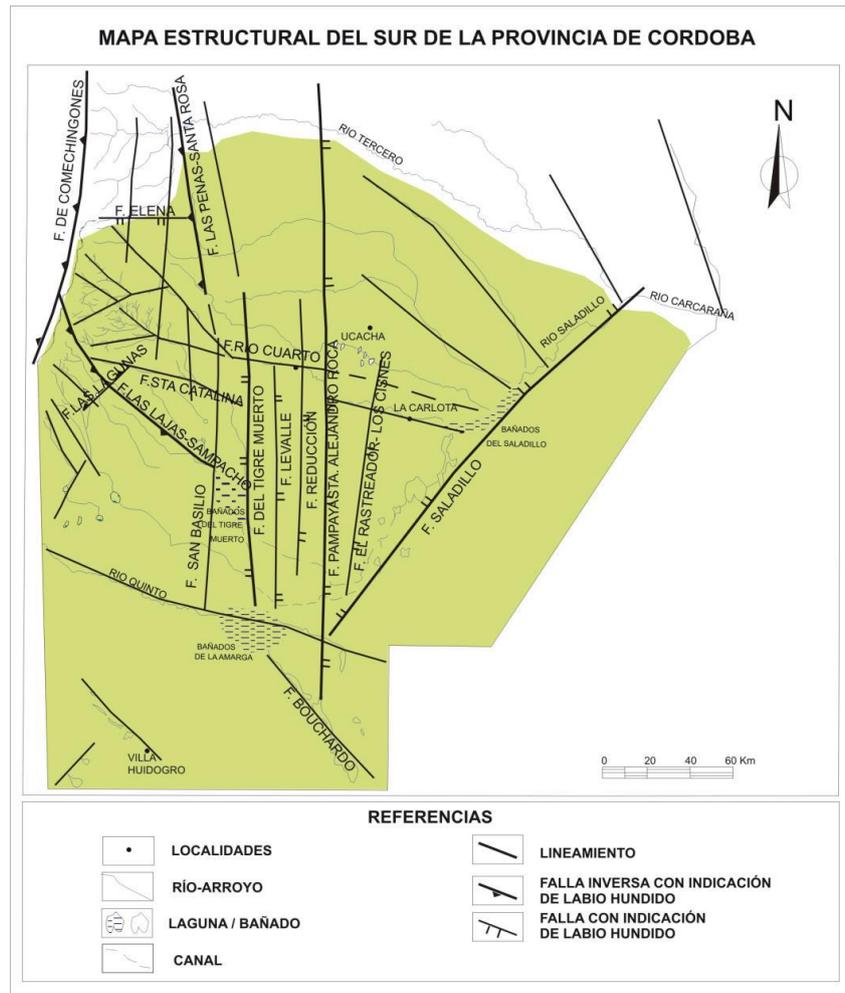


Figura III.1: Mapa Estructural del Sur de Córdoba (tomado de Sagripanti 2006).

III.3 GEOMORFOLOGÍA

Considerando el área de estudio se ha tomado como base la información expuesta en la Hoja Geológica 3363-III perteneciente a la ciudad de Río Cuarto. Las unidades geomorfológicas reconocidas tienen (Figura III.2) como antecedentes los trabajos de Cantú y Degiovanni (1984) y Blarasín et al. (2000), en los que se efectuaron estudios de carácter regional del sur provincial y definieron las principales unidades de relieve. Numerosos trabajos a escala de

detalle y semidetalle de estos autores entre otros, fueron utilizados para enriquecer las caracterizaciones.

El criterio para la clasificación de las unidades geomorfológicas es el propuesto por Iriondo (1987), con algunas modificaciones realizadas por Blarasín *et al.* (2000). En primer nivel se considera la tendencia tectónica general que condiciona los procesos dominantes: hundimiento-agradación, levantamiento-denudación; en el segundo se hace énfasis en los ambientes sedimentarios donde se generaron las formas de superficie y las características morfoestructurales están representadas a través de la dinámica del agua en las unidades; el tercer y cuarto nivel reflejan variantes morfológicas y morfodinámicas de estos ambientes.

UNIDAD LLANURAS EÓLICAS BIEN DRENADAS: se incluyen en esta unidad las planicies situadas al oeste de la falla Pampayasta-Alejandro Roca, que Passoti y Castellanos (1996) denominaran pampa elevada o pampa pedemontana.

- **Unidad Planicie loessoide con dunas longitudinales:** se presenta como una llanura fuertemente ondulada en la faja periserrana, con pendientes de orden del 3-7%, mientras que hacia el oeste constituye una suave planicie con valores de pendientes menores al 2%. A excepción de las fajas aluviales y otros sectores reducidos, en toda el área afloran sedimentos eólicos de la Formación Laguna Oscura (Cantú 1992),

constituyendo dunas longitudinales discontinuas y disipadas que localmente presentan reactivación histórica. En este ambiente se desarrollan las cuencas medias de los principales cursos de agua de la región.

- **Unidad Planicie arenosa con dunas parabólicas:** caracteriza al relieve del sudoeste de la provincia de Córdoba y sudeste de San Luis. Como patrón de fondo muy retrabajado, se presentan las dunas longitudinales de la Formación Laguna Oscura, pero el rasgo sobresaliente del relieve lo constituyen los campos de dunas parabólicas de hasta 5 Km de longitud, originados por vientos de dirección NE-SO en tiempos históricos. En la actualidad la mayoría de las dunas presentan cubetas de deflación ocupadas por lagunas y la actividad eólica es escasa, ya que gran parte de los cuerpos se encuentran bastante estabilizados por la vegetación y el nivel freático próximo a la superficie.

UNIDAD LLANURAS FLUVIALES: el río Cuarto drena una superficie aproximada de 2200 km², desde sus nacientes en la sierra de Comechingones hasta los bajos del Saladillo. La cuenca media y baja poseen un fuerte control estructural que no sólo define la dirección de escurrimiento sino el diseño en planta del canal y las dimensiones de su planicie aluvial. Hasta la ciudad de Río Cuarto el curso tiene una dirección NO-SE, sinuosidad baja a moderada y planicie aluvial importante. Desde aquí a la localidad de Reducción fluye hacia el este controlado por la

estructura de Río Cuarto. A partir de las fallas de Reducción y Alejandro Roca-Pampayasta, se desplaza hacia el sudeste ingresando a las llanuras deprimidas de baja pendiente con un patrón meandroso de alta sinuosidad y llanura aluvial bien desarrollada. La cuenca baja se caracteriza por un curso de sección transversal muy reducida, canalizado en su tramo final, que ingresa a los bañados del Saladillo e incide en una serie de abanicos de derrames de edad Holocena.

- **Unidad Faja fluvial de río cuarto:** esta unidad con un ancho que varía entre 250m y 3000m, está compuesta por morfologías de edad holocena superior-actual. Se reconocen tres niveles de terrazas de importancia; en la más antigua y de mayor expresión (T1) dominan ambientes de llanura de inundación, se reconocen paleocanales de envergadura. Dominan materiales arenosos finos-pelíticos con importante contenido de materia orgánica y un buen desarrollo edáfico. Asociado a los paleocanales hay sedimentos de granulometría areno-gravosa. Los niveles de terrazas T2 y T3, más modernos y de menor superficie, presentan morfologías que indican una importante migración de canales meandriformes y están constituidos por una sucesión de barras de espolón y surcos asociados, con paleocanales sinuosos y llanuras de inundación que reflejan una dinámica fluvial similar a la actual. En general están compuestas por materiales areno-gravosos que se hacen más arenosos hacia el este.

- **Unidad Derrames del río Cuarto:** en esta unidad se incluyen las áreas de desborde del río Cuarto ocurridos desde el Holoceno superior hasta la actualidad. Morfológicamente se presentan como un conjunto de abanicos de derrames que conforman uno mayor cuyo ápice se encuentra 20 km aguas arriba de la localidad de La Carlota y su zona distal alcanza los bañados del Saladillo. Toda la unidad tiene un relieve plano a muy suavemente ondulado producto de los sucesivos ciclos de inundación-sedimentación causados por los derrames mantiformes o encauzados en canales de poco porte.

UNIDAD LLANURAS FLUVIO-EÓLICAS IMPERFECTAMENTE DRENADAS:

esta unidad forma parte de un ambiente deprimido mayor que Passotti (1964) denomina pampa hundida que constituye el sector oriental de la llanura cordobesa. Su carácter negativo es de inicios del Cuaternario, posteriormente la unidad recibió el aporte de la mayoría de los sistemas fluviales con nacientes de las sierras pampeanas de Córdoba y San Luis e importantes espesores de sedimentos eólicos en los períodos de mayor aridez. Actualmente se presenta como una planicie suave a moderadamente ondulada, con pendiente general hacia el sudeste inferior al 0,5% generada por una serie de rasgos y paleorasgos fluviales y eólicos discontinuos en los que se sitúan cuerpos lagunares permanentes alimentados por agua freática y sistemas de cursos menores. Los sectores medanosos presentan mayor relieve local, con valores de pendiente de hasta 3%.

-
- **Unidad Paleoabánicos aluviales del río Cuarto y sistemas menores:** esta unidad comprende los paleoabánicos del río Cuarto, de los arroyos Chucul y Chazon y la parte norte del desarrollado por el río Quinto. En su construcción, iniciada desde el Terciario con el levantamiento de las sierras, se reconocen distintos pulsos vinculados a eventos neotectónicos y paleoclimáticos. Los sedimentos varían en granulometría pasando de arenosos finos-pelíticos a más arenosos asociados a los canales principales en épocas húmedas. La actividad fluvial más importante se asocia al Pleistoceno superior (Formación Chocancharava, Cantú, 1992).

 - **Unidad Depresión del Tigre Muerto:** constituye un área deprimida, con el nivel freático poco profundo o aflorante, que se corresponde con el bloque hundido asociado a la falla del Tigre Muerto. La pendiente general hacia el sur-sudeste, es del orden de 0,20%. En este ambiente geomorfológico se incluyen planicies aluviales antiguas (Pleistoceno superior- Holoceno bajo) de los arroyos Santa Catalina y del Gato cubiertos parcialmente por dunas longitudinales del Holoceno medio a superior, las fajas aluviales actuales de estos cursos y ambientes lagunares y de bañados holocénicos actuales. Los rasgos más antiguos indican la existencia de sistemas fluviales de envergadura que se integraban a redes exorreicas conjuntamente con la cuenca del río Quinto. Posteriormente el área pasó a comportarse como el sector terminal de una cuenca endorreica

recibiendo las descargas de los arroyos Santa Catalina y del Gato, desvinculándose del sistema del Quinto. En las últimas décadas debido a su alto grado de colmatación, se efectuaron canalizaciones que drenan los bañados del Tigre Muerto hacia los bañados del Saladillo. Esto les confiere carácter exorreico, aunque preservan su condición de área receptora local de los sistemas ya mencionados.

- **Unidad Planicie elevada de Viamonte:** es un área suavemente ondulada (pendientes del 0.1 a 0.2 %), con numerosos sectores mal drenados y halomórficos, que forman parte de un bloque positivo mayor de rumbo NE-SO asociado a la falla del Saladillo. Contiene áreas anegadizas que se asocian a paleocanales de los ríos Cuarto y Quinto o a depresiones de origen tectónico.

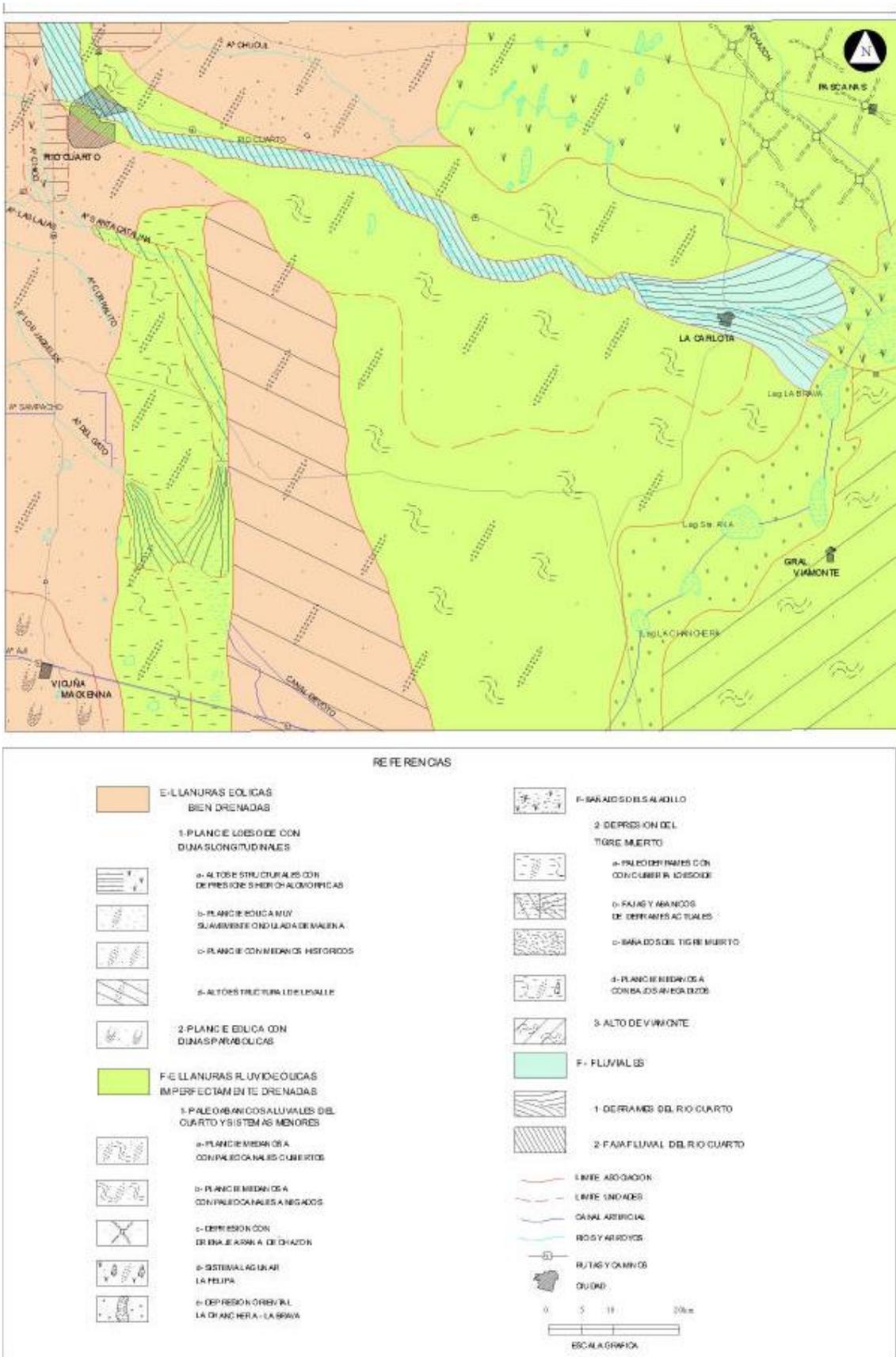


Figura III.2: Esquema Geomorfológico. (Tomado de HOJA GEOLOGICA 3363-III RÍO CUARTO)

III.4. VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO

La ciudad Río Cuarto se encuentra en la ecorregión del Espinal, distrito del Algarrobal; en un ambiente de transición entre las Sierras Pampeanas de Córdoba y la Llanura Chaco Pampeana de baja pendiente. El Espinal representa, en casi toda su extensión, una fisonomía en la que se combinan parches de bosque con pastizales y en ocasiones con comunidades palustres. Gran parte de esta ecorregión se localiza en tierras de alto desarrollo agrícola y urbano, motivo por el cual su superficie se ha visto fuertemente reducida desde hace décadas.

Los principales pilares de la economía del sur de la provincia son la agricultura y la ganadería. Como consecuencia del laboreo de los campos, la vegetación natural prácticamente ha desaparecido. Las especies cultivadas de ciclo estival que ocupan mayor superficie son soja, maíz, maní, girasol y sorgo, predominando la primera en sistemas de monocultivo. Es posible encontrar remanentes de vegetación nativa bordeando los cursos de agua, caminos, vías férreas y en áreas donde no se puede trabajar la tierra debido a accidentes topográficos como médanos, cerros y zonas de cárcavas. Los cursos de agua presentan una vegetación natural y exótica compuesta por especies arbóreas, arbustivas y herbáceas.

En la ciudad de Río Cuarto, existen algunos parches de bosque nativo que presentan una fuerte invasión de especies exóticas. En estos parches algunos de los problemas que originan las especies introducidas son: a) Desplazamiento de especies nativas; b) Hibridación y contaminación genética; c) Alteraciones de las redes de interacción entre especies de la comunidad (Castro-Díez *et al.*, 2004). A estos efectos, se les suma la dificultad para el control, la incertidumbre de respuesta del sistema afectado y en ciertos casos la irreversibilidad de los efectos (Zalba *et al.*, 1999).

Se identifican fundamentalmente dos grandes usos del territorio: urbano y rural. En este último domina el cultivo soja y en segundo lugar maíz, en ambos casos con elevada aplicación de agroquímicos. Como actividad productiva secundaria en la zona rural se destaca la cría de ganado bovino y porcino y en menor medida actividad avícola.

En el área de estudio (Figura III.3) el uso del suelo es únicamente agrícola. Los cultivos son rotados entre Triticale y Moha.



Figura III.3: Fotografía tomada en el sector de media loma con vista hacia el Sureste



Figura III.4: Fotografía tomada desde la RN 36 con vista hacia el Norte

III.5. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL REGIONAL

Los aspectos geológicos-geomorfológicos del sur de la provincia de Córdoba, como grandes condicionantes en el comportamiento del agua, permiten definir dos grandes ambientes hidrológicos interconectados: I) el correspondiente a la región serrana y planicies onduladas, caracterizado por la presencia de redes de drenaje organizadas, en general de carácter permanente y nivel freático medianamente profundo; y II) el asociado a las áreas planas o deprimidas donde el drenaje es anárquico, el nivel freático se encuentra a poca profundidad o aflorando y proliferan los cuerpos lagunares o de bañados. Una característica

muy importante en el funcionamiento hidrológico del área es el marcado carácter endorreico que posee la región (Degiovanni y Blarasin, 2005).

La mayor parte de los cursos de agua de la región tiene sus nacientes en las Sierras de Comechingones, donde son fuertemente controlados por el patrón estructural y la litología. En los tramos medios algunos cursos suelen recibir aporte freático, por lo que adquieren carácter permanente, mientras que otros se infiltran a la salida de la sierra, aportando agua al sistema subterráneo. Otros sistemas, en cambio, nacen directamente en el área de llanura por afloramiento del nivel freático en áreas deprimidas, en general de origen tectónico (Degiovanni y Blarasin, 2005).

En la región serrana 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; este hecho se ve favorecido por el deterioro de la cubierta vegetal en el área serrana (por sobrepastoreo, quemadas repetidas, etc.), que provocan un aumento del escurrimiento superficial y de los procesos erosivos con los consecuentes incrementos en la carga sedimentaria. La mayoría de las cuencas se resuelve en un único curso colector a la salida de la sierra, lo cual potencia el pico de las crecientes y sus consecuencias socio-ambientales. Las cuencas medias de estos cursos se desarrollan sobre sedimentos limo-arenosos finos de alta susceptibilidad a la erosión (salvo algunos niveles más resistentes como la

Fm. Pampiano), en relieves periserranos ondulados sometidos a uso agrícola ganadero. El tipo de materiales, las características del relieve y el uso de las tierras, aceleran los procesos erosivos y los escurrimientos superficiales con el consiguiente deterioro de tierras productivas e infraestructura instalada, a la vez que potencia el caudal líquido y sólido de los cursos colectores. Cuando los cursos de agua pasan de los relieves ondulados a las planicies y depresiones de las cuencas bajas, disminuyen su velocidad y depositan los sedimentos provocando anegamiento e inundación de tierras (Blarasin *et al.*, 2000).

Las cuencas que tienen sus nacientes en llanura muestran escasa evolución, con un único curso, en general rectilíneo y sin afluentes. Su funcionamiento está ligado a precipitaciones de alta intensidad local y su organización es muy dependiente de la actividad antrópica, que en la mayoría de los casos suele definir los límites reales de la cuenca. Las divisorias de aguas constituyen extensas áreas de muy bajo relieve, donde leves modificaciones en la pendiente definen la dirección de los escurrimientos. Es común observar que la red vial actúe como colectora de agua en los eventos tempestivos. Los valores de caudales sólidos y líquidos son muy variables para los ríos y arroyos de la zona (Degiovanni y Blarasin, 2005).

La mayor parte de los sistemas superficiales derraman en las llanuras deprimidas del centro-este de la provincia, que también constituyen áreas de descarga del flujo subterráneo que por sus dimensiones son importantes colectoras de lluvias

locales. Esta unidad aloja un gran número de cuerpos lagunares y de bañados que constituían el nivel de base terminal de los principales cursos de agua y que hoy sólo conservan parcialmente su función de receptoras de agua y sedimentos ya que integran redes de flujos en tránsito hacia las depresiones mayores (Degiovanni y Blarasin, 2005).

La mayoría de los ríos y arroyos tienen aguas de buena calidad, con tenores salinos que varían entre 100 mg/l en el sector serrano, y 1.200 mg/l en las áreas de descarga. Presentan una evolución geoquímica normal en función del sentido de escurrimiento NO-SE (Degiovanni y Blarasin, 2005). Son aguas que se mantienen bicarbonatadas en todo el trayecto, aunque en cuencas medias y bajas aumenta el contenido de sulfatos y cloruros, debido también a su interacción con el agua subterránea. En el área serrana y pedemontana son del tipo cálcicas, haciéndose sódicas hacia los sectores más bajos de la llanura. Las lagunas contienen aguas de baja salinidad en la zona medanosa, hasta muy saladas en la región oriental de la provincia. Estas últimas son de régimen permanente por aporte freático y del tipo geoquímico sulfatado y/o clorurado sódico. En algunos sectores se observan procesos de degradación del agua superficial debido a la acción de actividades antrópicas (Blarasin, 2003).

III.6 HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA: ACUÍFERO FREÁTICO

Al sur de la provincia de Córdoba el agua del acuífero freático circula con una dirección general NO-SE, observándose una jerarquización de los flujos de agua que permiten distinguir circuitos locales, intermedios y regionales. 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.

III.6.1. Hidrodinámica

Según el mapa de equipotenciales representado en la (Figura III.5) se definieron dos grandes cuencas subterráneas, con una divisoria de agua a nivel regional que sepa las cuencas del río Cuarto y arroyos ubicados al norte del mismo, de todo el sistema hidrológico de los arroyos Santa Catalina-El Gato y otros cursos menores ubicados el sur. En el primer caso, que corresponde al área de estudio, se produce una circulación de agua subterránea con sentido casi O-E al norte del río Cuarto y con sentido NO-SE al sur del mismo, siendo el área de descarga de toda la región el bloque hundido ubicado al pie de la falla bañados del Saladillo en el que, por afloramiento de agua freática, se encuentran instalados lagunas y bañados de gran extensión.

Los gradientes hídricos del agua subterránea son más altos en el ángulo noroccidental del área, y adquieren valores más bajos en el área deprimida

ubicada al este de la falla Alejandro Ampayasta. La velocidad del agua, definida por el gradiente y las litologías, adopta valores de 1,5 m/día para los materiales fluviales, hasta $2,5 \times 10^{-3}$ m/día para los sedimentos eólicos.

La profundidad del nivel freático en la región es variable y está fundamentalmente condicionada por el relieve y sujeta a los cambios de recarga que sufra el acuífero, por ejemplo en el centro-sur de la ciudad de Río Cuarto se han registrado ascensos de 2 a 3 metros, los que han causado numerosos problemas a la infraestructura edilicia.

III.6.2. Características litológicas del acuífero freático

Teniendo en cuenta los materiales que conforman en acuífero freático pueden considerarse dos zonas:

- Acuífero en áreas aledañas a las fajas fluviales más importantes. La faja fluvial del río Cuarto es el más importante acuífero del área en términos de rendimiento. Los materiales gruesos (arenas finas, gruesas y gravas) están vinculados a paleocauces y constituyen un acuífero excelente debido a su rendimiento y calidad. Los espesores medios de estas formaciones se encuentran entre 20-40 metros, las conductividades entre 10 y 500 m/día y las transmisividades alcanzan órdenes de 200 a 20.000 $\text{m}^2/\text{día}$. Los caudales de servicio llegan hasta 600 m^3/hora y los caudales específicos están en el orden de los 40-60 $\text{m}^3/\text{hora}/\text{m}$.

- En la zona de llanura, en sitios alejados de las fajas fluviales, el acuífero freático está compuesto por materiales predominantemente arenosos finos y limosos, con abundantes niveles cementados con carbonatos (clacretos). Las conductividades hidráulicas poseen valores entre 10 y 5 m/día; los más bajos suelen compensarse con grandes potencias de sedimentos (a veces de varias decenas de metros) generándose transmisividades del orden de los 200-400 m²/día. Los caudales de servicio son variables entre 5 y 50 m³/día y los caudales específicos oscilan entre los 0,5 y 2,5 m³/hora/metro. La calidad de agua asociada a estos sectores es baja por poseer tenores altos de salinidad y Sodio arsénico y flúor, esto limita su aptitud de uso tanto para consumo humano como para riego (aunque existe experiencia de potabilización en varias localidades).

En ambas zonas descritas, la posición de la base del acuífero se conoce en líneas generales a través de datos de perforaciones. Se trata de una formación acuicluda de materiales arcillosos con profundidad variable.

III.6.3. Calidad natural del agua y problemas de contaminación

En el ámbito que ocupa la Hoja Río Cuarto la evolución geoquímica del agua produce un aumento progresivo en el contenido salino desde 0,2g/l hasta 12g/l y el cambio gradual del tipo geoquímico desde aguas bicarbonatadas cálcicas y/o sódicas hasta cloruradas sódicas. La variación del contenido de SDT en el

agua ocurre desde el oeste hacia el este y en concordancia con la red de flujo. Los valores más bajos de sales, entre 250 y 500 mg/l, se observan en el ámbito de la faja fluvial de Río Cuarto. Los valores más altos de sales entre 4 y 12 mg/l, corresponden a muestras extraídas de perforaciones ubicadas en los bañados del Tigre Muerto y el entorno de los bañados del Saladillo y lagunas La Chanchera-Santa Ana-La brava.

Un problema muy grave del agua freática de gran parte del sur de la provincia de Córdoba es el alto contenido en oligoelementos, fundamentalmente flúor y arsénico, los cuales derivan naturalmente de los componentes principales del loess, donde el flúor procedería de la fluorapatita y del vidrio volcánico y de hornblendas y titanitas con F en su composición química. El arsénico procedería del vidrio, minerales y fragmentos líticos volcánicos, no descartándose la posible vinculación con óxidos amorfos de Fe (Smedley *et al.*, 2000).

Las principales fuentes antrópicas potencialmente contaminantes del agua subterránea son los lixiviados de basurales, campos fumigados con pesticidas, fertilizantes y pozos negros en barrios que carecen de un sistema cloacal; así lo ha permitido corroborar los estudios realizados en Río Cuarto y otras localidades (Blarasin *et al.*, 1997, Blarasin *et al.*, 1999 y Blarasin *et al.*, 2001), donde se ha detectado contaminación microbiológica y química fundamentalmente de nitratos.

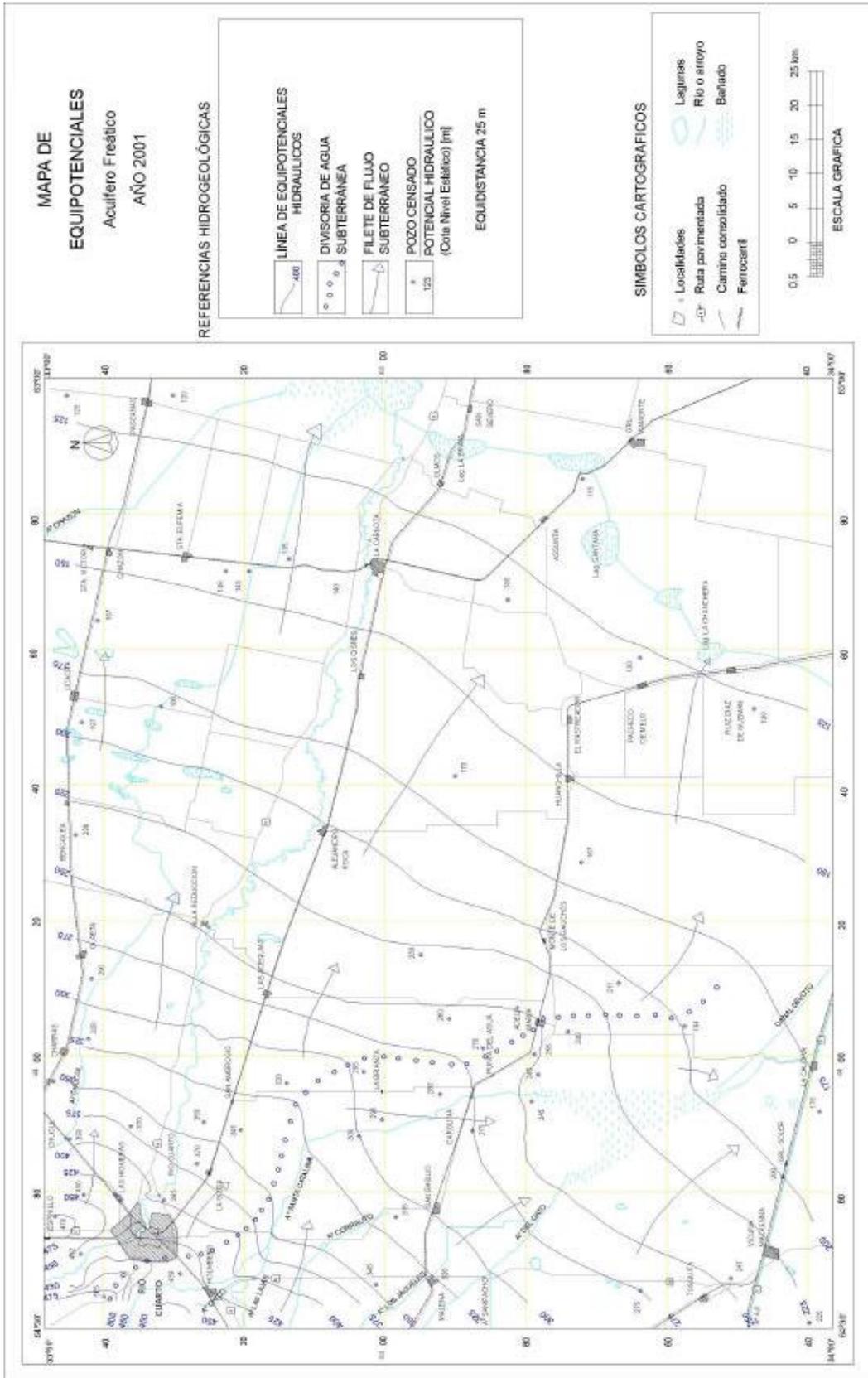


Figura III.5: Acuífero freático: mapa curvas equipotenciales. (Tomado de Hoja Geológica II Río Cuarto)



CAPITULO IV

RESULTADOS Y CONCLUSIÓN

IV.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

El clima del Sur de Córdoba es de tipo Mesotermal (Blarasin *et al.*, 2000) con variaciones en el régimen hídrico (Thornthwaite, 1948). En la llanura varía desde Subhúmedo en el NE provincial a Seco Subhúmedo al SW. En la sierra y el pedemonte varía entre Subhúmedo a Húmedo (Blarasin *et al.*, 2000). En la llanura las temperaturas medias anuales son de 17°C y en la sierra, son de 16°C, 20°C y 9°C y decrecen hacia las altiplanicies a 10°C, 14°C y 5°C respectivamente. Los registros de precipitación corresponden a series de 30 a 76 años, siendo la precipitación media anual de 780 mm. El 82% de las lluvias se concentran en primavera-verano y sólo el 18% en otoño-invierno (Blarasin *et al.*, 2000). Si bien la tendencia general en el Sur cordobés es de déficit hídrico, los balances hídricos seriados indican excesos en los períodos húmedos, parte de los cuales recargan el acuífero.

En la zona de estudio la caracterización de los parámetros climáticos se obtuvieron a partir de los datos procedente de la Estación Agrometeorológica de la UNRC ubicada en el Campus Universitario (Latitud 33°06'00" S; Longitud 64°18'00" O y a 440 m snm) que posee una serie continua desde 1976 al 2007 (31 años).

Vientos

En la ciudad Río Cuarto las direcciones predominantes del viento es Noreste, Norte y Suroeste (Figura IV.1).



Figura IV.1: Direcciones predominantes del viento en la ciudad de Río Cuarto. Período desde 1975 a 1993

Las velocidades medias son del orden de 13 Km/h. Las mayores velocidades se registran desde fines de agosto hasta octubre, con ráfagas que pueden alcanzar los 100 Km/h (Figura IV.2).

Debido a la coincidencia temporal entre el período de mayor sequía y el incremento de las intensidades de los vientos, suele generarse una importante cantidad de polvillo en suspensión en la ciudad y zonas aledañas.

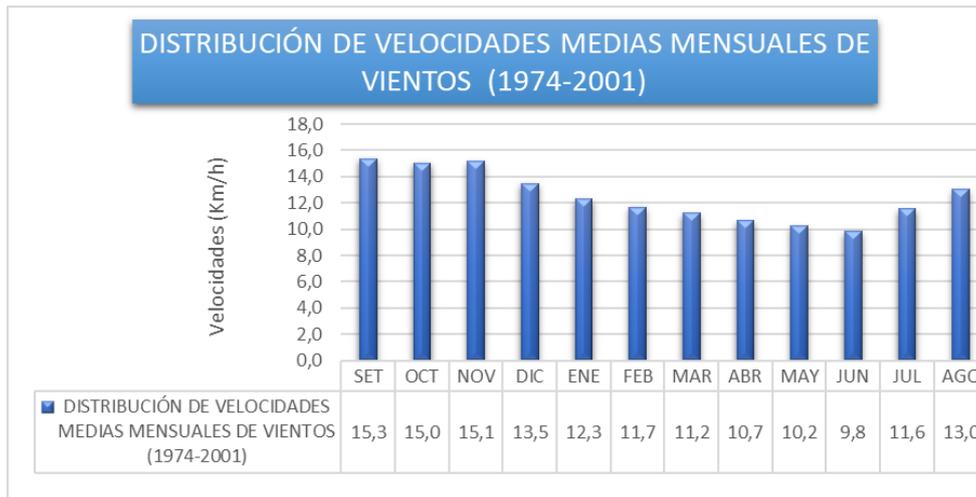


Figura IV.2: Distribución de velocidades medias mensuales de vientos en la ciudad de Río Cuarto. Período desde 1974 a 2001.

Temperatura

La temperatura media anual es de 16,5°C; la temperatura mínima media mensual de 9,2°C y la máxima media mensual de 22,9°C para la ciudad de Río Cuarto (Figura IV.3). El período libre de heladas es de 255 días.

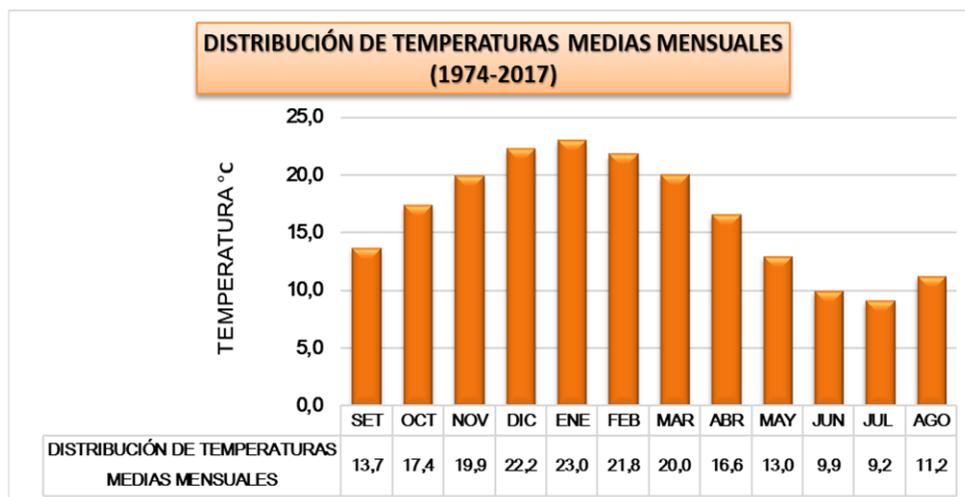


Figura IV.3: Distribución de temperaturas medias mensuales de la ciudad de Río Cuarto.
Período desde 1974 a 2017.

Según Soil Taxonomy (2006) la temperatura media del suelo sería 18,5 °C y corresponde a un régimen de temperatura térmico.

Precipitaciones

La precipitación media anual es de 786.6 mm (Figura IV.4), con ciclos de años más secos y otros más húmedos.

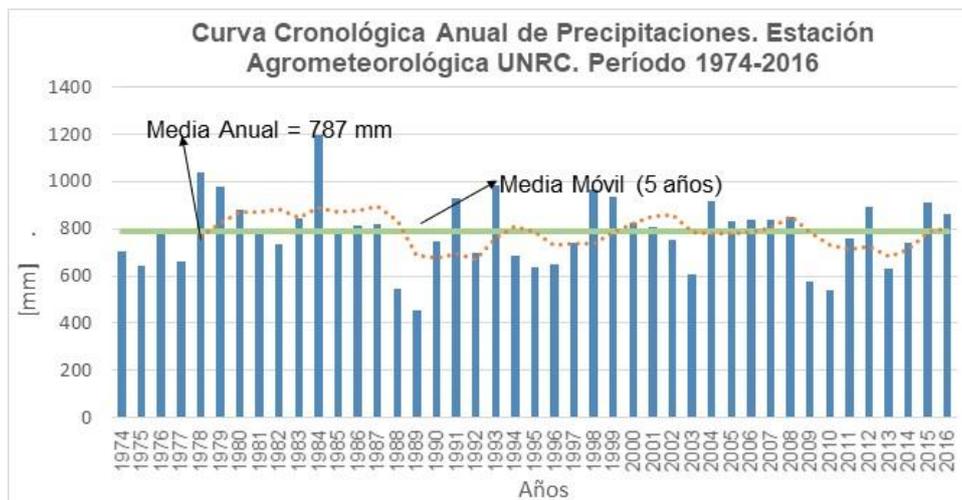


Figura IV.4: Distribución de precipitaciones anuales en la ciudad de Río Cuarto. Período desde 1974 a 2016.

La precipitación media mensual muestra una mínima de 10,6mm en el mes de Junio y una máxima de 131,3 mm en el mes de Enero, como se presentan en el siguiente gráfico (Figura IV.5):

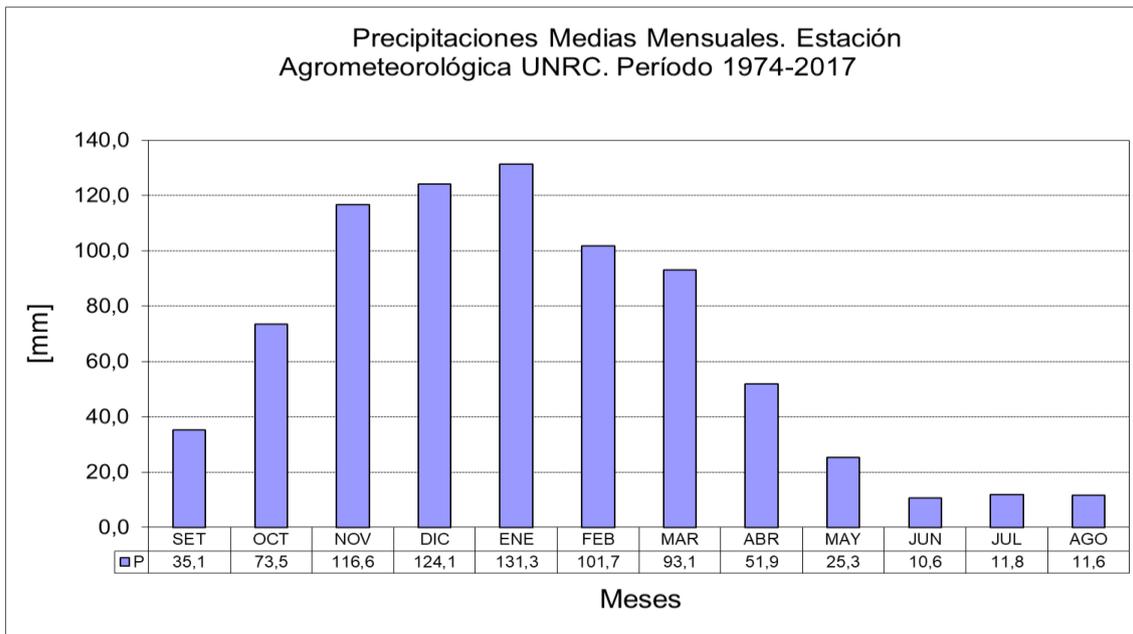


Figura IV.5: Distribución de precipitaciones medias mensuales en la ciudad de Río Cuarto.

Período desde 1974 a 2017.

Balance Hídrico

En el área se pueden identificar dos estaciones bien marcadas, una húmeda correspondiente a los meses de octubre a abril con variable porcentaje de tormentas eléctricas, con ocurrencia de granizo, que concentra el 80 % de las precipitaciones anuales y otra seca, en los meses de mayo a agosto.

Según el balance hídrico seriado (Figura IV.6) y teniendo en cuenta que la precipitación media anual para la zona es de 786,6 mm, la evapotranspiración media anual es de 727,7 mm, los excesos hídricos son 58,9 mm distribuidos en escurrimiento superficial e infiltración. El 92,5% del agua de las precipitaciones se pierde debido a la evapotranspiración real y sólo el 7,5 % escurre o infiltra.

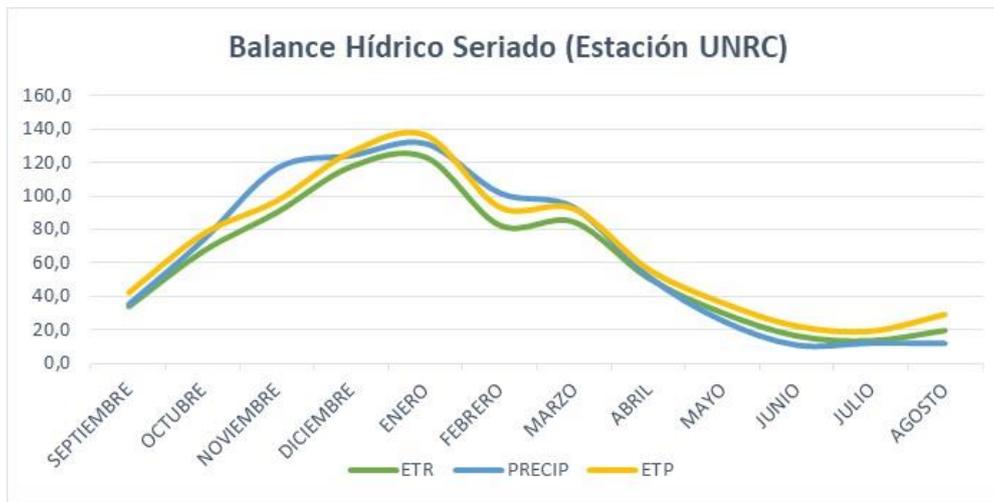


Figura IV.6: Balance hídrico seriado para la ciudad de Río Cuarto.

La evapotranspiración potencial es de 825 mm y la evapotranspiración real calculada a través de un balance hídrico seriado, es de 728 mm, lo que indica la disponibilidad de 97 mm de excesos hídricos, que se producen principalmente en primavera-verano. En los últimos años, aquellos excesos que recargaron el acuífero han sido los responsables fundamentales del ascenso del nivel freático en distintos sectores de la ciudad.

Índice de Sequía

El Índice de Sequía se obtuvo utilizando el programa PDIMES (Ravelo, 1990). A continuación (Tabla IV.1), se muestran los rangos que se establecen para los distintos valores del Índice:

Tabla IV.1: Rangos establecidos para distintos valores de sequía

RANGO CONDICION DE SEQUIA	
>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.

En el área de estudio (Figura IV.7), se presentan ciclos húmedos y ciclos secos claramente diferenciables. A partir del análisis de los datos obtenidos puede afirmarse que la sección de control de los suelos esté seca en alguna parte 90 días acumulativos como lo exige el Soil Taxonomy (2006) para establecer un régimen de humedad údico.

A partir del análisis de los datos obtenidos puede incluirse a la zona de estudio dentro de la región **templada subhúmeda, con invierno seco**.

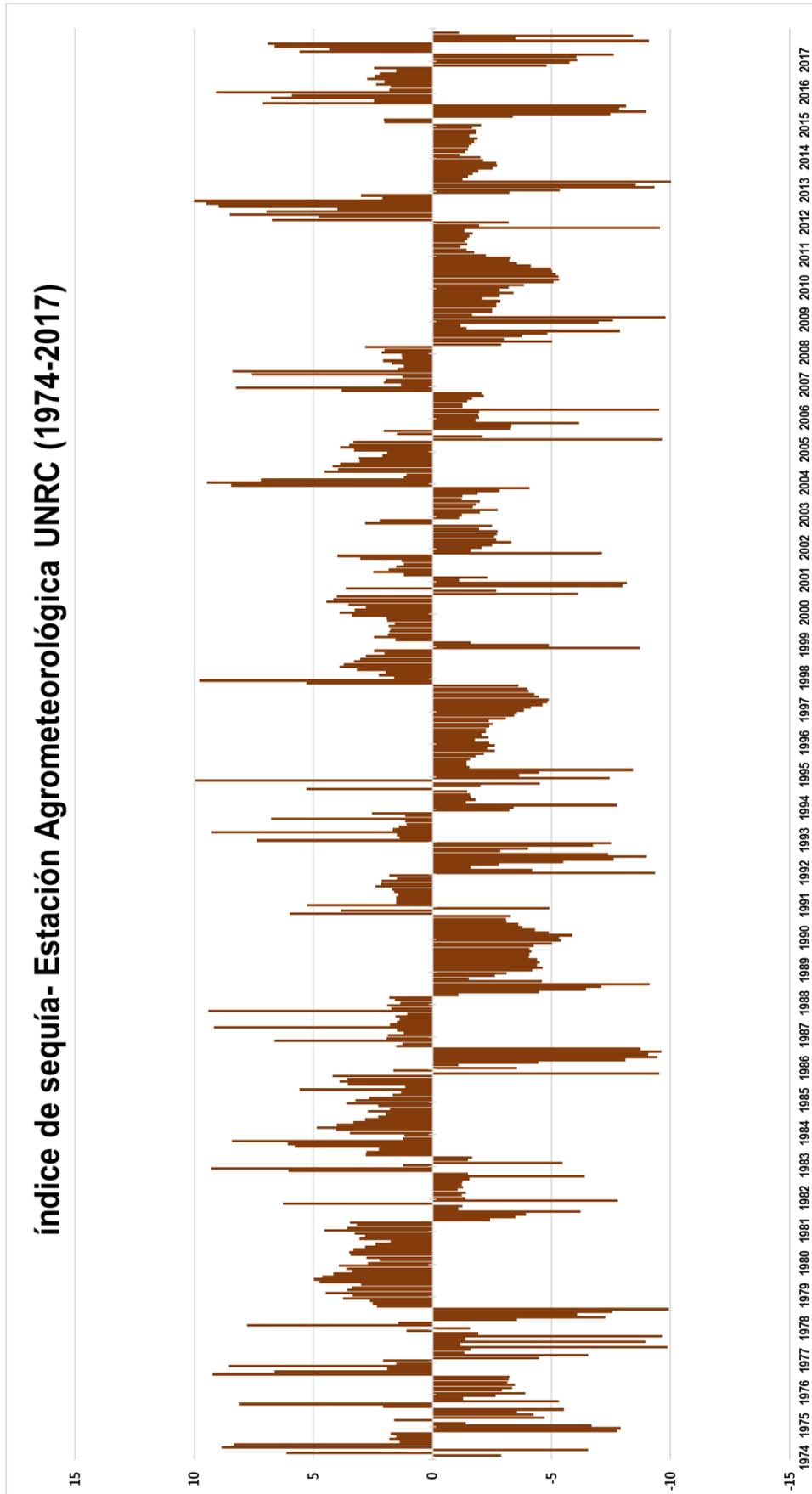


Figura IV.7: índice de sequía para la ciudad de Río Cuarto. Período desde 1974 a 2017

IV.2. DETERMINACION DE LA TRANSECTA

La transecta de suelo elegida, también denominada toposecuencia o catena, se ubica en el campus experimental de la UNRC (CAMDOCEX), dentro de un área de aproximadamente 7 ha. Consta de tres calicatas (Figura IV.8) ubicadas estratégicamente en las posiciones de loma, media loma y bajo, con una disposición triangular y una distancia entre ellas de aproximadamente 200m. El relieve es suavemente ondulado, con pendientes medias a largas que no superan el 2% y con un gradiente regional hacia el Sur-Este.

A continuación, se realiza una breve descripción del paisaje, análisis físicos y químicos y su clasificación taxonómica.



Figura IV.8 Imagen tomada de Google Maps donde se observa la ubicación de las calicatas.

IV.2.1. Descripción y análisis del suelo en la posición de loma

Es un suelo poco profundo que presenta un grado de desarrollo moderado a pobre y textura franco arenosa muy fina, es bien drenado, con colores rojizos, un horizonte Bw que presenta barnices de arcillas y humus en las caras de los agregados.

Se presenta en un relieve de lomas muy suaves, con una pendiente que puede alcanzar el 1%, escurrimiento bueno y una buena cobertura con rastrojos al momento del muestreo.

El perfil del suelo en la posición de loma se encuentra localizado en Latitud 33°06'33,5''S - Longitud 64°17'49.0''O y presenta las siguientes características:

- Ap** (0-6 cm); pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo; franco arenoso muy fino; estructura en bloques débiles a granular; no plástico; no adhesivo; límite abrupto y suave.
- A2** (6-15 cm); pardo oscuro (10 Y/R) 3/3) en húmedo; franco arenoso muy fino; estructura en bloques finos débiles a granulado con gravas finas dispersas; no plástico; no adhesivo.
- Bw1** (15-22 cm); pardo grisáceo (10YR 3/2,5) en húmedo; franco arenoso muy fino; estructura bloques subangulares finos, medios y medianos; escasos barnices de arcilla en algunas caras de agregados; ligeramente plástico; no adhesivo.

- Bw2** (22-31 cm); pardo grisáceo (10YR 3/2,5) en húmedo; franco arenoso muy fino; estructura en bloques subangulares a angulares; escasos barnices de arcilla en algunas caras de agregados; ligeramente plástico; no adhesivo.
- BC** (31-47 cm); pardo grisáceo (10YR 3/2,5) en húmedo; franco arenoso muy fino; estructura masiva; no plástico; no adhesivo.
- C** (47+ cm), 10YR 3/4; franco arenoso; estructura masiva; no plástico; no adhesivo.

Tabla IV.2 Datos analíticos del perfil típico del suelo en la posición de loma.

<i>HORIZONTE</i>	Ap	A2	Bw1	Bw2	BC	C
<i>Profundidad (cm)</i>	0-6	6-15	15-22	22-31	31-47	47+
<i>Color</i>	10 YR 3/3	10 YR 3/3	10 YR 3/2,5	10 YR 3/2,5	10 YR 3/2,5	10 YR 3/4
<i>Carbono orgánico %</i>	1,81	1,8	1,5	1,56	1,31	1,23
<i>Textura %</i>						
<i>Arcilla < 2μ</i>	0,73	0,93	2,70	2,37	1,21	1,00
<i>Limo, 2-50μ</i>	27,75	26,62	25,92	32,10	27,82	21,41

<i>Arena muy fina, 50-100 μ</i>	67,44	64,15	65,24	58,09	64,82	72,84
<i>Arena fina, 100-250 μ</i>	3,31	6,45	0,87	4,91	4,91	3,71
<i>Arena media, 250-500 μ</i>	0,73	1,59	1,15	1,98	0,98	0,90
<i>Arena gruesa, 500-1000 μ</i>	0,05	0,25	0,10	0,90	0,13	0,09
<i>Arena muy gruesa, 1-2 μ</i>	0	0,02	0,03	0,05	0,14	0,04
<i>pH en agua, 1 : 2,5</i>	5,66	5,68	5,72	6,05	6,43	6,58
<i>Cationes de Intercambio,</i>						
<i>meq/100 gr</i>						
<i>Ca⁺⁺</i>	6,60	7,6	7,00	7,60	7,20	7,80
<i>Mg⁺⁺</i>	2,4	1,6	2,00	2,60	2,60	2,00
<i>Na⁺</i>	1,74	1,38	1,16	1,13	1,11	1,23
<i>K⁺</i>	3,37	3,02	2,34	2,26	1,88	1,88
<i>Suma de bases, meq/100 gr. (S)</i>	14,11	13,6	12,5	13,59	12,79	12,91
<i>CIC, meq/100 gr. (T)</i>	16,9	15,65	14,09	16,70	16,17	13,91
<i>Saturación con bases, % (S/T)</i>	83	87	89	81	79	93

Clasificación taxonómica

Taxonómicamente los suelos de esta serie pertenecen al subgrupo Hapludol típico, franco arenoso, térmico.

En la Tabla IV.2 se presentan los datos analíticos del perfil descripto y en las Figuras IV.9a y IV.9b se muestra el perfil tipo.



Figura IV.9a: Perfil suelo en la posición de alto



Figura IV.9b: Detalle del perfil de suelo en la posición de alto

IV.2.2. Descripción y análisis del suelo en la posición de media loma

Es un suelo poco profundo que presenta un grado de desarrollo moderado y textura franco limosa, es bien drenado, con colores algo rojizos, un horizonte Bw que presenta barnices de arcillas y humus en las caras de los agregados. La bioturbación es abundante en la parte superior del perfil, hasta el horizonte BC1 incluido.

Se presenta en un relieve de lomas suaves, con una pendiente que puede alcanzar el 1%, escurrimiento bueno y una buena cobertura de vegetación natural al momento del muestreo.

El perfil del suelo en la posición de loma se encuentra localizado en Latitud $33^{\circ}06'26.7''S$ - Longitud $64^{\circ}17'53.3''O$ y presenta las siguientes características:

-
- Ap** (0-5 cm); color pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo; textura franco limoso, estructura migajosa.
- A2** (5-11 cm); color pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo; textura franco limoso; estructura en bloque subangulares; mucha bioturbación.
- Bw1** (11-17 cm); color pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo; textura franco limoso; estructura en bloque subangulares; mucha bioturbación.
- Bw2** (17-28 cm); pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo; textura franco limoso; estructura en bloques subangulares a granulares medios.
- BC1** (28-45 cm); pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo; textura franco limoso; estructura en bloques subangulares a granulares medios más pequeños que el horizonte Bw2; mucha bioturbación.
- BC2** (45-56 cm); pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo; textura franco limoso a franco; estructura en bloques a granular.
- Ck** (56+ cm); pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo; textura franco limoso a franco; estructura laminar a masivo.

Tabla IV.3. Datos analíticos del perfil típico del suelo en la posición de media loma

HORIZONTE	A1	A2	Bw1	Bw2	BC1	BC2	Ck
Profundidad (cm)	0-5	5-11	11-17	17-28	28-45	45-56	56-70
Color	10 Y/R 3/2	10 Y/R 3/2	10 Y/R 3/2	10 Y/R 3/3	10 Y/R 3/3	10 Y/R 4/3	10 Y/R 4/3
Carbono orgánico %	2,60	2,04	1,86	1,65	1,46	1,36	1,38
Textura %							
Arcilla < 2 μ	3,80	4,74	4,99	4,40	4,34	4,22	4,10
Limo, 2-50 μ	62,22	61,09	60,04	59,54	57,37	51,86	49,33
Arena muy fina, 50-100 μ	31,65	32,08	31,88	33,51	36,26	41,17	43,11
Arena fina, 100-250 μ	1,85	1,41	2,30	2,08	1,57	2,12	2,40
Arena media, 250-500 μ	0,36	0,60	0,68	0,42	0,36	0,53	0,85
Arena gruesa, 500-1000 μ	0,09	0,05	0,10	0,05	0,06	0,08	0,18
Arena muy gruesa, 1-2 μ	0,03	0,03	0,02	0,00	0,03	0,03	0,30
pH en agua, 1 : 2,5	6,42	6,54	6,50	6,65	6,74	6,82	7,80
Cationes de Intercambio, meq/100 gr							
Ca⁺⁺	8,60	8,00	7,00	6,0	7,00	10,00	25,60
Mg⁺⁺	3,00	2,00	4,60	5,60	4,60	1,80	4,40
Na⁺	1,03	0,98	1,04	0,95	1,01	1,06	0,97
K⁺	2,75	3,19	3,11	2,73	2,61	2,49	1,67
Suma de bases, meq/100 gr. (S)	15,38	1,17	15,75	15,28	15,22	15,35	32,64

<i>CIC, meq/100 gr. (T)</i>	20,3	20,2	22,3	19,8	20,6	19,7	16,7
<i>Saturación con bases, % (S/T)</i>	76	70	71	77	74	78	195

Clasificación taxonómica

Taxonómicamente los suelos de esta serie pertenecen al subgrupo

Hapludol típico, limoso, térmico.

En la Tabla IV.3 se presentan los datos analíticos del perfil descrito y en la Figura IV. 10 se muestra el perfil tipo.



Figura IV 10: Perfil suelo en la posición de media loma.

IV.2.3. Descripción y análisis del suelo en la posición de bajo

Es un suelo poco profundo que presenta un grado de desarrollo moderado a pobre y textura franco limoso, es bien drenado con colores rojizos. Los horizontes Bw presentan barnices de arcillas y humus en las caras de los agregados, se encuentran muy bioturbados y con presencia de nódulos de limos retransportado.

Se presenta en un relieve de lomas muy suaves, con una pendiente que puede alcanzar el 1%, escurrimiento bueno y una buena cobertura de rastrojos al momento del muestreo.

El perfil de suelo en la posición de bajo se encuentra localizado en Latitud 33°06'30,5''S - Longitud 64°17'59.7''O y presenta las siguientes características:

Ap (0-4 cm); pardo grisáceo oscuro 10YR 4/2; textura franco limoso; estructura en bloques subangulares; no plástico; no adhesivo.

A2 (4-12 cm); pardo grisáceo oscuro 10YR 4/2; textura franco limoso; estructura migajosa; no plástico; no adhesivo.

Bw1 (12-18 cm); pardo grisáceo oscuro 10YR 4/2; textura franco limoso; estructura en bloques subangulares; ligeramente plástico; no adhesivo.

Bw2 (18-27 cm); pardo grisáceo oscuro 10YR 4/2; textura franco limoso; estructura en bloques subangulares; escasos barnices de arcilla en algunas de agregados; presencia de mucha bioturbación; presencia de

gravas dispersas que asemejan a nódulos de loess retransportado; ligeramente plástico; adhesivo.

BC1 (27-41 cm); pardo grisáceo muy oscuro 10YR 3/2; textura franco limoso; estructura en bloques angulares a subangulares; presencia de mucha bioturbación; presencia de gravas dispersas que asemejan a nódulos de loess retransportado; no plástico; no adhesivo.

BC2 (41-56 cm); pardo a pardo oscuro 10YR 4/3; textura franco limoso; estructura en bloques subangulares a migajosa; no plástico; no adhesivo.

C (+56 cm); pardo oscuro 10YR 3/3; textura franca; estructura masiva; no plástico; no adhesivo.

Tabla IV.4 Datos analíticos del perfil típico del suelo en la posición de bajo

HORIZONTE	Ap	A2	Bw1	Bw2	BC1	BC2	C
Profundidad, cm	0-4	4-12	12-18	18-27	27-41	41-56	56+
Color	10 Y/R 4/2	10 Y/R 4/2	10 Y/R 4/2	10 Y/R 4/2	10 Y/R 3/2	10 Y/R 4/3	10 Y/R 3/3
Carbono orgánico %	2,52	2,71	2,53	2,59	2,02	1,63	1,29
Textura (%)							
Arcilla < 2 μ	4,03	3,25	6,74	5,32	5,01	4,20	2,90
Limo, 2-50 μ	48,50	51,68	60,09	63,99	64,61	59,76	44,83

<i>Arena muy fina, 50-100 μ</i>	41,00	38,84	29,91	28,38	29,53	33,32	48,98
<i>Arena fina, 100-250 μ</i>	4,59	4,36	2,57	1,70	0,56	1,88	2,58
<i>Arena media, 250-500 μ</i>	1,61	1,52	0,68	0,50	0,18	0,64	0,56
<i>Arena gruesa, 500-1000 μ</i>	0,22	0,26	0,01	0,10	0,08	0,11	0,13
<i>Arena muy gruesa, 1-2 μ</i>	0,05	0,08	0,01	0,01	0,02	0,09	0,01
<i>pH en agua, 1 : 2,5</i>	6,15	6,17	6,15	6,14	6,42	6,63	6,58
<i>Cationes de Intercambio</i>							
<i>meq/100 gr</i>							
<i>Ca⁺⁺</i>	10,00	10,60	10,80	10,2	10,0	8,80	8,00
<i>Mg⁺⁺</i>	2,20	3,20	3,20	3,60	2,60	3,60	3,00
<i>Na⁺</i>	1,10	1,13	1,24	1,24	1,06	1,05	1,08
<i>K⁺</i>	3,96	3,78	3,34	3,75	3,46	2,67	2,52
<i>Suma de bases, meq/100 gr. (S)</i>	17,26	18,71	18,99	18,79	17,12	16,12	14,6
<i>CIC, meq/100 gr (T)</i>	19,1	20,7	19,7	19,7	19,8	27,3	16,5
<i>Saturación con bases, % (S/T)</i>	90	90	94	95	86	59	88

Clasificación taxonómica

Taxonómicamente los suelos de esta serie pertenecen al subgrupo Hapludol típico limoso térmico.

En la Tabla IV.4 se presentan los datos analíticos del perfil descripto y en la Figura IV. 11 se muestra el perfil tipo.



Figura IV 11: Perfil suelo en la posición de bajo

IV.3. MINERALOGIA DE ARENAS FINAS

Los análisis realizados sobre la fracción arena fina de los Horizontes C, de cada uno de los suelos, permitieron reconocer los distintos componentes mineralógicos.

Se ha podido observar que en la fracción de arena fina predominan los minerales heredados, más o menos transformados del material original. Esta fracción estudiada está constituida por abundantes minerales livianos, integrada por Cuarzo, Plagioclasas, Feldespatos Potásicos y trizas de vidrios volcánicos, a los que se añaden ocasionalmente minerales alterados. Los minerales pesados son más escasos y están compuestos principalmente por Anfíbol, Piroxenos, micas, Lamprobolita y algunos opacos.

IV.3.1. Suelo en la posición de loma

- **Cuarzo:** predominan los granos sub subangulosos a redondeados muy escasamente alterados.
- **Plagioclasas:** están representadas por cristales subangulosos a redondeados, frecuentemente maclados.
- **Feldespatos potásicos:** se presentan granos transparentes de formas tabulares cortas y anchas, subredondeados.

- **Vidrio volcánico:** mayoritariamente son trizas de vidrio incoloro, se observan fragmentos de tamaño variable, con aristas angulosas y bordes cóncavos. Presentan inclusiones de burbujas y bandeados.
- **Anfíboles:** representados por cristales, a veces fragmentados, de color pardos rojizos y pardos, alargados y redondeados, de pequeño tamaño; y cristales de color verde claro angulosos a redondeado. En menor proporción se encuentra lamprobolita con granos redondeados a subredondeados de color pardo intenso.
- **Piroxenos:** se presentan en fragmentos de tamaños variables, redondeados, de colores oscuros y brillantes a la luz de lupa.
- **Micas:** se presentan en fragmentes equidistantes, subredondeados y con colores pardos.

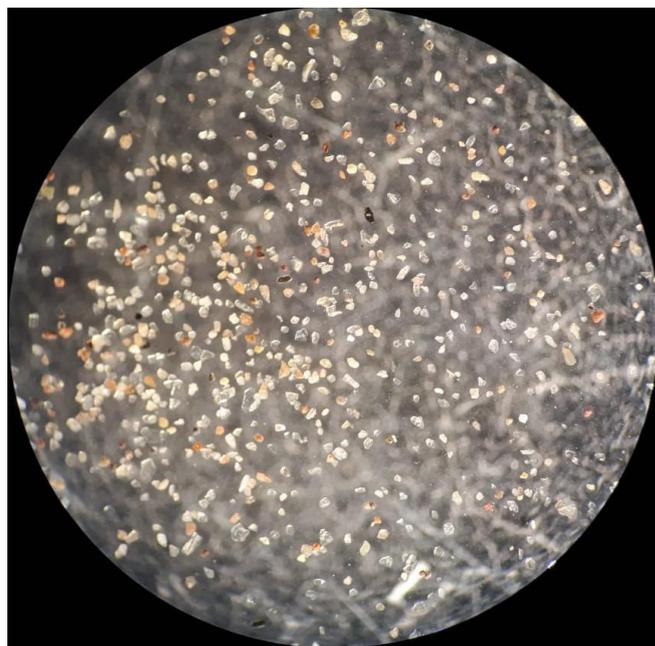


Figura IV.12. Mineralogía de Horizonte C del suelo en la posición de loma

IV.3.2. Suelo en la posición de media loma

- **Cuarzo:** predominan los granos sub subangulosos a redondeados muy escasamente alterados.
- **Plagioclasas:** están representadas por cristales subangulosos a redondeados, frecuentemente maclados.
- **Feldespatos potásicos:** se presentan granos transparentes de formas tabulares cortas y anchas, subredondeados.
- **Vidrio volcánico:** mayoritariamente son trizas de vidrio incoloro, se observan fragmentos de tamaño variable, con aristas angulosas y bordes cóncavos. Presentan inclusiones de burbujas y bandeados.
- **Anfíboles:** representados por cristales, a veces fragmentados, de color pardos rojizos y pardos alargados y redondeados, de pequeño tamaño; y cristales de color verde claro angulosos a redondeado. En menor proporción se encuentra lamprobolita con granos redondeados a subredondeados de color pardo intenso.
- **Piroxenos:** se presentan en fragmentos de tamaños variables, redondeados, de colores oscuros y brillantes a la luz de lupa.
- **Micas:** se presentan en fragmentos equidistantes, subredondeados y con colores pardos.

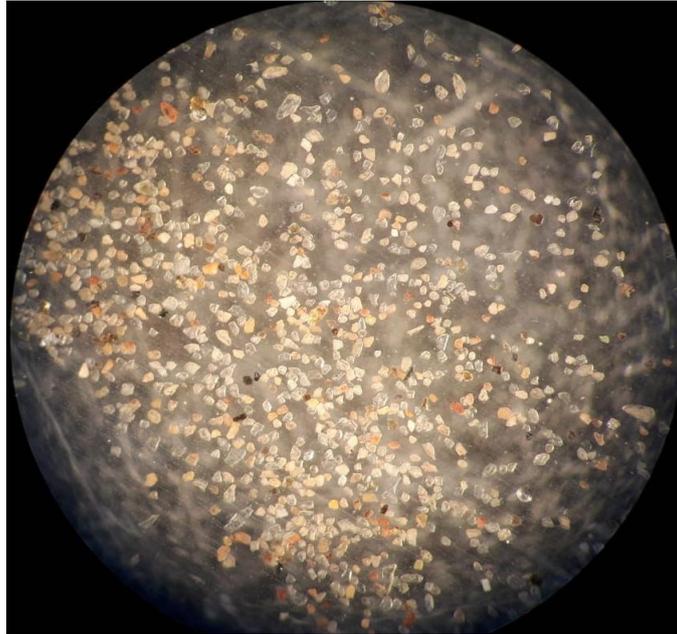


Figura IV.13: Mineralogía de Horizonte C del suelo en la posición de media loma

IV.3.3. Suelo en la posición de bajo

- **Cuarzo:** predominan los granos sub subangulosos a redondeados muy escasamente alterados.
- **Plagioclasas:** están representadas por cristales subangulosos a redondeados, frecuentemente maclados.
- **Feldespatos potásicos:** se presentan granos transparentes de formas tabulares cortas y anchas, subredondeados.
- **Vidrio volcánico:** mayoritariamente son trizas de vidrio incoloro, se observan fragmentos de tamaño variable, con aristas angulosas y bordes cóncavos. Presentan inclusiones de burbujas y bandeados.
- **Anfíboles:** representados por cristales, a veces fragmentados, de color pardos rojizos y pardos alargados y redondeados, de pequeño tamaño; y

cristales de color verde claro angulosos a redondeado. En menor proporción se encuentra lamprobolita con granos redondeados a subredondeados de color pardo intenso.

- **Piroxenos:** se presentan en fragmentos de tamaños variables, redondeados, de colores oscuros y brillantes a la luz de lupa.
- **Micas:** se presentan en fragmentes equidistantes, subredondeados y con colores pardos.

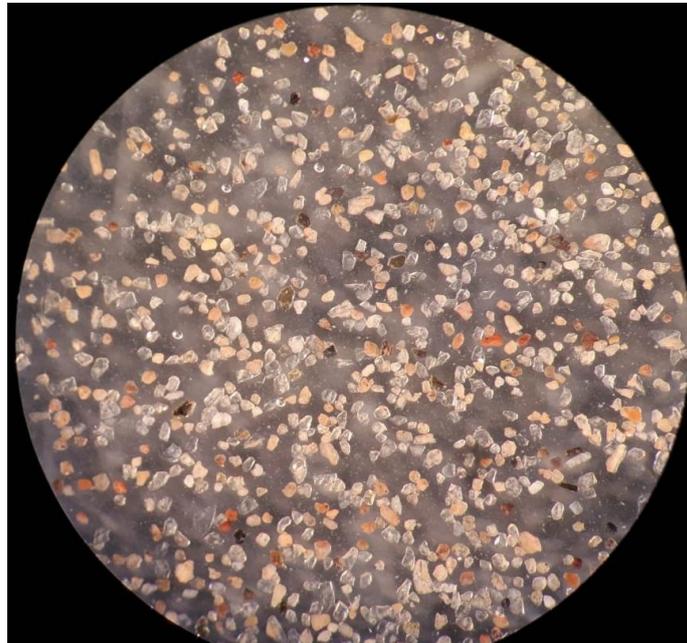


Figura IV.14: Mineralogía de Horizonte C del suelo en la posición de bajo

IV.4. APLICACIÓN DEL CONCEPTO DE CATENA A LOS SUELOS DESCRITOS.

La teoría de Catena se origina a partir de un estudio de identificación de suelos llevado a cabo entre 1935 y 1936 por un funcionario agrícola inglés, Geoffrey

Milne, en la actual Tanzania (África). Éste, definió originalmente una catena como una agrupación de suelos que, si bien se dividen en un sistema natural de clasificación debido a diferencias fundamentales y morfológicas, aún están vinculadas en su aparición por condiciones de topografía y se repiten en las mismas relaciones entre sí siempre que se cumplan las mismas condiciones.

La verdadera importancia de las catenas es el reconocimiento de los procesos esenciales involucrados en la diferenciación catenaria y no en la apariencia formal de su producto. Es la interacción de los suelos y las formas de relieve, y por lo tanto los procesos del suelo y los procesos geomorfológicos.

Los principales procesos de diferenciación catenaria son el lavado de la superficie, el transporte por solución y los movimientos superficiales de materiales (arroyada difusa). El resultado de ellos es producir una serie de cambios en las propiedades del suelo desde los miembros superiores a los inferiores de la catena, tales como el color del suelo, el espesor de los horizontes, el contenido de materia orgánica, la saturación de bases, el pH, la textura, entre otros.

En una secuencia catenaria se pueden identificar tres situaciones comunes: primero, situaciones en las que no hay cambios descendentes en las sucesiones, profundidades o propiedades de los horizontes; en segundo lugar, puede haber partes de la catena donde uno o más horizontes experimentan un cambio

gradual; y en tercer lugar, las zonas donde se producen cambios rápidos que conducen a horizontes sustancialmente modificados en distancias cortas.

En el área de estudio se han analizados y comparado las propiedades de los suelos en la secuencia catenaria (Figura IV.15) obteniéndose las siguientes observaciones:

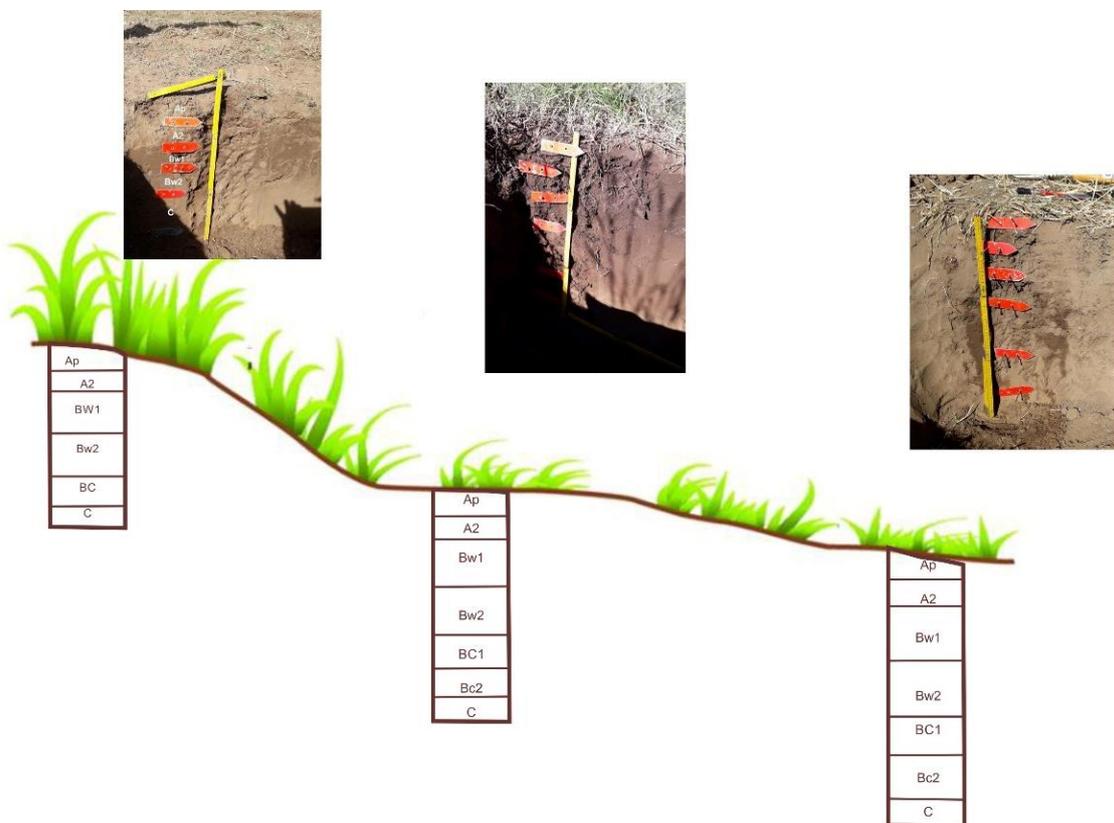


Figura IV.15: Secuencia catenaria estudiada.

El relieve influye sobre el transporte de partículas de la superficie del suelo, favoreciendo el arrastre de las partículas más finas. En la zona de loma, donde predominan los procesos de erosión, el suelo va empobreciéndose progresivamente en partículas finas, las cuales, junto a otros componentes del

suelo como la materia orgánica, se depositan en bajos cuando la velocidad de la corriente superficial disminuye (Figura IV16). Esto queda evidenciado en el campo, donde se observa un suelo con mayor contenido de arenas en la zona de loma y suelos con mayor contenido de materiales finos en las zonas de media loma y bajo (Figura IV.17).

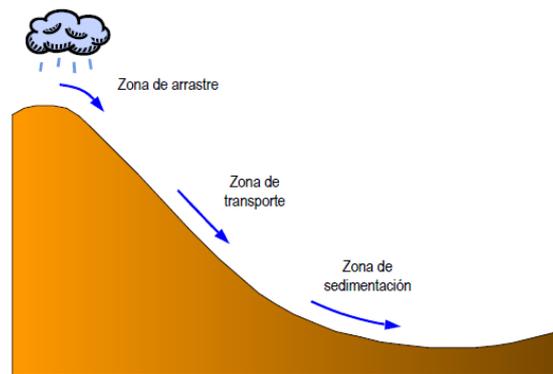


Figura IV16: influencia del relieve sobre los procesos de arrastre y sedimentos de partículas.

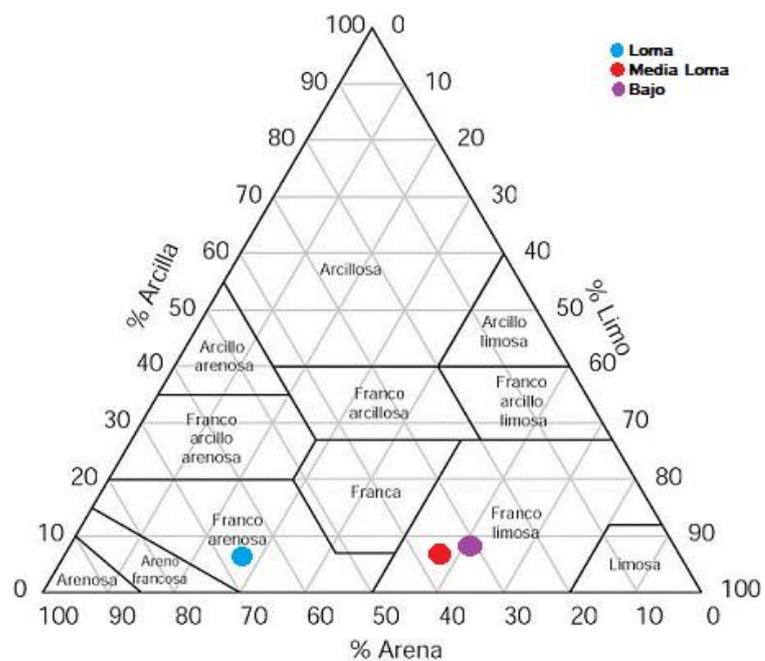


Figura IV.17: Clasificación textural de los suelos de la transecta.

El relieve es un factor dominante en la determinación de la cantidad de agua que se infiltra, se mueve y se acumula en los suelos y a su vez, la acción del agua condiciona en gran parte los procesos edáficos y las siguientes propiedades:

- **Color:** No se encontraron grandes variaciones en el color de los suelos a lo largo de la transecta, sólo un valúé más alto en los suelos ubicados en el sector de media loma, que puede deberse al mayor contenido de humedad en el perfil al momento del muestreo comparado con las otras calicatas. Cabe destacar que los suelos agrícolas suelen presentar un color poco influenciado por la materia orgánica, ya que la aportación de residuos es mucho menor que en el caso de los suelos no cultivados. De esta manera, la distinción entre horizontes orgánicos y minerales es mucho más débil. También puede deberse a que en la historia de uso hubo mucho arado, que “mezcla” los horizontes más oscuros con los menos.
- **% de carbono orgánico:** En suelos agrícolas, el contenido de materia orgánica es menor que en suelos con vegetación natural, debido al aumento de la mineralización de la materia orgánica para aumentar la fertilidad del suelo. El horizonte superficial es el que contiene un mayor contenido en materia orgánica, mientras que el contenido va disminuyendo progresivamente con la profundidad, (Figura IV18). En la

secuencia catenaria se observa un aumento progresivo desde el suelo ubicado en la posición de loma hasta el suelo en la posición de bajo.

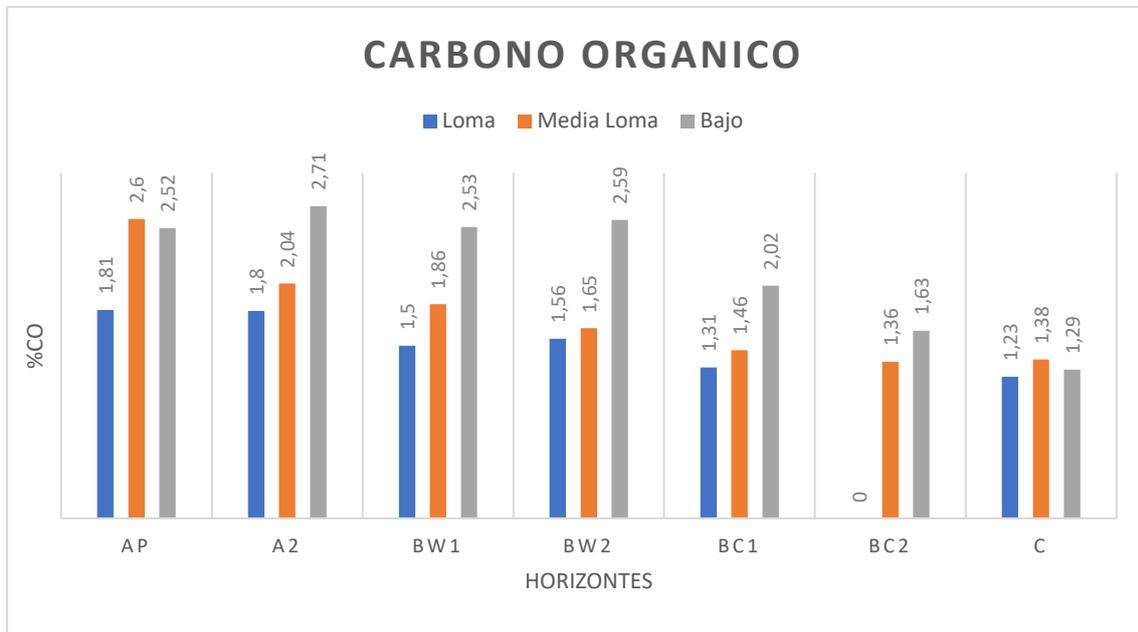


Figura IV18: Comparación del porcentaje de carbono orgánico entre los diferentes suelos

- pH: Es variable a lo largo de la catena, encontrándose los mayores valores en el sector de media loma (Figura IV.19). Esto puede deberse a la ausencia de cultivos que acidifiquen el suelo y a la presencia de carbonatos en el Horizonte C, que aumentan el pH a un valor de 7,8.

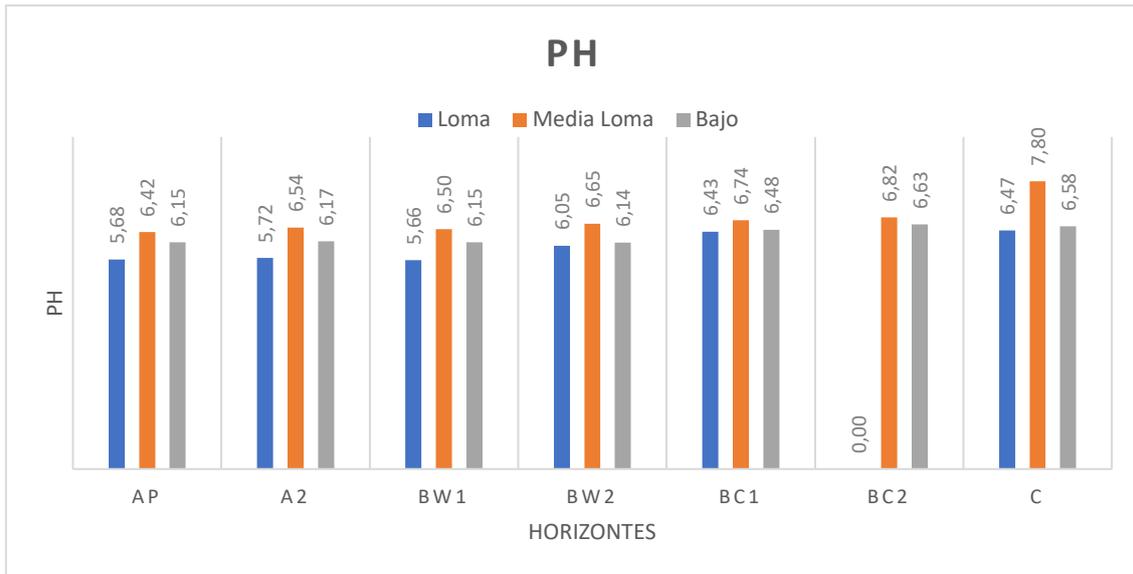


Figura IV.19: Comparación del pH entre los distintos suelos

- Suma de bases: Se observa una clara tendencia de crecimiento en el contenido de elementos solubles a lo largo de la secuencia catenaria (Figura IV.20). Esto se debe a que las bases solubles son lavadas de los sectores de lomas hacia los bajos topográficos, donde se acumulan. Se puede observar un valor anómalo de Ca^{++} en el Horizonte C del suelo ubicado en la posición de loma, que se puede relacionar con la presencia de carbonatos en el perfil.

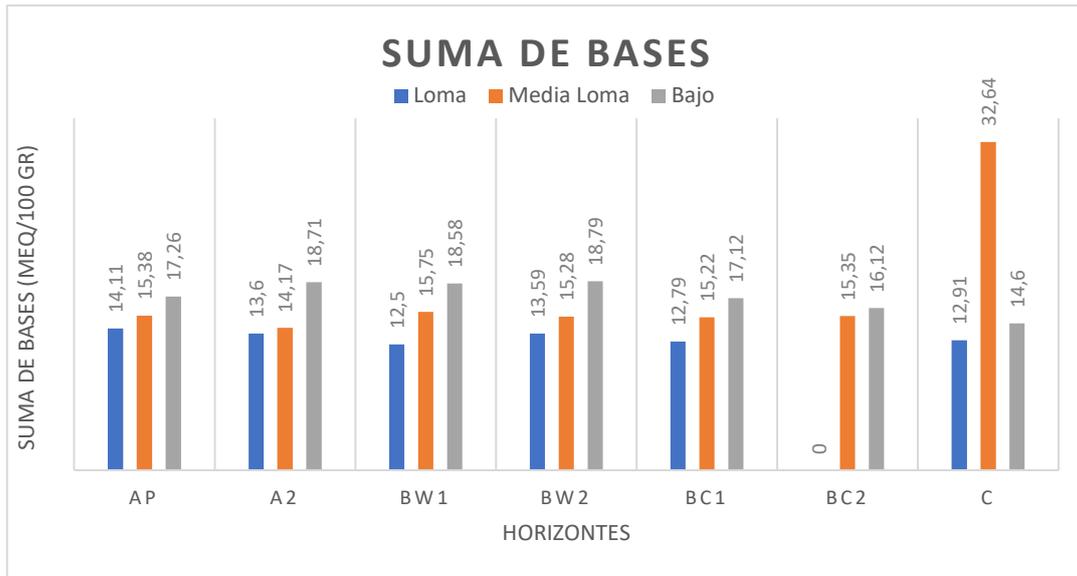


Figura IV.20: Comparaciones del contenido de bases entre los suelos de la catena



CAPITULO V

DISCUSIÓN

El material original de los suelos estudiados corresponde a depósitos de manto loessico reconocidos como Fm La Invernada (Cantú, 1992), que cubren grandes extensiones de la llanura e incluso han cubierto las pampas de altura de las sierras Pampeanas como Pampa de Pocho, Achala, Olaen y otras menores de las Sierras de Comechingones. Este proceso deposicional loésico comienza entre los 77ka-50 ka OSL y culmina a los 10,5 ka OSL. En sectores se observa la presencia de paleocanales efimeros (Grumelli y Cantú, 2006).

Sobre estos sedimentos loésicos han evolucionado suelos de moderado grado de desarrollo, vinculado a un mejoramiento de las condiciones climáticas durante Optimum Climaticum o Hypsitermal (IS1) durante el Holoceno Inferior a Medio.

En el área de estudio este suelo se ha desarrollado en un relieve suavemente ondulado, con pendientes medias a largas y con un gradiente regional hacia el Sureste. A lo largo de la toposecuencia característica del campus de docencia experimental de la UNRC (CAMDOCEX) el suelo estudiado no muestra una amplia variabilidad debido al bajo grado de inclinación de la pendiente, al poco tiempo de evolución y al uso agrícola que modifica su evolución natural. Sin embargo, puede apreciarse el efecto del relieve en el grado de desarrollo de los suelos de esta Serie (tentativa) Rio Cuarto, manifestado principalmente en la diferenciación de horizontes y en la variabilidad de la profundidad, correspondiendo la mayor diferenciación y profundidad a la posición baja del relieve.

Por ello, se han podido establecer las relaciones suelo-paisaje para el suelo característico de esta transecta, así como determinar las características morfológicas, físicas, químicas y fisicoquímicas de los suelos.

El suelo característico del campus corresponde a la Serie tentativa Rio Cuarto, equivalente a la serie Sampacho (Grumelli, 2010) y Las Tapias (Cantú, 1998) representa un Hapludol típico limoso térmico. Son suelos poco profundos que presentan un grado de desarrollo moderado a pobre, variable según la posición en el relieve; textura franco limoso, es bien drenado con colores rojizos. Los horizontes Bw presentan estructura en bloques subangulares y escasos revestimientos de arcilla y óxidos de hierro tanto en las caras de agregados como en los espacios intraped. La presencia de nódulos redondeados de arcilla y de limo en varios horizontes indica que en material original (loess) fue retransportado.

La descripción mineralógica del área de estudio se puede correlacionar con la descrita por Grumelli (2010), donde ha identificados dos familias mineralógicas:

- a) Procedente de Cordillera Andina, integrada por vidrio volcánico, hornblendas y lamprobolita, plagioclasas, y fragmentos líticos. Estos minerales se presentan con mayor grado de esfericidad y redondez debido al desgaste provocado durante su transporte, a excepción del vidrio volcánico que se transporta en suspensión por ser más liviano y se presenta de formas angulosas a subangulosas.

b) Procedente del basamento de las Sierras Pampeanas, integrada por Cuarzo, Feldespato Potásico (ortoclasa y microclino), plagioclasas, piroxenos, y fragmentos líticos. Estos materiales se presentan con menor grado de esfericidad y redondez, más angulosos debido a la cercanía con el área de aporte.



CAPITULO VI

BIBLIOGRAFÍA

Cabrera, A. L. (1976). *Regiones fitogeográficas argentinas* (Vol. 1). Editorial Acme.

Cantú, M., Becker A. & H. Schiavo. (1998). *La fragilidad natural del suelo y el uso del territorio como factores condicionantes del proceso de erosión en la región pampeana subhúmeda, Argentina*. Proceedings XVI Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. CD Symposium 31.7 pág.

Cantú, M. P., & A. R. Becker. (1999). *El impacto del uso intensivo de la tierra en áreas templadas del centro de la República Argentina*. I Conferencia Científica Internacional Medio Ambiente Siglo (Vol. BEAVERS, A.H., JOHNS, W.D., GRIM, R.E. AND ODELL, R.T., 1955. Clay minerals in some Illinois soils developed from loess and till under grass vegetation. *Clays Clay Miner.*, 3: 356-372.

BECKER, A. 1987. Génesis de las Series (t) Speranzoni y Rodeo Viejo, Departamento Río Cuarto, Córdoba. Trabajo Final de Licenciatura. 120 páginas.

BECKER, A.; CANTU, M. P y H. F. SCHIAVO, 1996. Micromorfología de horizontes cámbicos de la provincia de Córdoba, Argentina. Presentado en el XV Congreso Arg. de la Ciencia del Suelo Mayo de 1996. La Pampa. Actas de Resúmenes. 2 páginas

BIRKELAND, P.W., 1974. *Pedology, weathering, and geomorphological research*. Oxford University Press, London and NY.

BIRKELAND, P.W., 1984. Soils and geomorphology. Oxford Univ. Press, London

BIRKELAND, P. W., 1992. Quaternary soil chronosequences in various environments-extremely arid to humid tropical. P.261-281. in I. P. Martini and Chesworth (Ed.) Weathering, soils and paleosols. Elsevier, Amsterdam.

BIRKELAND, P. W. and LARSON, E. E., 1989. Putnam's geology. Oxford University Press, NY.

BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G. Y T. TURSINA, 1985. Handbook for soil thin section description. Waine Research Publications, 152 p.

CANTERO, G. A. y M. P. CANTU, 1980. Algunas consideraciones sobre los suelos y la degradación-recuperación de las tierras en el área de Río Cuarto (Córdoba). Seminario Internacional Deterioro en la Cuenca del Plata. (MAB-UNESCO) 26 págs. Buenos Aires

CANTU, M. P. y S. B. DEGIOVANNI, 1984. Geomorfología de la Región Centro-Sur de la Prov. de Córdoba. Actas IX Congreso Geológico Argentino. 18 págs. Buenos Aires.

CANTÚ, M. P. Y M. T. BLARASIN, 1987. Geología del Pleistoceno Superior-Holoceno del arroyo Las Lajas-Km 630. Departamento Río Cuarto, Provincia de Córdoba. X Congreso Geológico Argentino , Actas, I:337-340.

CANTU, M. P. y A. R. BECKER, 1988. Secuencia Holocénica en el Aº Spernanzoni, Dpto. Río Cuarto. Prov. de Córdoba. Simposio Internacional

sobre el Holoceno en América del Sur. Paraná, Argentina. Actas Resúmenes

CANTU, M. P. y A. R. BECKER, 1991. Génesis de Hapludols típicos del suroeste de la Provincia de Córdoba. XIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Resumen expandido. Actas

CANTÚ, M. P. 1992. Provincia de Córdoba. En: El Holoceno en la Argentina, (M. Iriondo Editor) Edición de CADINQUA. Volumen 1: 1-16

CANTU, M. P., A. R. BECKER Y H. F. SCHIAVO, 1996. Mollisoles desarrollados en loess del Pleistoceno superior de Córdoba, Argentina. Compact Disc Com 05-049. XIII Congreso Latino Americano de la Ciencia del Suelo. Agosto 1996, Brasil.

CATT, J. K., 1986. Soils and quaternary geology: A handbook for field scientists. Clarendon Press, Oxford England.

21).

GRUMELLI, M., 2000. Carta de Suelos y de Capacidad de Uso de la Tierra en un área de llanura al NE de la localidad de Sampacho, Departamento Río Cuarto, Provincia de Córdoba. Tesis de Licenciatura Inédita. Universidad Nacional de Río Cuarto.

GRUMELLI M., 2010. *Génesis y relaciones paleoclimáticas de los suelos de la colonia Nueva Sampacho, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Un aporte al estudio del cambio climático global.* Tesis Doctoral. Trabajo inédito. UNRC.

198pp

JACKSON, M. L., 1970. Análisis químicos de suelos. Ed. Omega, Barcelona.

JENNY, H., 1941. Factors of soil formation. McGraw-Hill Book Co., New York.

JOHNSON, P.R. and A. H. BEAVERS, 1959. A mineralogical characterization of some loess-derived soils in Illinois. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 23: 143-146.

KELLOG, C. E., 1937. Soil survey manual. USDA Misc. Publ. 274. U.S.Gov. Print. Office. Washington D. C.

MILLET, J.I. and J.V. DREW, 1963. Characterization and genesis of Pawnee and Adair soils in southeastern Nebraska. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 27: 683-688.

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, Inédita.

THORP, J., 1941. The influence of environment on soil formation. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 6:39-46.

THORP, J., 1949. Interrelations of Pleistocene geology and soil science. Geol. Soc. Am. Bull. 60:1517-1526.

THORP, J.; JOHNSON, W. M. and E. C. REED, 1951. Some post-Pleistocene buried soils of central United States, J. Soil Sci. 2:1-19.

Soil Survey Manual. (1993). Handbook N° 18. Soil Survey Division Staff.

Soil Taxonomy. (2014). Keys to soils taxonomy. Ninth edition. United States
Department of Agriculture; Natural Resources Conservation Services (Eds).
332 pp.

Páginas web:

<https://prezi.com/csf8f0cakwt/geoquimica-de-una-cadena-de-suelos-desarrollados-sobre-sedim/>

<https://es.slideshare.net/smeseguer/suelos-conceptos-y-formacin>

<http://www.edafologia.net/introeda/tema01/factform.htm>