

Fragipanes en la planicie central de Argentina

Fragipans in the central plain of Argentina

^{*}
Hugo Francisco G. Schiavo
hschiavo@exa.unrc.edu.ar

María del Tránsito Grumelli

Analía Rosa Becker

**Autor de contacto*

¹ Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas, Físico-químicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto.

ÍNDICE CAPÍTULO 5

■ RESUMEN	153
■ EXTENDED ABSTRACT	154
■ INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	155
■ DESCRIPCIÓN DEL ÁREA	156
Ubicación del área de estudio.	156
Métodos	156
■ RESULTADOS Y DISCUSIÓN	159
Caracterización Geomorfológica	159
Serie La Providencia.....	164
Serie Rio Bamba.....	165
Serie Curapaligüe	166
■ ASPECTOS TAXONÓMICOS	174
■ DISCUSIÓN	175
■ CONCLUSIONES	177
■ BIBLIOGRAFÍA.....	178

■ RESUMEN

En la llanura central subhúmeda de Argentina se han identificado suelos poligénicos, halohidromórficos con fragipán. En estos suelos se observa una desconexión entre el agua superficial y el agua subterránea, así como eflorescencias salinas en la superficie y en los horizontes superiores que determinan severas restricciones para el uso agrícola-ganadero. El sur de la provincia de Córdoba se caracteriza por tener llanuras onduladas muy suaves entre las que se incluyen: a) lomas planas o altas donde la tasa de infiltración o escorrentía es tal que prácticamente no presentan problemas hidromórficos, aunque ocupan áreas pequeñas; b) planos altos con escorrentía superficial lenta y procesos hidromórficos más evidentes; c) planos bajos o deprimidos que se dividen en planos bajos con escorrentía superficial lenta y planos bajos con escorrentía superficial muy lenta con paleocanales, sujetos a inundaciones periódicas. Al pie de estas unidades hay otra relacionada con paleoformas fluviales, denominadas planos con paleocanales o paleocanales, identificables por la presencia de lagunas temporales y permanentes y por la morfología típica de los antiguos cauces fluviales donde el hidromorfismo es muy notorio e incluso se observan grandes concreciones carbonáticas y muñecas. En la Depresión de Curapaligüe, los suelos halohidromórficos con fragipán se desarrollan en materiales franco arenosos estableciendo una génesis de hidromorfismo ácido. También se identificaron suelos con calcretos en el departamento de Río Cuarto y en el suroeste de la provincia de Córdoba. Se estudiaron suelos enterrados en la base del perfil, que muestran un sector afectado por un horizonte petrocálcico en el área de Tosquita, a 80 km al oeste de la depresión. Más recientemente, se describieron perfiles estratigráficos en arroyos del área de Río Cuarto y Sampacho, donde se encontraron sedimentos aluviales de textura franco arenosa a profundidades de 15 m o más con diversos niveles de fragipanes.

Los únicos horizontes cementados que se encuentran en esta región son fragipanes, cuyo principal agente cementante es el óxido de hierro y la arcilla illítica responsables de la estructura quebradiza. Estos fragipanes se caracterizan por evidencias morfológicas tales como estructura en bloques aplanados; consistencia muy firme a extremadamente firme cuando se mojan y concreciones de hierro y moteados. Las evidencias micromorfológicas de estos fragipanes serían las fisuras horizontales paralelas y subparalelas a la superficie y la alta densidad de empaquetamiento por la fuerte cementación en la matriz causada por las concentraciones de óxidos de hierro y las características texturales (hierro-arcilla y recubrimientos de manganeso). La abundancia de moteados en los fragipanes indica la lentitud del movimiento del agua y la oscilación entre los estados de saturación y no saturación. En la cuenca media de todos los arroyos al sur del río Cuarto se observa la presencia de materiales aluviales con fragipanes de edad Pleistoceno medio. Hacia la cuenca baja, los niveles con fragipán están cubiertos por sedimentos eólicos del Pleistoceno tardío, Pleistoceno-Holoceno o por las dunas actuales. Estos materiales formarían parte de la misma llanura aluvial del Pleistoceno medio que constituye una superficie de erosión antigua. Los fragipanes más desarrollados están relacionados con las partes más bajas del relieve donde el drenaje es más difícil. Son un impedimento, aunque no total, para la conexión del nivel freático y el agua de infiltración. Existe una relación directa entre la presencia del fragipán y la evolución salina-alcalina del suelo, se observan variaciones en las sales solubles, a veces muy importantes donde están presentes. Los fragipanes se desarrollaron en un momento en que no existía un vínculo entre el acuífero alcalino libre y el perfil del suelo, por el contrario, establecen un control sobre la dinámica de las sales y las aguas de los suelos actuales.

Palabras clave

fragipanes,
Curapaligüe,
evidencias micromorfológicas.

■ EXTENDED ABSTRACT

Extensive, depressed areas are found in the subhumid central plain of Argentina where polygenetic, halo-hydromorphic soils with fragipans have been identified.

A disconnection between surface and groundwaters is observed in these soils, as well as saline efflorescences on the surface and in the upper horizons, which determine severe restrictions for agricultural-livestock use. The southern Córdoba province is characterized by very smooth undulating plains which include: a) flat or high ridges where the rate of infiltration or runoff is such that they do not present practically hydromorphic processes, although they occupy small areas; b) high planes with slow surface runoff and more evident hydromorphic processes; c) low or depressed planes which are divided into low planes with slow surface runoff and low planes with very slow surface runoff with splays and paleochannels subject to periodic flooding. At the foot of these units there is another one related to fluvial paleoforms, denominated planes with paleochannels or paleochannels, identifiable by the presence of temporary and permanent lagoons and by the typical morphology of old river channels where hydromorphism is very notorious and even large carbonate concretions and dolls are observed.

In the Curapaligüe Depression, halohydromorphic soils with fragipan are developed in sandy loam materials establishing an acid hydromorphism genesis. Soils with calcretes were also identified in the Río Cuarto Department and in the southwest of Córdoba Province. Buried soils have been studied at the base of the profile, showing a fragipan affected by a petrocalcic horizon in the Tosquita area, 80 km west of the depression. More recently, stratigraphic profiles were described in streams of the Río Cuarto and Sampacho area, where sandy loam alluvial sediments were found at depths of 15 m or more with various levels of fragipans.

The only cemented pans found in this region are fragipans, whose main cementing agent is iron oxide and illite clay responsible for the brittle structure. The fragipans are characterized by morphological evidences such as platy or flattened blocky structure; very firm to extremely firm consistence when wet and iron concretions and mottles. The micromorphological evidences of these fragipans would be the horizontal fissures, which are parallel and subparallel to the surface, and the high density of packing caused by the strong cementation in the matrix by iron oxides concentrations and textural features (iron-clay and manganese coatings). The abundance of speckles on the fragipans indicates slowness of water movement and oscillation between states of saturation and non-saturation.

In the middle basin of all the streams south of the Cuarto river the presence of alluvial materials with Middle Pleistocene fragipans is observed. Towards the low basin these fragipan levels are covered by the Late Pleistocene, Pleistocene-Holocene eolian sediments or by the current dunes. These materials would form part of the same alluvial plain of the middle Pleistocene constituting an old erosion surface.

The most developed fragipans are related to the lower parts of the relief, where drainage is most impeded. They are an impediment, although not total, to the connection of the water table and the perched water. There is a direct relationship between the presence of the pan and the saline-alkaline evolution of the soil, certain variations in the soluble salts, sometimes very important where these are present.

The fragipans developed at a time when there was no link between the free alkaline aquifer and the soil profile. On the contrary, the fragipans establish a control on the dynamics of salts and water of the present soils.

Keywords

fragipans,
Curapaligüe,
micromorphological evidences.

■ INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Los fragipanes en Alfisoles fueron estudiados por Carlisle *et al.* (1957), Grossman & Cline (1957), Grossman & Carlisle (1969) quienes definieron distribución, características físicas y químicas, como así también, atribuyen la densidad y el carácter quebradizo a la acción de agentes cementantes y la redistribución de partículas en la matriz del suelo para los estados del Este de EE.UU. Grossman & Ferenbacher (1971) comprobaron mediante estudios micromorfológicos la distribución de partículas en la matriz del suelo. FitzPatrick (1956), Rudeforth (1976) y otros autores de EE.UU. e Inglaterra asignan a la mayoría de estos endurecimientos un carácter periglaciario, para el N de Gran Bretaña y de EE.UU. Por otro lado, Langhor & Pajares (1981) consideran la evolución de un fragipán a partir de la degradación de un horizonte Bt en un medio que primeramente tuvo condiciones de suelo gley. Daniels *et al.* (1966), efectuaron trabajos sobre la morfología de suelos con fragipanes en Wilson County, Carolina del Norte, EE.UU. Buntley *et al.* (1977), también en EE.UU. estudiaron los horizontes con fragipanes en la secuencia Memphis-Loring-Grenada en el Oeste de Tennessee. Es de destacar la importancia, en cuanto a la descripción de muestras al microscopio, que tiene el *Handbook for Soil Thin Section Description* publicado por Bullock *et al.* (1985) y posteriormente, con avances muy relevantes, el realizado por Stoops (2003).

Con respecto a la presencia de concreciones de CO_3^{-2} , como las existentes en estos suelos, se tuvo en cuenta el trabajo realizado por Dress & Wilding (1987) en suelos de Texas, donde diferencia sobre el origen pedogénico o no de las diferentes concreciones como así también la forma de diferenciarlos. Sobecki & Wilding (1983) realizaron un estudio sobre la formación de los horizontes argílicos y cálcicos en las praderas costeras de Texas y formulan dos hipótesis sobre el origen de estos últimos, una pedogénica en las zonas menos deprimidas y otra no pedogénica vinculada a zonas bajas por fluctuación de la capa freática. En la provincia de Buenos Aires de Argentina se describen y estudian sucesiones suelo/paleosuelos con fragipanes (Imbellone y Giménez, 1998; Imbellone *et al.*, 2005).


En la región subhúmeda de la planicie central de Argentina se observan extensas áreas deprimidas, donde se han identificado suelos poligenéticos, halohidromórficos con fragipanes. En estos suelos se observa la desconexión entre el agua de infiltración y el agua freática, presencia de eflorescencias salinas en los primeros horizontes y en superficie (Becker *et al.*, 1998), con vegetación hidrohalomórfica que determinan grandes restricciones de uso agrícola-ganadero. Schiavo *et al.* (1995) establecieron una vinculación entre los suelos halohidromórficos (policíclicos) y los materiales aluviales, lagunares y/o eólicos arenosos muy finos/limosos, donde son frecuentes estos niveles de fragipanes.

El área de estudio se caracteriza por constituir una zona de planicies muy suavemente onduladas entre las que se distinguen: lomas planas o altos donde la velocidad de infiltración o de escurrimiento es tal que no presentan prácticamente procesos hidromórficos, aunque son de escasa extensión areal; planos altos con escurrimiento superficial lento y procesos hidromórficos más evidentes; planos bajos o deprimidos que se dividen en: planos bajos de escurrimiento superficial lento y planos bajos de escurrimiento superficial muy lento con derrames y paleocauces sujeto a periódicas inundaciones. Al pie de estas unidades se distingue otra vinculada a paleoformas fluviales, denominada planos con paleocauces o paleocauces, identificables por la implantación de lagunas temporarias y permanentes y por la morfología típica de antiguos cauces de ríos donde el hidromorfismo es muy notorio e incluso se observan grandes concreciones y muñecas de carbonatos.

En la Depresión de Curapaligüe se describieron suelos halohidromórficos con fragipán (Schiavo *et al.*, 1995, Cantú *et al.* 2006) desarrollados sobre materiales franco arenosos estableciéndose una génesis por hidromorfismo ácido. También se identificaron suelos con calcretos en el Departamento Río Cuarto y en el suroeste de la Provincia de Córdoba (Schiavo *et al.* 2014). Se han estudiado suelos enterrados que en la base del perfil presentan un fragipán afectado por un horizonte petrocálcico (calcreto), en el área de Tosquita a 80 km al Oeste de la depresión. Más recientemente, se describieron perfiles estratigráficos en arroyos del área de Río Cuarto y Sampacho, donde se encontraron sedimentos aluviales franco arenosos a profundidades de 15 m o más con varios niveles de fragipanes. El presente trabajo pretende mostrar un avance del estudio de la génesis de los fragipanes en la planicie central de Argentina.

■ DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

Ubicación del área de estudio

El área de estudio se ubica en el sur de la Provincia de Córdoba **Figura 1** . El clima es templado-subhúmedo con una marcada estación seca. Las precipitaciones presentan un régimen monzónico, concentradas de octubre a marzo con una media anual de 750 mm. El invierno es generalmente seco, aunque cíclicamente se han observado lluvias excepcionales en julio o agosto, concentradas en períodos de tres y siete días, como las de 1979 (99,8 mm) y 1985 (110,2 mm), en el marco de años relativamente húmedos. Estos ciclos lluviosos son de carácter regional, afectando tanto a las áreas deprimidas como a las llanuras circundantes y las cuencas serranas de aporte. Al ser esta región receptora natural del flujo superficial y subterráneo, la permanencia del agua en la superficie se puede prolongar por períodos de más de 10 años.

Geomorfológicamente se encuentra en la Provincia Geomorfológica Llanura Chaco Pampeana y en la Región Geomorfológica Fluvial Subhúmeda, comprendida la mayor parte dentro de la Asociación Derrames de los Ríos Cuarto y Quinto. Esta asociación es una antigua llanura fluvial cuya génesis es el resultado de la acción conjunta de los denominados ríos Cuarto y Quinto con episodios eólicos posteriores que las cubrieron parcialmente e imprimieron rasgos que le son propios (Cantú & Degiovanni, 1984).

Tectónicamente esta región responde al modelo de las sierras Pampeanas, con un sistema principal de fracturas de rumbo meridional a submeridional, cortado por sistemas menores de rumbo E-O y NO-SE, que definen bloques con cierto basculamiento hacia el este y sureste, determinando de esta forma áreas deprimidas como la presente en estudio y dentro de ésta a diferentes unidades del paisaje más o menos elevadas y con distintos procesos geomorfológicos y de formación de suelos.

Es importante destacar que en la mayoría de los casos a la zona de estudio se accede por caminos de tierra de estado regular a malo, e inclusive en abandono total, debido a los problemas de inundaciones y erosión en los períodos húmedos y al escaso escurrimiento superficial por lo reducido de la pendiente, e infiltración por la cercanía del nivel freático, que llega generalmente hasta 50 cm de la superficie e incluso aflora.

Métodos

En el presente estudio se desarrollaron diferentes tareas que se describen a continuación:

Tareas previas de Gabinete: Se efectuaron tomando en cuenta los patrones fotográficos y de imágenes satelitales, en base a los cuales se elaboró el esquema de muestreo sistemático de los suelos.

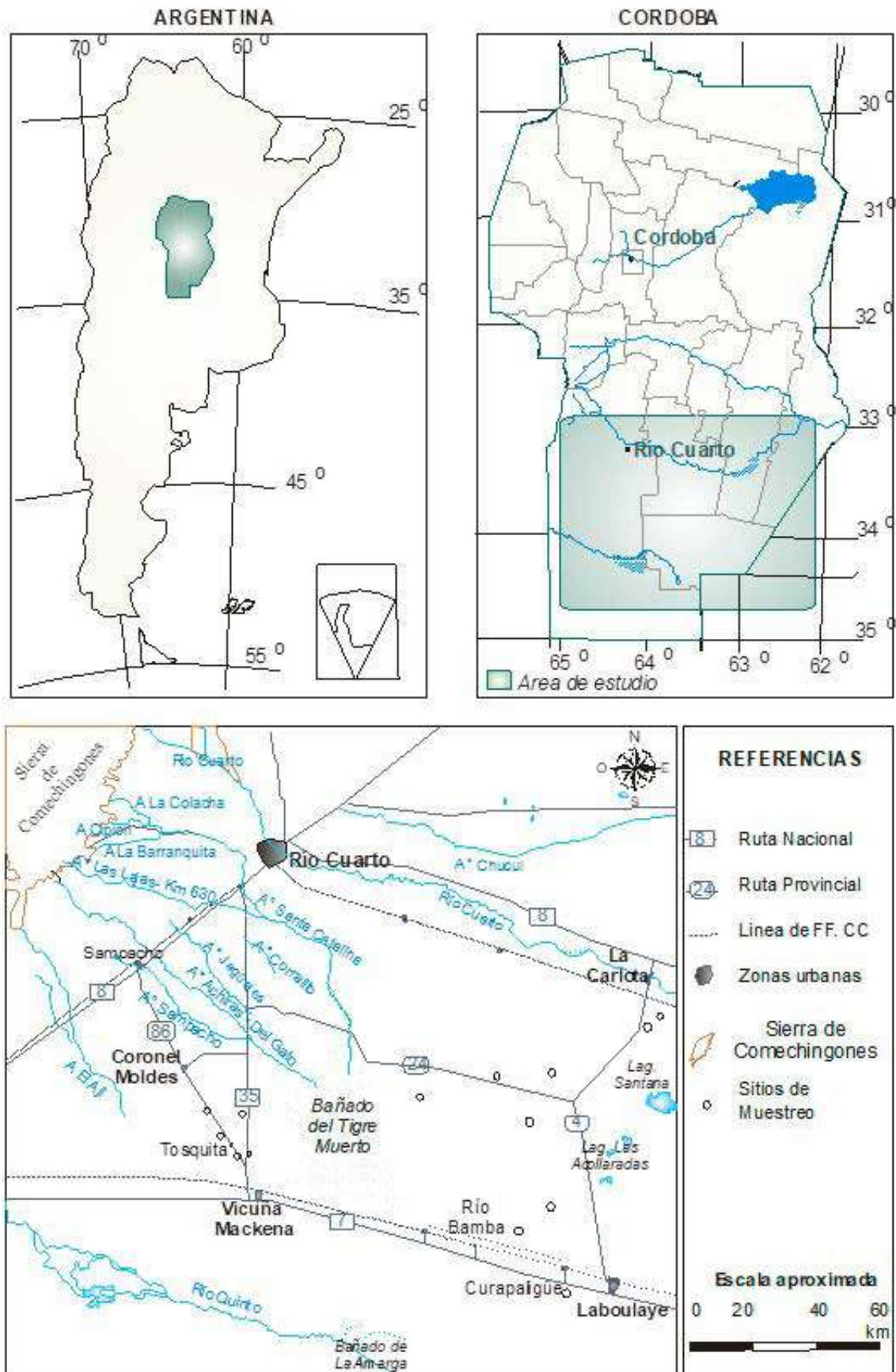


Figura 1: Mapa de Ubicación.

Figure 1: Location map.

Tareas de campo. Consistieron en un recorrido general del área de estudio por los caminos secundarios y principales, reconociendo in situ las diferencias de morfología, su relación con los patrones identificados y la correspondiente asociación con los perfiles de suelo y la presencia de fragipanes en los mismos. Ello permitió efectuar muestreos preliminares, por medio de los cuales, se ajustó la correlación entre: *morfología-patrón fotográfico-perfil de suelo* y la representación areal de los mismos. Posteriormente se eligieron los perfiles representativos y se procedió a su muestreo sistemático. El muestreo se realizó en tres perfiles de suelo, en los cuales se identificaron diferentes tipos de fragipanes. Se eligieron estas secuencias porque son las más representativas de las unidades y subunidades de la región, y expresan los diferentes estados de desarrollo de los fragipanes. En general se muestreó la parte central de cada horizonte y en casos especiales se tomaron otras muestras, por ejemplo, límite neto entre dos horizontes. Se tomaron muestras no disturbadas para el análisis micromorfológico y disturbadas para las determinaciones analíticas (análisis físicos, físicos-químicos y químicos de rutina, análisis granulométrico, redondez y esfericidad y mineralogía de arenas y arcillas). La extracción de muestras no disturbadas se realizó por el método del tallado de damas de suelo, consistente en tallar muestras en los horizontes del suelo, en forma de cubos, extraerla de la calicata y ubicarla en cajas debidamente acolchadas para evitar rupturas.

Tareas de Laboratorio: Las muestras disturbadas de los distintos horizontes fueron secadas al aire, desmenuzadas, tamizadas (malla N° 10 ASTM) y cuarteadas hasta obtener aproximadamente 1 kg. Sobre cada una de ellas se efectuaron las determinaciones analíticas de rutina, con el objeto de realizar la caracterización de cada uno de los horizontes. Las muestras no disturbadas fueron secadas al aire, para su posterior tratamiento.

Seguidamente se describen los métodos utilizados para llevar a cabo los análisis físicos, físico-químicos, químicos, mineralógicos y micromorfológicos:

Carbono Orgánico (%). Se utilizó el método de Walkey y Black modificado (Jackson, 1970). El fundamento del método consiste en evaluar el oxidante consumido en la oxidación de la materia orgánica del suelo.

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 intervalos establecidos por el Soil Survey Division Staff (2003).

pH. Se determinó por métodos potenciométricos, relación suelo-agua 1:2,5, mediante un equipo digital Jenco 6171L.

Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.). Se realizó por el método del acetato de sodio (AcNa - pH: 8,2), determinando Na⁺ total por fotometría de llama (Metrolab 315) de acuerdo al Personal Laboratorio de Salinidad (1982)

Bases Intercambiables. Se determinaron por el método del acetato de amonio (AcNH₄ - 1N - pH: 7), determinando por colorimetría los cationes Ca²⁺ y Mg²⁺ y por Fotometría de llama Na⁺ y K⁺ (Metrolab 315) de acuerdo al Personal Laboratorio de Salinidad (1982).

Análisis mineralógico. Se realizó a la fracción arena muy fina por vía óptica, siendo ésta la fracción más representativa en cuanto a porcentaje, debiendo estar los granos minerales limpios para

su observación e identificación en microscopio petrográfico. Se separó la fracción retenida en el tamiz malla ASTM N° 230, y sobre una muestra de ella se llevó a cabo la separación densimétrica mediante el empleo de un líquido denso (Politungstato de sodio, peso específico 2,88). La separación de minerales pesados y livianos mediante técnicas densimétricas es de relevancia, ya que brinda la posibilidad de estudiar individualmente los minerales de importancia edafogenética. Se montaron preparados, incluidos en un medio diáfano, para la identificación y descripción de las características fundamentales de cada especie mineral identificada, mediante microscopio petrográfico. Para el análisis cuantitativo de la fracción arena muy fina se utilizó el método de conteo de puntos considerando que 500 puntos de conteo representan un nivel de confianza del 95% y error probable de 5%. Cada porcentaje en volumen de una especie mineral se llevó a porcentaje en peso, calculando luego variaciones absolutas y porcentajes de variaciones absolutas de cada elemento identificado.


La determinación mineralógica de la **fracción arcilla <2µm** se realizó mediante difracción de Rayos X, para todos los horizontes muestreados. El pretratamiento de las mismas se llevó a cabo según Besoain (1985), analizando muestras al natural, glicoladas y calcinadas a 550°C. Los difractogramas se realizaron con un equipo Rigaku-Miniflex, usando una radiación de Cu-K y filtro de Ni.

Análisis micromorfológico. Es un método de estudio de muestras de suelos no disturbadas con la ayuda de técnicas microscópicas, con objeto de identificar sus constituyentes, determinar sus mutuas relaciones en espacio y tiempo e interpretar sus condiciones de formación. El estudio microscópico del suelo mediante microscopio petrográfico se realizó sobre secciones delgadas normales y perpendiculares de cada horizonte. 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 poliéster de uso industrial, combinadas con diluyente (monómero de estireno hasta un 20%), catalizador y acelerador, en bomba de alto vacío sobre muestras secadas al aire. Las descripciones de las muestras se realizaron de acuerdo a Stoops (2003), poniendo especial interés en el estudio de la porosidad, para establecer, especialmente en los panes, la real importancia de la porosidad en la conducción o no del agua.

■ RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización Geomorfológica

El área de distribución de suelos y paleosuelos con fragipanes actualmente identificada se encuentra dentro de la cuenca del río Cuarto, incluyendo todos los sistemas del sur de la Sierra de Comechingones que de una u otra forma desaguan actualmente en dicha cuenca, y en la cuenca baja del río Quinto. Durante el Pleistoceno superior ambas cuencas se encontraban integradas de acuerdo a lo establecido por Cantú & Degiovanni (1984). Geomorfológicamente, la región de estudio corresponde a las provincias geológicas de la Sierras Pampeanas y Llanura Chaco-Pampeana, se caracteriza por ser una antigua planicie aluvial de los ríos Cuarto y Quinto, con paleocanales de grandes dimensiones, áreas de llanura de inundación y ambientes lagunares asociados **Figura 2** . Superpuesto a este paisaje se han desarrollado formas eólicas durante los períodos áridos como la Pequeña Edad de Hielo. Los suelos se han desarrollado sobre sedimentos aluviales areno-limosos del Pleistoceno Superior y sedimentos eólicos areno-limosos del Holoceno:

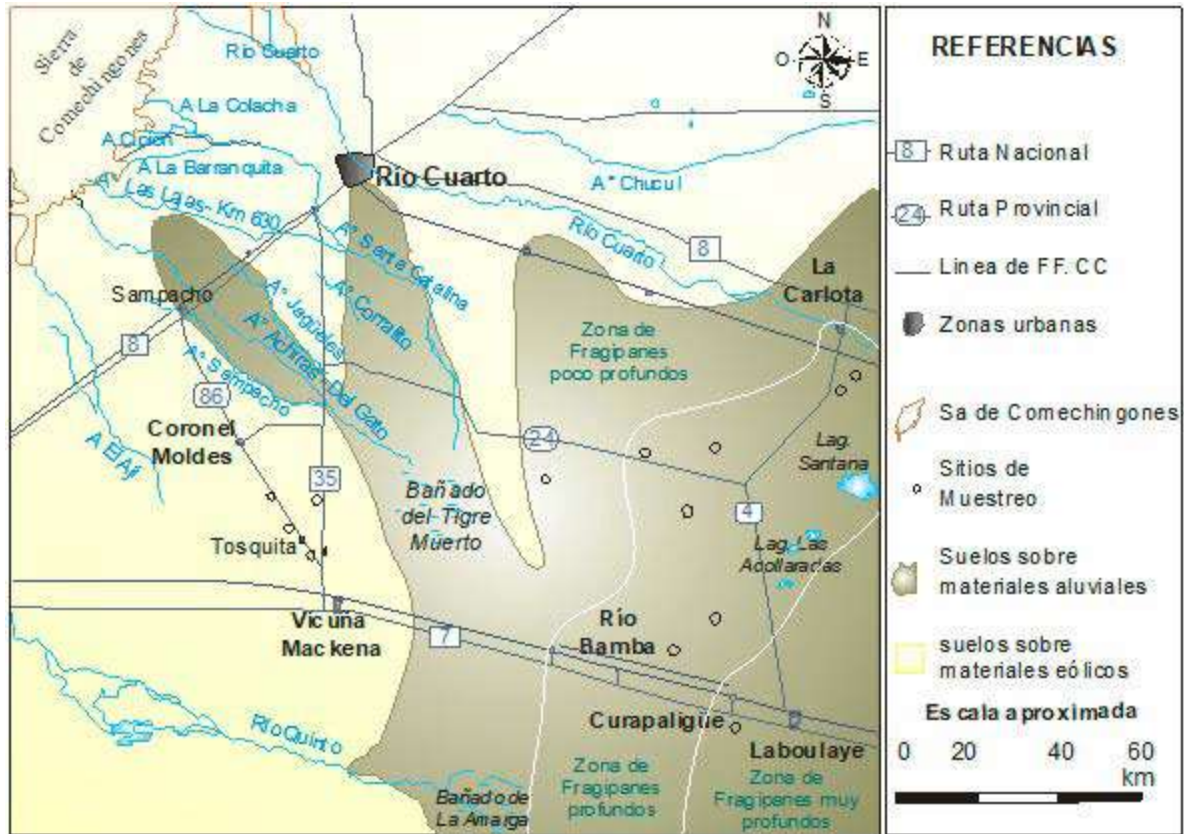


Figura 2: Mapa morfoedológico.

Figure 2: Morphopedologic map.

Alto Estructural Meridional

Esta unidad presenta un patrón moteado fino, está constituida por las siguientes subunidades: Planos Altos, Planos Bajos, Planos Bajos con Derrames y Paleocauces.

La subunidad denominada paleocauces, en los que se encuentran lagunas temporarias, se diferencian de los paleocauces de las demás unidades por su menor extensión areal como así también por el menor espesor de los fragipanes; en esta subunidad predominan en determinadas épocas los procesos aluviales sobre los pedogénicos con constantes aportes estacionales de sedimentos, aunque estos nunca llegan a ser de más de unos pocos milímetros, incorporándose al proceso sin interrumpir la pedogénesis; encontramos fragipanes de menor desarrollo que van desapareciendo hacia el S y hacia el O.

Las zonas más limpias pertenecen a planos altos, libres de rasgos fluviales o eólicos actuales, predominando los procesos pedogénicos, donde prácticamente no existen fragipanes o están en incipiente desarrollo. Bordeando a la subunidad anterior se encuentran los planos bajos donde prevalecen los procesos pedogénicos, aunque se ve afectada también en los ciclos húmedos extraordinarios por aportes sedimentarios y planos bajos con derrames, donde cíclicamente, llegan sedimentos aportados por las inundaciones, en ésta aumenta la importancia de los procesos sedimentarios; en ambas subunidades, encontramos fragipanes de menor desarrollo, que en las unidades ubicadas más hacia el N, algunos se encuentran más superficialmente, y son de menor espesor; tienden a desaparecer hacia el O y hacia el S para formar solamente horizontes Bw y Bt, en algunos sitios de gran espesor, pero generalmente variables.

Depresión Longitudinal al Oeste de Laboulaye

En esta depresión se observa el predominio de un patrón moteado fino con lagunas temporarias escasas, correspondiéndose en el campo con un plano bajo con manchoneo y acumulaciones de sales en superficie. Esta unidad es de poca extensión areal y está constituida por paleocauces, planos bajos con derrames y planos bajos.

Los paleocauces están poco extendidos, en ellos se instalan lagunas de carácter temporario, los suelos de esta subunidad están libres de fragipanes, y de muñecas de tosca en los niveles superiores, sólo se encuentran capas con tosca a los 160 cm; como en el resto de la zona, los procesos aluviales poseen cierta importancia aunque no predominan sobre los pedogénicos, esto se evidencia al encontrar secuencias del tipo A-AC-Bt1-Bt2-BC-Ck (160 cm), demostrando una discontinuidad por aportes de materiales de edad holocena. Los planos bajos con derrames y planos bajos libres de derrames tampoco presentan fragipanes de ninguna clase, sólo horizontes Bw, Bt y BC, y aproximadamente a los 160 cm niveles importantes de toscas (calcretos), reconocidos por medio del muestreo con barreno. En los planos bajos sin derrame la secuencia del perfil es similar a la de los planos bajos con derrame pero un poco más profunda, predominando en la actualidad y en ambas subunidades los procesos pedogénicos sobre los sedimentarios.

Depresión Central de Curapaligüe

Es una depresión cerrada por la actividad neotectónica de fines del Pleistoceno y forma parte de una llanura aluvial. Está cubierta por un manto discontinuo de sedimentos eólicos Holocenos de espesor variable. Los sectores más deprimidos (pendiente $<0,1\%$) se caracterizan por la presencia de paleocanales, algunos de gran magnitud, con alto grado de disipación por la acción eólica y la arroyada difusa. En este ambiente se describieron dos pedones que presentan un fragipán a 0,55 m en microelevaciones y a 0,33 m en bajos anegadizos, desarrollado sobre materiales aluviales franco-arenosos. Estos pedones presentan un perfil compuesto por un suelo actual evolucionado en material eólico holoceno y un suelo enterrado con el fragipán. Al ser esta región receptora natural del flujo superficial y subterráneo, la permanencia del agua en la superficie se puede prolongar por períodos de tres a cinco años.

Alto Estructural de Guardia Vieja

Presenta un patrón moteado fino que se va disipando de N a S hasta transformarse en limpio. Se observa como una zona libre de lagunas y canales, aunque está rodeada por ellos. En esta unidad se pueden realizar actividades agrícolas distinguiéndola de las demás que sólo soportan pasturas naturales e implantadas. Está formada por altos, planos bajos y planos bajos con derrames. Las subunidades denominadas altos son de origen eólico, donde los procesos pedogénicos predominan sobre los demás rasgos geomorfológicos. La capa freática no influye mayormente en la evolución vegetal y en el proceso de formación del suelo. No existen fragipanes de ninguna clase, sólo horizontes Bw y BC; se encuentran moteados dispersos a partir de los 50 cm en el horizonte C. La secuencia típica es A-Bw-BC-C-Ck.

En los planos bajos que rodean a la anterior y planos bajos con derrames no existen fragipanes, solamente horizontes del tipo Bt con buena estructuración en las zonas bajas. La secuencia es Ap-AC-C-2Bt1-2Bt2-2C, indicando la mayor importancia de los últimos procesos de acumulación en la discontinuidad.

Los paleocanales se encuentran dispersos en el límite de la unidad con sus vecinas, con incipiente formación de horizontes frágicos del tipo Bw o Bt.

Planicie con Paleocauces de La Providencia

Esta unidad está constituida por las subunidades denominadas: paleocauces, planos bajos con derrames, planos bajos y planos altos.

Los paleocauces son de diferente tamaño con una dirección predominante de NNE a SSO y algunos de NO a SE, correspondientes a derrames de los ríos Quinto y Cuarto; a pesar del tipo de paleoformas fluviales y de los constantes aportes de sedimentos en épocas de lluvias, los procesos pedogénicos predominan en la actualidad sobre los geomorfológicos. Las lagunas temporarias y permanentes se presentan en esta unidad con la mayor densidad de toda la región. A esta subunidad y unidad pertenece uno de los perfiles elegidos como más representativos, con la secuencia A-Bt-Btx-BCx-2BCkx-2Ck, donde encontramos en forma completa la secuencia de fragipanes y muñecas de “tosca” de 12 cm de largo por 6 cm de ancho. En la misma subunidad, más al N y al O, desaparece la secuencia descrita, encontrándose por ejemplo en forma aislada perfiles del tipo A-C-2Cgx-3C.

Entre cada paleocauce se encuentran planos bajos con y sin derrame, presentan un patrón moteado fino que se hace difuso hacia el N. La secuencia del perfil ya pierde la característica de los fragipanes hacia el N y O, encontrando perfiles del tipo A-Bw-BC-C-Ck; donde todavía existen fragipanes el perfil es Ap-A2-Bwx-C-Ck.

Los planos altos de esta unidad presentan una secuencia típica de horizontes del tipo Ap-AC-C-2Bwx-2BC-2C-2Ck que caracterizan a los suelos del E de la unidad, al presentar esta discontinuidad típica; diferenciándose de los planos altos de otras unidades donde encontramos fragipanes del tipo Cx. Están libres de rasgos hidromórficos en la superficie y hasta los 120 cm evidenciando una buena infiltración; los primeros tres horizontes son los que evidencian el origen eólico de esta unidad, al superponerse dicho material al preexistente.

Los suelos que se encuentran en esta unidad presentan, en la región centro-sur y centro-este, fragipanes a partir de horizontes Bt y BC cuyos techos se van profundizando hacia el E junto con una disminución del espesor y un aumento del tamaño de partículas.

En los suelos más desarrollados se encuentran niveles de muñecas de “tosca” de grandes dimensiones, correspondiendo a zonas de bordes de lagunas y dentro de los horizontes frágicos. Más al N y O estos dan paso a fragipanes a partir de horizontes C de escasa extensión areal y bordeando a los del tipo B; desaparecen inmediatamente y dan lugar a horizontes B y C no frágicos, encontrándose niveles de calcreto/tosca a variada profundidad, pero nunca antes de 130 cm y por lo general a 180 cm.

Planicies aluviales

En la cuenca media del arroyo Del Gato, a partir de 1 km aguas abajo de la Ruta Nacional N° 8 se han observado y descrito varios perfiles estratigráficos donde se encontraron materiales aluviales, de color pardo rojizo con varios niveles de fragipanes a una profundidad aproximada de 15 metros. Estos fragipanes poseen las mismas características morfológicas y micromorfológicas que los descritos en la

depresión de Curapaligüe. Idéntica situación se observa en varios perfiles del arroyo Las Lajas, donde entre las rutas N° 35 y N° 8 el arroyo ha construido por erosión retrocedente numerosos saltos controlados por la resistencia de estos niveles de fragipanes. En la misma zona, en el arroyo Santa Catalina, se observaron materiales aluviales pardos rojizos con fragipanes formando la base del canal actual.

La edad relativa de los materiales aluviales de color pardo rojizo, ha sido establecida a partir de edades OSL (Luminiscencia óptica estimulada), por correlaciones con los períodos glaciares e interglaciares y los niveles isotópicos de O^{18}/O^{16} . En los perfiles estratigráficos de los arroyos Del Gato y Las Lajas sobre un loess rosado que cubre los materiales aluviales se obtuvieron edades OSL $108,7 \pm 3,8$ ka AP (Universidad de Pekín-College, Environmental Science) y 126 ± 14 ka AP (University of Cologne) respectivamente (Grumelli, 2010). Los materiales originales de los suelos que cubren al fragipán en Tosquita serían del Pleistoceno superior y Pleistoceno superior tardío-Holoceno por edades OSL entre $56,1 \pm 10,2$ y $25,7 \pm 0,8$ ka AP. Esto indicaría que los materiales aluviales pertenecerían al Pleistoceno medio correspondiendo al último interglaciar y al nivel isotópico IS5 donde las condiciones climáticas eran más cálidas y más húmedas como queda evidenciado por la amplitud de la llanura aluvial, el grado de desarrollo edáfico y la fuerte dinámica del Fe.

Relación entre profundidad-espesor y ubicación en el paisaje de los fragipanes

La distribución de los fragipanes en la zona de estudio es amplia, aunque en la región O y en los extremos NO y NNO estos desaparecen, encontrándose sólo secuencias de horizontes del tipo A-Bt-BC-C bien desarrollados o del tipo A-AC-C en las zonas más elevadas.

La profundidad de los fragipanes es muy homogénea, oscilando entre 30 y 38 cm desde la superficie, con un espesor de 30 a 35 cm en las subunidades Planos Bajos y Planos Bajos con Derrame, mientras que en las identificadas como Paleocauces y especialmente en los bordes de las lagunas se encuentran a muy escasa profundidad entre los 10 y 25 cm, aunque en este caso el espesor del paquete de fragipanes llega hasta 40 cm aproximadamente. En estos casos la referencia es a fragipanes desarrollados sobre horizontes del tipo B cámbico o B textural que originan Bwx y Btx, que son los que se encuentran en las unidades más afectadas por hidromorfismo o anegamientos. Los fragipanes originados desde los horizontes BC tienen una profundidad variable entre 40 y 55 cm desde la superficie con espesores también variables.

Los fragipanes desarrollados sobre horizontes C sólo se encuentran en los denominados Planos Altos, que en realidad son altos relativos al entorno de las demás subunidades y en las ondulaciones producidas por acumulación de sedimentos en las unidades más deprimidas; se localizan a una profundidad de entre 45 y 55 cm con espesores variables.

Caracterización morfológica de los suelos

Los suelos de la zona de esta región presentan características poligénicas, especialmente en las zonas más deprimidas, constituyendo suelos calificados como *tapto*. La secuencia superior del suelo del tipo A-AC-C ó A-AC (último ciclo), tiene un espesor variable que hacia el centro de las depresiones se va acortando, los valores extremos van de 25 a 40 cm y siempre dan paso a una secuencia del tipo Bt-Btx-BC-C ó Btx-BCx-C, pudiendo en los casos mencionados estar acompañados de concreciones de CO_3Ca en todos los horizontes, pero solamente en los Btx y BCx pueden originar grandes muñecas, en las zonas bajas y de pendiente o borde de hasta 12 cm de largo por 5 cm de ancho en su parte superior que se van achicando hacia abajo hasta alcanzar sólo 2 cm, en forma de elipsoide; en los C desapare-

cen o se transforman en muy pequeñas. Los procesos hidromórficos a que están sometidos los suelos en estas áreas deprimidas, provoca la aparición de las concreciones más difundidas que son las de Fe, originadas a partir del nivel freático, su distribución es amplia dentro del perfil, con tamaño de hasta 1 cm aproximadamente como máximo.

Rodeando toda la zona deprimida, hacia el E, N, y O, se encuentran las mismas secuencias de suelos enterrados, pero los horizontes Btx y BCx, dan lugar a los Bt, Bw y BC, siendo los Bt de buena estructuración.

En tanto en las áreas ubicadas en los altos que bordean las lagunas o en los planos altos la secuencia más común es del tipo Ap-AC-C-2Btx1-2Btx2-2C, en los perfiles con mayor desarrollo sobre las lomas más altas; mientras que en las más bajas dicha secuencia se acorta generando perfiles del tipo A-AC-C-Cx-Ckx.

Se eligieron tres perfiles de suelos con fragipanes del tipo Btx, BCx y 2BCkx1. Para los fragipanes del tipo Btx, BCx y 2BCkx la secuencia típica es Ap-2Btkx-2BCkx1-2BCkx2-2Ck o Ap-A2-AC-2Btx1-2Btx2-2BCx.

A continuación se presentan los perfiles de suelos representativos correspondientes a las Series La Providencia, Rio Bamba y Curapaligüe con presencia de fragipanes del área de estudio; están afectados por el sufijo “n” sólo los horizontes iluviales.

Serie La Providencia

Los suelos de la Serie La Providencia son moderadamente profundos, presentan drenaje imperfecto a pobre y la permeabilidad es moderadamente lenta. Son moderadamente salinos con eflorescencia en superficie y ligeramente alcalinos. El fragipán se extiende desde los 0,24 a los 0,68 m. El nivel freático fluctúa en el perfil entre los 0,6 y 0,9 m con un tenor salino de 7 g/litro. Este perfil representativo se encuentra 4 km al N de la Colonia La Providencia, a 200 m del camino denominado de Balario, en un pie de loma al borde de un “peladar” que se continúa pendiente abajo hacia una laguna temporaria asociada a otras de mayor permanencia en el tiempo. Está sometido a un proceso de erosión hídrica en arroyada hacia las zonas bajas aumentada por la escasa cobertura vegetal. La parte vegetada presenta gramíneas como *Eragrostis lugens* (pasto ilusión), *Cynodon dactylon* (gramón) y *Thinopyrum ponticum* (agropiro) las partes más elevadas y algunas juncáceas, *Distichlis* y *Salicornia* en las partes anegadizas y con eflorescencias salinas.

Ap: 0-15 cm: pardo grisáceo oscuro (10YR 3/3) en húmedo, pardo grisáceo (10YR 5/3) en seco; franco arenoso; estructura en bloques subangulares gruesos, moderados, finos; friable; no adhesivo; ligeramente plástico; rasgos macroscópicos de iluviación de arena muy fina desde la superficie y sobre las caras de los agregados; sales en superficie; abundantes raíces; pH 8; límite abrupto suave.

2Bt: 15-24 cm: pardo oscuro a pardo (10YR 4/3) en húmedo, pardo oscuro amarillento (10YR 6/4) en seco; arcilloso; estructura en prismas gruesos a prismas finos, laminar hacia abajo; firme; adhesivo; plástico; barnices arcillo- húmicos abundantes; moteados de Fe finos y precisos; raíces abundantes; pH 8,1; límite abrupto y suave.

2Btkx: 24-43 cm: pardo a pardo oscuro (10YR 4/4) en húmedo, pardo amarillento (10 YR6/4) en seco; franco arcilloso a arcilloso; estructura en prismas gruesos y laminar gruesa; extremadamente fir-

me, se deslíe en agua; adhesivo; plástico; barnices arcillo-húmicos en las caras de los agregados, escasos; raíces escasas; microconcreciones de CO_3Ca , muñecas de tosca de 3 cm; moderadamente cementado con nódulos de Fe de diferente tamaño desde 2 a 0,5 cm; pH 7,8; límite abrupto y suave.

2BCkx1: 43-57 cm: pardo amarillento (10YR 5/5) en húmedo, pardo claro amarillento (10YR 5,5/4) en seco; franco arcilloso; estructura en prismas irregulares y laminar grueso; muy firme, se deslíe en agua; ligeramente adhesivo; ligeramente plástico; raíces escasas; microconcreciones de CO_3Ca , muñecas de tosca de 2 por 1 cm; nódulos de Fe medianos de menos de 1 cm; pH 9; límite abrupto suave.

2BCkx2: 57-68 cm: pardo amarillento (10YR 5/5) en húmedo, pardo grisáceo amarillento (10YR 6,5/4) en seco; franco; estructura en bloques subangulares a angulares que rompen a bloques más finos; muy firme, se deslíe en agua; ligeramente adhesivo; ligeramente plástico; raíces escasas; CO_3Ca en toda la masa y en concreciones de diferente tamaño; nódulos de Fe de hasta 3 cm, muñecas de tosca de hasta 12cm de largo por 2 a 5cm de ancho; pH 9,3; límite abrupto suave.

2Ck: 68+: pardo (10YR 5/4) en húmedo, pardo grisáceo claro (10YR 7/3) en seco; franco; estructura en bloques subangulares que rompen a bloques subangulares menores; friable; ligeramente adhesivo; ligeramente plástico; no se aprecian raíces; CO_3Ca abundantes en la masa y en concreciones de distinto tamaño; pH 9,4; límite abrupto suave.

Serie Río Bamba

Los suelos pertenecientes a la Serie Río Bamba presentan drenaje imperfecto, con permeabilidad moderada a moderadamente lenta. Son suelos moderadamente profundos, débilmente salinos y moderadamente sódicos. El fragipán se desarrolla desde los 0,55 m hasta los 0,9 m. El nivel freático está aproximadamente a los 0,9 m con un contenido de sales de 6 g/litro. Este suelo se desarrolla en un alto sin problemas de sales en superficie, sufre anegamientos temporarios en épocas de máximas precipitaciones o de desbordes de canales; con ligero peligro de erosión hacia los bajos. El perfil representativo se describe a continuación:

Ap: 0-22 cm: pardo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo, pardo grisáceo oscuro (10YR 5/2) en seco; franco arenoso fino; estructura en bloques subangulares fuertes a bloques angulares moderados; fresco; friable; ligeramente adhesivo; no plástico; raíces abundantes; moteados de Fe precisos, comunes y finos; pH 7,4; límite inferior abrupto suave.

AC: 22-35 cm: pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo, pardo a pardo grisáceo (10YR 5/3) en seco; franco arenoso fino; estructura en bloques subangulares que rompen a angulares moderados a finos; fresco; friable; ligeramente adhesivo; no plástico; raíces poco abundantes; moteados de Fe precisos, comunes y finos; pH 7,2; límite abrupto suave.

C: 35-55 cm: pardo oscuro amarillento (10YR 4/4) en húmedo, pardo a pardo grisáceo (10YR 5/3) en seco; franco arenoso; estructura en bloques subangulares que rompen a angulares finos a medios; fresco; friable; no adhesivo; no plástico; moteados de Fe débiles a precisos, comunes y finos; cho-readuras de materia orgánica; pH 8,8; límite abrupto suave.


2Btx1b: 55-70 cm: pardo oscuro amarillento (10YR 4/4) en húmedo; pardo claro (10YR 6/4) en seco; franco areno limoso; bloques aplanados subangulares gruesos débiles; húmedo; muy firme; no

adhesivo; no plástico; moteados escasos; nódulos de Fe, precisos, comunes, gruesos; pH 9,1; se deslíe en agua; límite abrupto suave.

2Btx2b: 70-90 cm: pardo oscuro amarillento (10YR 4/4) en húmedo, pardo claro (10YR 6/4) en seco; franco areno limoso; estructura laminar gruesa, húmedo; muy firme; no adhesivo; no plástico; nódulos de Fe muy abundantes gruesos y precisos; moteados de Fe precisos, abundantes y gruesos; pH 9,1; se deslíe en agua; límite abrupto suave.

2BCb: 90+ cm: pardo oscuro amarillento (10YR 4/4) en húmedo, pardo claro (10YR 6/4) en seco; franco arenoso; masivo; húmedo; friable; no adhesivo; no plástico; nódulos precisos, escasos y finos; moteados precisos, escasos y finos; pH 9,1.

Serie Curapaligüe

Los suelos de la Serie Curapaligüe presentan una cubierta reciente de 0,2 a 0,3 m de espesor con un drenaje pobre a muy pobre y una permeabilidad muy lenta. Son suelos moderadamente salinos y moderada a fuertemente sódicos. El nivel de fragipanes se extiende entre los 0,33 m y aproximadamente los 0,66 m, profundidad en que se encuentra el nivel freático. Se desarrolla en un bajo con una pendiente del 0 al 1%, es de escurrimiento muy lento y permeabilidad lenta; es una zona receptora de sedimentos, con presencia de CO_3Ca libre, la cobertura vegetal es del 90 %, constituida por *Cortaderia selloana* (cortadera), *Kochia scoparia* (morenita), *Schonoplectus californicus* (juncos) y *Typha dominguensis* (totora); el nivel freático se encuentra a los 60 cm. El perfil representativo **Figura 3**  se describe a continuación:

Ap: 0-12 cm: (10YR 4/1) en húmedo, (10YR 4/1) en seco; franco arcilloso a arcilloso; estructura en prismas gruesos moderados que rompen a bloques angulares; friable; ligeramente adhesivo, ligeramente plástico; escasos CO_3^{-2} ; abundantes raíces con moteados de Fe; pH 7,7; límite abrupto suave.

2A2: 12-22 cm: (10YR 4/3) en húmedo, (10YR 6/2) en seco; franco a franco arcilloso; estructura masiva a bloques angulares; friable; adhesivo; ligeramente plástico; escasos CO_3^{-2} en la masa; raíces abundantes; pH 9; límite abrupto y suave.

3AC: 22-33 cm: (10YR 4/2) en húmedo, (10YR 5/2) en seco; franco; estructura en bloques angulares moderados que rompen a bloques más finos, moderados, débiles; friable; ligeramente adhesivo; ligeramente plástico; escasos CO_3^{-2} en la masa; raíces menos abundantes; pH 8,8; límite abrupto y suave.

4Btx: 33-47 cm: (10YR 4/4) en húmedo, (10YR 6/4) en seco; arcilloso; estructura en prismas regulares simples gruesos a laminado; extremadamente firme, se deslíe en agua; adhesivo; ligeramente plástico; barnices de arcilla más abundantes que los arcillo-húmicos, especialmente sobre las caras de los agregados; CO_3^{-2} en la masa; moteados precisos, gruesos y moderados; escasas raíces; pH 8,9; límite abrupto y suave.

4Btx: 47-56 cm: (10YR 4,5/3) en húmedo, (10YR 6/4) en seco; arcilloso; estructura en prismas regulares simples a laminados (de 0,3 a 0,5m) moderado; extremadamente firme, se deslíe en agua; adhesivo; plástico; barnices arcillo- húmicos abundantes, sobre las caras de los agregados y especialmente sobre los agregados laminares; abundantes CO_3^{-2} en la masa con presencia de concreciones; moteados de Fe precisos, gruesos y moderados; escasas raíces; pH 8,9; límite abrupto y suave.

4BCx: 56-66 cm: (10YR 5/3) en húmedo, (10YR 6/4) en seco; franco arcilloso; estructura en prismas irregulares a laminar grueso; muy firme, se deslíe en agua; ligeramente adhesivo; ligeramente plástico; escasos CO_3^{2-} en la masa y concreciones más finas que en el horizonte superior; pH 8,9; límite y abrupto suave.

Caracterización física, físico-química y química de los suelos

Analizando la composición del extracto de saturación de los distintos suelos se puede establecer que en las Series La Providencia y Curapaligüe **Tabla 1** los sulfatos muestran el máximo de concentración en el horizonte por encima del pan cementado. En el fragipán la concentración de estos aniones, si bien muestran poca variabilidad, aumenta progresivamente hacia abajo sin alcanzar los valores extremos. Por otra parte, en el suelo Río Bamba **Tabla 1** la mayor concentración es en la parte superior del fragipán (2Bt_{nx}b1) disminuyendo progresivamente hacia abajo. Los cloruros aumentan su concentración por encima del fragipán en los suelos Curapaligüe y La Providencia y en la base del nivel cementado del suelo Río Bamba. Por debajo del fragipán el comportamiento de los cloruros es diferente en los tres suelos, lo que se corresponde con las diferencias en la posición en el relieve y en las características del agua subterránea. La Serie Curapaligüe, ubicada en las posiciones más deprimidas del paisaje, es la que más incremento presenta. Las concentraciones de carbonatos y bicarbonatos son aleatorias en este análisis debido a que el acuífero libre regional tiene las zonas de recarga muy lejanas (>300 km). El comportamiento de los cationes es muy irregular en todos los suelos, siendo el sodio el único catión que permite realizar alguna inferencia. En el suelo La Providencia se concentra en el 2Bt y 2Bt_{kx}, en la Serie Río Bamba en la parte superior del fragipán y en el suelo Curapaligüe los máximos valores se encuentran en los horizontes superiores y en la base del mismo. Esto último se debe a que el ambiente donde se desarrolla este suelo es el más deprimido, siendo receptor de la mayor parte del agua de escurrimiento de la región y por otra parte el agua subterránea tiene los máximos valores de salinidad.

Según lo investigado por varios autores para suelos con fragipanes de diferentes partes del mundo, estos presentan escasa materia orgánica; en los suelos de esta región dicha característica se confirma al obtener porcentajes de 0,25% en los fragipanes.

Caracterización mineralógica

Serie La Providencia

El vidrio volcánico tiene, a través del perfil, un comportamiento variado, siendo escaso en los primeros horizontes, hasta el 2Bt_{kx}; por debajo de este duplica las proporciones en los horizontes 2BC_{kx}1 y 2BC_{kx}2, para caer bruscamente en el 2Ck a un tercio del total de los horizontes inmediatos superiores. Esto indicaría una deposición diferenciada de los sedimentos o aportes temporales de materiales más ricos en vidrio volcánico.

El porcentaje de vidrios alterados aumenta en relación al total de vidrios de cada horizonte en los tres horizontes inferiores; al mismo tiempo estos son más ricos en vidrio volcánico; en los superiores, el vidrio coloreado aumenta en importancia, siendo de destacar que este tipo de vidrio es más importante en los sedimentos más modernos. El porcentaje de los vidrios alterados se incrementa con la profundidad al aumentar la proporción general de los vidrios, pero en relación a las demás fracciones de vidrio es mayor en los horizontes superiores, reflejando la mayor energía del medio que posee un contacto inmediato con la superficie.

Tabla 1: Datos analíticos de los suelos.

Table 1: Analytical data for the soils

Tabla 1. Datos analíticos		Serie La Providencia						Serie Río Bamba						Serie Curapaligüe					
	HORIZONTE	Ap	2Bt	2Btkx	2Bckx1	2Bckx2	2Ck	Ap	AC	C	2Bttx1b	2Bttx2b	2BC	Ap	2A2	3AC	4Btx	4Btkx	4BCx
	Profundidad, cm	0-15	15-24	24-43	43-57	57-68	68-prof	0-22	22-35	35-55	55-70	70-90	90-prof	0-13	13-22	22-33	33-47	47-56	56-66
	Materia Orgánica	2,4	0,8	0,4	0,3	0,3	0,4	2,2	1	0,6	0,3	0,3	0,3	4,2	1,3	0,6	0,3	0,3	0,2
	Carbono orgánico	1,4	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	1,3	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	2,4	0,8	0,3	0,2	0,2	0,1
	Arcilla < 2 µm - %	10,4	23	24,5	14,6	14	10,8	11,1	10,1	11,2	15,1	15	13,7	12,6	11,5	9,3	17,8	17	14
	Limo, 2-50 µm - %	20,1	16,9	30,8	44,8	42,3	33,8	28,6	24,9	23,4	24,1	18,7	18,6	29,2	21,2	29	28,7	24,3	25,1
	Arenas 50-2000 µm - %	69,5	60,1	44,7	40,6	43,7	55,4	60,3	65	65,4	60,8	66,3	67,7	58,2	57,3	61,7	53,5	58,7	60,9
	pH en agua, 1: 2,5	8	8,1	7,8	9	9,3	9,4	7,4	7,2	8,8	9,1	9,1	9,1	7,7	9	8,8	8,9	8,9	8,9
	Cationes de Intercambio, meq/100 gr																		
	Ca ²⁺	2,4	-	-	-	-	-	5,6	5,4	5,2	6,6	5,4	5	-	-	7,2	7,8	-	-
	Mg ²⁺	4,6	-	-	-	-	-	3,2	3,2	3	3	4	6,1	-	-	3,4	5,6	-	-
	Na ⁺	3,2	-	-	-	-	-	1,4	2,2	3,9	4,3	6,9	7,2	-	-	6,3	6,8	-	-
	K ⁺	1,4	-	-	-	-	-	1	1,3	1,6	2,3	2	2,5	-	-	3,7	4	-	-
	Suma de bases, meq/100 gr (S)	11,6	-	-	-	-	-	11,2	12,1	13,7	16,2	18,3	20,8	-	-	20,6	24,2	-	-
	ClC, meq/100 gr (T)	14,5	-	-	-	-	-	17,2	12,7	14	19	19,8	22,3	-	-	-	-	-	-
	Saturación con bases, % (S/T)	80	-	-	-	-	-	65	95	98	85	92	93	-	-	-	-	-	-
	Composicion extracto de saturación meq/l																		
	Ca ²⁺	2	3	3,5	1,5	2,5	4	1,5	2	1	1,5	2,5	1,5	7,5	6,5	4	3,5	2	6
	Mg ²⁺	9	9	9	5	8	9	3,5	5,5	3,5	4	9,5	3	7	10,5	12,5	2,5	4	11
	Na ⁺	13	23	23	16,4	16	14	3,6	5,6	9,2	15,4	8,2	21,2	24	24,4	13,6	16	31,8	37,8
	K ⁺	0,7	1,3	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,4	1
	CO ₃ ²⁻	0,2	0,2	0,5	0,2	-	-	0,1	0,1	0,1	0,2	0,7	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,4	0,2
	CO ₃ H ⁺	2,4	4,3	6,2	3,3	2,1	2	2	1,9	2	3,4	6,3	1,2	3,5	2,3	2,1	3,6	5,5	2,6
	Cl ⁻	11,5	19,3	18,2	15,5	18	18,3	3,5	4,7	5,1	7	9,4	6	10,4	12	14,7	8,2	8	25,3
	SO ₄ ²⁻	9	11,2	5,2	5,6	6,4	7	2	3,6	6,7	13,7	6,6	3	6,8	8,7	21,5	16,2	17,9	18,8
	Conductividad mmhos/cm	7,5	11,8	10,5	9	9,1	8,5	1,7	3,1	3,9	6	4,1	5,2	11,1	12,2	13	7,8	8,6	16,3
	RAS	4,8	9,6	9,2	16,4	7	5,6	-	-	-	-	-	-	8,9	8,4	4,7	9,2	18,4	11
	PSI	5,5	12,4	11	18,4	8,3	6,5	-	-	-	-	-	-	10,2	10	5,4	11	20,6	12,8

Los feldespatos alcalinos tienen su mayor porcentaje en peso en los horizontes superiores Ap, 2Bt y 2Btx para disminuir en los 2BCkx1 y 2BCkx2 e incrementarse levemente en el horizonte 2Ck. Existe una correlación entre el incremento de feldespatos alcalinos y la disminución del vidrio volcánico. Es anómalo que en los horizontes superiores se enriquezcan relativamente en estos feldespatos, ya que se considera que tenderían a disminuir.

El cuarzo es muy escaso en el perfil; los pocos individuos encontrados son redondeados y sin inclusiones.

Las alteritas poseen los mayores porcentajes en el Ap y en el 2Ck, marcando los dos pisos de disminución del vidrio volcánico e indicando un comportamiento algo anómalo.

Dentro de la fracción pesada, hornblenda, lamprobolita, piroxenos, alteritas y opacos se comportan de igual forma, desde la superficie disminuyen hacia el 2Bt y tienen un pequeño aumento en el 2Btx, para disminuir en 2BCkx1 y 2BCkx2 considerablemente y luego lentamente hasta el 2Ck donde encuentran el mínimo.

La muscovita y biotita, escasas en el perfil, se comportan de igual forma. En la tabla 2 se presentan los porcentajes en peso de la fracción liviana y pesada de la Serie la Providencia.

Del análisis de los datos estadísticos de los porcentajes minerales, surge la posibilidad evidente de la existencia de una discontinuidad mineralógica, entre los horizontes 2BCkx1 y 2BCkx2 y los inmediatos superiores. Esto surge de la caída abrupta de los feldespatos a partir del BC y hacia abajo, junto a un aumento similar de los vidrios volcánicos en la misma dirección y en especial de los vidrios coloreados que caracterizan a materiales más básicos, mientras que los feldespatos representan a materiales más ácidos; todo esto indicaría la presencia de dos materiales sedimentológicamente diferentes.

Estas conclusiones se reafirman en el comportamiento de los minerales pesados, que marcan una evidente discontinuidad entre los materiales por debajo del 2Btx y desde este hasta la superficie, al sufrir disminuciones evidentes en los horizontes inferiores

Serie Rio Bamba

El vidrio muestra un comportamiento irregular en todo el perfil, con aumentos y disminuciones alternadas y sucesivas en cada uno de los horizontes. La fracción coloreada se muestra escasa desapareciendo en el horizonte 2Btx1b solamente, correspondiendo con la mayor cantidad de vidrio incoloro. Por su parte, el vidrio alterado se comporta regularmente y en forma normal en todo el perfil.

Los feldespatos alcalinos, al igual que el vidrio incoloro, muestra una variación a lo largo del perfil, con altibajos sucesivos, y mínimos en los horizontes BC.

Las plagioclasas, también de comportamiento oscilante, aumentan y disminuyen sucesivamente desde el Ap al 2BC (inversamente al vidrio incoloro). El cuarzo se mostró escaso y de comportamiento errático en todo el perfil.

Los fragmentos líticos disminuyen regularmente desde la superficie en profundidad, con pequeñas variaciones a lo largo del perfil.

Hornblenda y piroxenos muestran un aumento regular desde la superficie y hasta el horizonte 2Btx1b; y a partir del 2Btx2b disminuyen sensiblemente en profundidad.

Lamprobolita, mineral de origen volcánico, aumenta su presencia lentamente hasta el horizonte 2BC. Las alteritas, aunque su porcentaje es menor que el de las demás fracciones minerales, se comportan de igual manera que los tres anteriores.

Los opacos poseen una marcha también con altibajos en todo el perfil, como en los feldespatos plagioclasas, pero la tendencia es a disminuir en profundidad. Tanto la moscovita como la biotita, no se encontraron en el conteo realizado en este perfil. En la **Tabla 2** se presentan los porcentajes en peso de la fracción liviana y pesada de la Serie Rio Bamba.

El comportamiento de las diferentes fracciones minerales a través del perfil muestra una marcada diferenciación por sedimentación, típico de un material joven de escasa evolución pedológica. Esto se evidencia en las oscilaciones sucesivas a lo largo del perfil para los principales minerales de ambas fracciones (vidrio incoloro, feldespatos, hornblendas y piroxenos).

El análisis difractométrico permitió determinar las especies de arcillas y un valor aproximado de la cantidad por métodos semicuantitativos. Los análisis de los difractogramas de Rayos X para las muestras extraídas de los tres perfiles, muestran la presencia de la illita como arcilla principal, y asociada a ésta el cuarzo y el feldespato. Esto indicaría que en los perfiles estudiados estamos en presencia de materiales de escasa evolución mineralógica.

Serie Curapaligüe

El estudio mineralógico sirvió para comprobar lo interpretado a campo en un primer momento, como un perfil de suelo poligenético, evidenciado al microscopio por el comportamiento errático en la distribución de los minerales más importantes a lo largo del perfil, lo que indicaría la presencia de capas de materiales de diferente composición mineral.

Vidrio volcánico: En los primeros tres horizontes este mineral posee los máximos porcentajes en peso, cayendo abruptamente en los Btx.

Feldespato alcalino: El porcentaje en peso de esta fracción mineral se muestra estable a lo largo del perfil y es una de las más abundantes.

Plagioclasa: En los primeros tres horizontes se encuentra en mayor cantidad que en los Btx, pero de todos modos es escasa en todo el perfil.

Cuarzo: Es una de las fracciones más escasas y de comportamiento variable, sólo se la encuentra en los horizontes Ap y 3AC.

Fragmentos líticos: Disminuyen desde la superficie hasta el 4Btx donde alcanza el máximo el perfil disminuyendo nuevamente en el 4Btkx.

Dentro de la fracción liviana, las alteritas son las más abundantes de este suelo comportándose en forma estable a lo largo del perfil.

Hornblenda posee una marcha creciente a lo largo del perfil y desde la superficie con un máximo en el 4Btkx. Lamprobolita es escasa y permanece invariable en los tres primeros horizontes, en los Btx aumenta levemente y posee el mismo porcentaje para ambos.


Piroxenos son uno de los minerales más estables del suelo, en este caso son poco abundantes con máximos en los Btx que duplican a los valores obtenidos para los horizontes superiores, lo que evidencia su característica de poco alterable.

Tabla 2: Mineralogía de los suelos.

Table 2: Mineralogy of soils.



Tabla 2. Tabla de Porcentaje en peso.																	
HORIZONTE	Serie La Providencia						Serie Río Bamba						Serie Cuarapalligüe				
	Ap	2Bt	2Btkx	2BCKx1	2BCKx2	2Ck	Ap	AC	C	2Bttx1b	2Bttx2b	2BC	Ap	2A2	3AC	4Btx	4Btkx
Vidrio incoloro	6,36	10,67	10,26	23,82	22,85	17,57	4,96	18,84	14,02	21,69	12,02	18,31	11,09	14,8	11,73	2,12	8,86
Vidrio coloreado	0,47	0,76	1,8	0	0	0,59	0,86	0,85	1,06	0	1,66	0,59	1,94	0	0,76	0	0,95
Vidrio alterado	1,88	3,36	3,6	9,76	9,77	5,66	4,69	3,72	2,96	2,94	2,46	5,02	0,83	1,78	0,76	0,26	1,5
Feldespató alcalino	18,17	25,51	18,96	12,64	13,34	14,1	25,87	26,22	16,32	20,94	26,77	15,94	26,24	30	29,67	28,38	32,39
Plagioclasa	4,26	4,42	4,07	4,22	4,24	1,01	3,64	2,59	3,65	2,11	7,02	3	3,14	2,67	3,16	1,5	2,15
Cuarzo	1,27	0,26	0	0,62	0,66	0,64	0,32	0	0,56	0	0	0,32	1,49	0	0,27	0	0
Fragmentos líticos	9,42	10,69	8,99	8,61	8,96	13,1	7,03	4,3	3,77	7,23	11,19	9,16	10,81	8,29	5,02	14,88	6,96
Alteritas	46,55	33,01	34,61	30,92	31,44	43,76	44,4	34,76	46,89	35,76	32,58	44,06	41,68	37,55	39,66	47,41	41,18
Hornblenda	2,15	1,79	3,76	1,37	1,36	1,1	0,82	0,9	1,51	2,96	0,93	0,62	0,11	1,15	1,41	1,28	2,08
Lamprabolita	0,29	0,15	0,74	0,14	0,14	0,12	0,09	0,1	0,12	0,16	0,16	0,07	0,1	1,11	0,1	0,17	0,17
Piroxeno	1,74	1,4	3,24	1,25	1,25	0,92	0,57	0,84	1,66	1,7	0,84	0,74	0,48	0,72	0,45	0,88	1,3
Alteritas	0,81	1	2,06	0,69	0,69	0,34	0,3	1,04	1,34	1,62	0,52	0,52	0,48	0,68	0,35	0,57	0,76
Opacos	6,25	6,74	6,92	5,12	5,12	1,02	5,66	4,2	4,27	2,7	3,5	1,45	1,4	2,06	2,38	2,47	1,49
Muscovita	0,21	0,13	0,35	0,11	0,11	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biotita	0,03	0	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Otros	0,15	0,06	0,49	0,06	0,06	0,03	0,06	0,03	0	0,17	0,06	0,06	0,23	0,18	0,08	0,09	0,15



En las alteritas de la fracción pesada se vuelve a evidenciar el comportamiento errático de la mayoría de las fracciones con máximos en el 2A2 y en el 4Btkx. Opacos: También escasos tienen un máximo en el 4Btx.

En la **Tabla 2**  ^{*1} se presentan los porcentajes en peso de la fracción liviana y pesada de la Serie Curapaligüe.

El estudio mineralógico sirvió para comprobar lo interpretado a campo en un primer momento, como un perfil de suelo poligenético, evidenciado al microscopio por el comportamiento errático en la distribución de los minerales más importantes a lo largo del perfil, lo que indicaría que se está en presencia de capas de materiales de diferente composición mineral.

Caracterización micromorfológica de los suelos

En la Serie La Providencia el fragipán incluye los horizontes 2Btkx, 2BCkx1 y 2BCkx2. Micromorfológicamente, el primer horizonte presenta agregados del tipo laminar grueso, fuertemente desarrollados. La microestructura es masiva. Los vacíos están constituidos por fisuras de 1 a 2 mm, horizontales y subhorizontales **Figura 3A** y **B** , abundantes, con orientación moderada y distribución paralela, escasas, horizontales y subhorizontales de menos de 0,5 mm, distribuidas al azar: además se observan cavidades y canales, estos últimos ocupados por raíces. Los horizontes 2BCkx1 y 2BCkx2 presentan similares características al horizonte superior, a excepción del menor desarrollo de los agregados. La masa basal del nivel de fragipanes es arcillo-limosa fina, con una birrefringencia granoestriada y poroestriada y en parte moteada aislada **Figura 3B** . La distribución relacionada c/f es porfírica.

Los rasgos pedológicos más importantes son los revestimientos de arcillas y óxidos de hierro **Figura 3A** y **B**  muy abundantes en el 2Btkx y abundantes en 2BCkx1 y 2BCkx2, de color pardo rojizo, límpido, no laminados, distribuidos alrededor de los componentes gruesos, poros y fisuras **Figura 3C** y **D** . En estos últimos el gran desarrollo de los revestimientos provoca en la mayoría de los casos una obliteración.

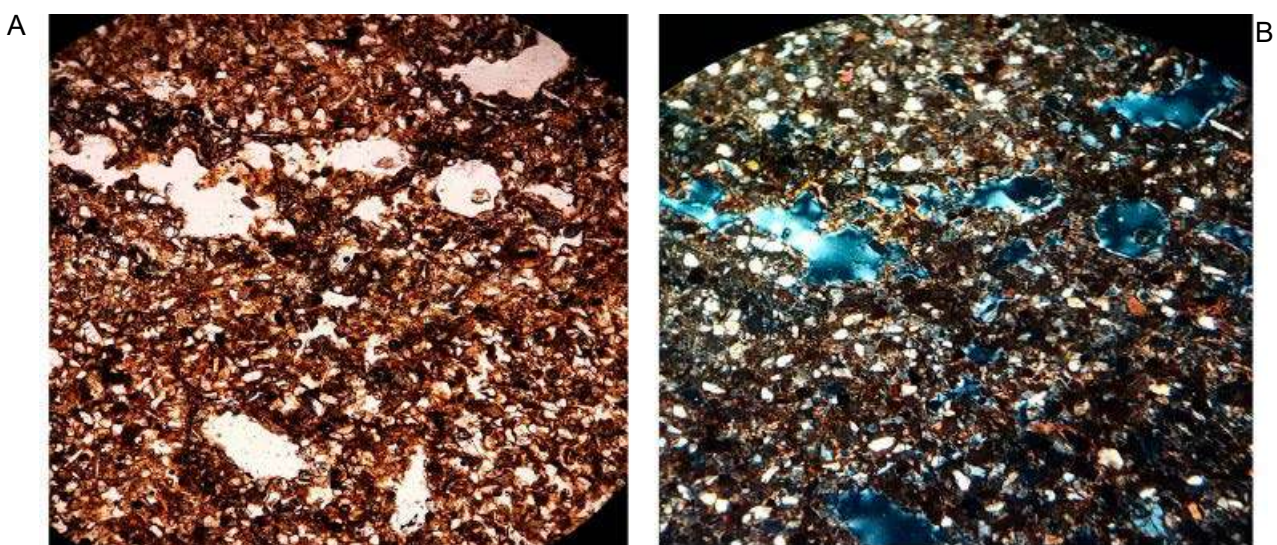


Figura 3: Serie La Providencia. **A:** 2Btkx cámaras y poros con revestimientos de arcilla y óxidos de hierro, luz transmitida, 4x. **B:** 2Btkx cámaras y poros con revestimientos de arcilla y óxidos de hierro, luz polarizada, 4x.
Figure 3: La Providencia Series. **A:** 2Btkx chambers and voids with clay and iron oxide coatings. Parallel light 4x.
B: 2Btkx chambers and voids with clay and iron oxide coatings. Polarized light 4x.

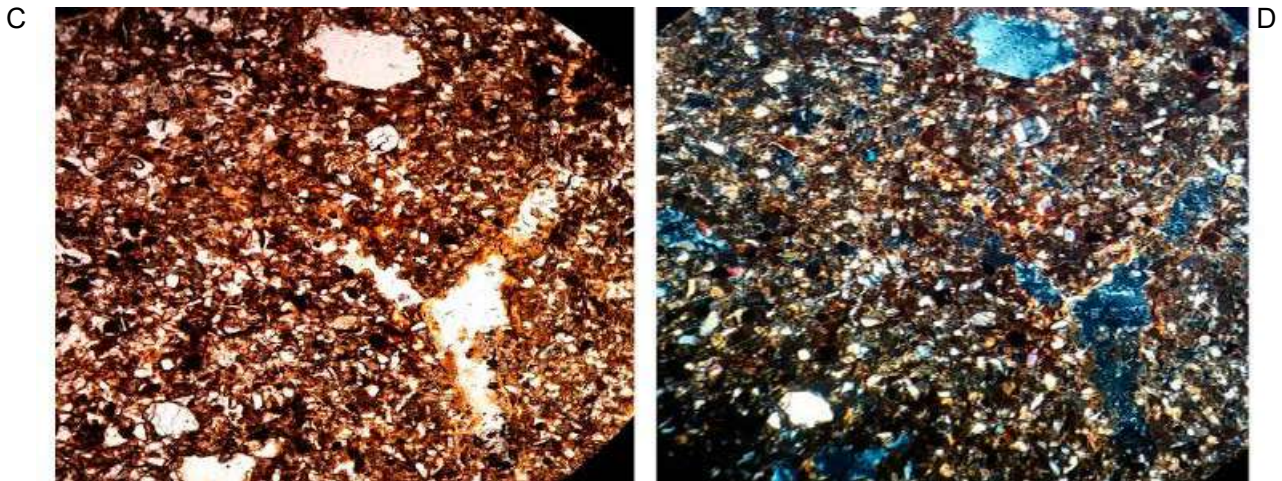


Figura 3C: 2BCkx1 Fragipanes, luz transmitida, 4x. **D:** 2BCkx1 Fragipanes, luz polarizada, 4x.
Figure 3C: 2BCkx1 Fragipans, Parallel light, 4x. **D:** 2BCkx1 Fragipans Polarized light, 4x.

Además, se observan escasos revestimientos de arcilla-hierro-manganeso de color pardo oscuro, en fisuras y poros pequeños recubriendo a los de arcilla y hierro **Figura 3** y **4**. Los nódulos de hierro son muy abundantes, especialmente en el horizonte 2Btkx, en forma de concentraciones irregulares de bordes difusos, color pardo rojizo a pardo oscuro, distribuidas al azar y sin orientación. Los nódulos de carbonato son abundantes y se encuentran en el 2Btkx y 2BCkx1, el color es pardo grisáceo claro de un diámetro máximo de 10 mm, forman agregados individuales ubicados en fisuras o interceptando agregados, principalmente en el 2BCkx1.

El nivel de fragipanes de la Serie Río Bamba está constituido por el 2Bt_{nx}1b y 2Bt_{nx}2b que presentan agregados laminares gruesos, moderadamente desarrollados **Figura 4**. La microestructura es masiva. La porosidad es similar a la observada en el 2Btkx del suelo La Providencia, pero las fisuras son de aproximadamente 1 mm, principalmente en el horizonte 2Bt_{nx}2b **Figura 4**.

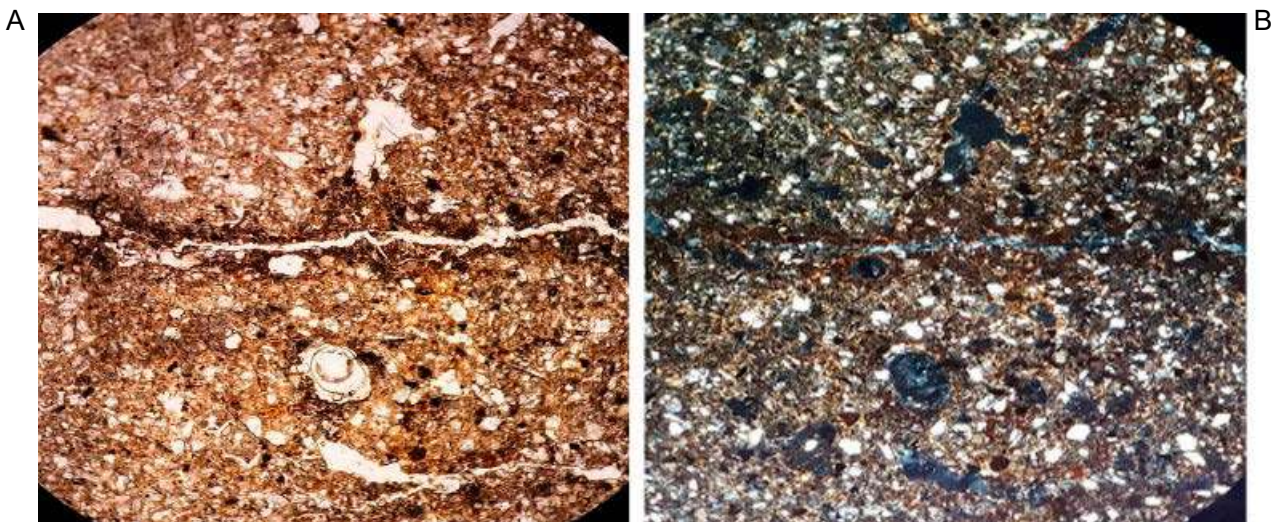


Figura 4: Serie Río Bamba. **A:** 2Bt_{nx}1b fisura horizontal con revestimientos de arcilla y óxidos de hierro y revestimientos de arcilla y óxidos de manganeso en la micromasa y en los espacios porosos, luz transmitida 4x.
B: 2Bt_{nx}1b fisura horizontal con revestimientos de arcilla y óxidos de hierro y revestimientos de arcilla y óxidos de manganeso en la micromasa y en los espacios porosos, luz polarizada 4x.
Figure 4: Río Bamba Series. **A:** 2Bt_{nx}1b horizontal plane with clay and iron oxide and clay and manganese oxide coatings, in micromass and voids Parallel light 4x. **B:** 2Bt_{nx}1b horizontal plane with clay and iron oxides and clay and manganese oxide coatings, in micromass and voids, Polarized light 4x.

La masa basal es limosa fina-arcillosa de color pardo a pardo rojizo, en parte orientada con birrefringencia estriada cruzada, poroestriada y granoestriada **Figura 4** ☉. Los revestimientos texturales presentan las mismas características que el nivel de fragipanes del suelo La Providencia, observándose en el horizonte 2Btx2b poros pequeños totalmente rellenos por los revestimientos. Los nódulos de hierro se distribuyen en todo el nivel del fragipán, siendo más abundantes en el 2Btx2b, y con las características similares a las descriptas en el perfil anterior.

El perfil de la Serie Curapaligüe presenta un nivel de fragipán cuyas características micromorfológicas son similares a las observadas en los perfiles anteriores, a diferencia de los revestimientos texturales que son muy abundantes en el 4Btx **Figura 5A-B y C** ☉ y disminuyen hacia la base del fragipán **Figura 5D** ☉. Estos niveles presentan una alta densidad de empaquetamiento con respecto a los panes cementados de los perfiles descriptos anteriormente.

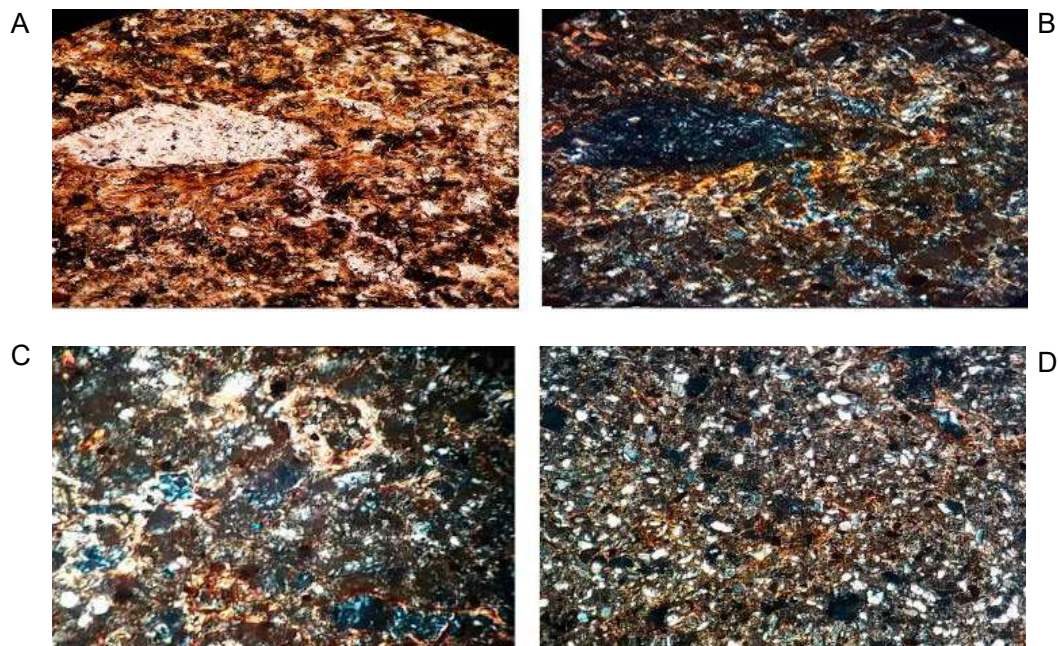


Figura 5: Serie Curapaligüe. **A:** 4Btx revestimientos de arcillas y óxidos de hierro. Luz transmitida 10x.

B: 4Btx revestimientos de arcillas y óxidos de hierro, contextura de birrefringencia poroestriada y granoestriada, luz polarizada 10x. **C:** 4Btx revestimientos de arcillas y óxidos de hierro, obliteración de espacios porosos. luz polarizada 10x. **D:** 4Btx revestimientos de arcilla y óxidos de hierro. Luz polarizada 4x.

Figure 5: Curapaligüe Series. **A:** 4Btx clay and iron oxides coatings. Parallel light 10x. **B:** 4Btx clay and iron oxide coatings, poroestriated (b-fabric) and granoestriated (b-fabric). Polarized light 10x. **C:** 4Btx clay and iron oxide coatings, clay coatings infilling voids. Polarized light 10x. **D:** 4Btx clay and iron oxide coatings. Polarized light 4x.

■ ASPECTOS TAXONÓMICOS

Los suelos de esta región en general se identifican por una textura franca y franca arenosa, bajo contenido de materia orgánica asociado a una densidad de empaquetamiento más alta en los fragipanes que en los horizontes superiores. Las series La Providencia y Río Bamba por su posición en el relieve tienen un periodo de oxidación más largo, lo que permite que los fragipanes posean abundantes concreciones de hierro, mientras que en la Serie Curapaligüe solo aparecen moteados. Las series Río Bamba y Curapaligüe no presentan una secuencia genética continua en el perfil, en ambas el material por encima del fragipán se diferencia en composición y ausencia de organización, generando un límite neto.

Taxonómicamente los suelos representativos de la Serie La Providencia corresponden a Fragi-
cualf típico, limoso fino, illítico, térmico. Los suelos de la Serie Río Bamba pertenecen a Epiacuol tapto-
nátrico, limoso grueso, illítico, térmico, mientras que los suelos representativos de la Serie Curapaligüe
pertenecen a Endoacuol tapto- nátrico, limoso grueso, illítico, térmico.

■ DISCUSIÓN

Los fragipanes se identifican morfológicamente por la estructura en prismas y bloques aplanados y en láminas, como así también por su consistencia muy firme a extremadamente firme en húmedo. En el caso de los horizontes argílicos con características de fragipán, el primer nivel de estructura corresponde a prismas, mientras que el segundo son láminas. El grado de desarrollo de la estructura está estrechamente vinculado al contenido de arcilla, especialmente la illita (Knox, 1957) y a la cantidad de hierro en formas de moteados, concreciones y dispersos en la masa.

La consistencia en húmedo es muy firme a extremadamente firme. Los suelos La Providencia y Río Bamba, debido a su posición en el relieve, tienen un período de oxidación más largo al bajar el nivel freático en forma estacional, lo que permite que penetre el oxígeno en los fragipanes y oxide al Fe^{2+} , generando abundantes concreciones de hierro. En cambio, los pertenecientes a la serie Curapaligüe, que se encuentra en una depresión, tienen un mayor tiempo de saturación, tanto por aportes de aguas superficiales como subterráneas, encontrándose solo moteados que representan el estado del hierro como Fe^{3+} .

Los carbonatos del suelo La Providencia se organizan principalmente en forma de concreciones de gran tamaño (muñecas) verticales y subverticales que intersectan la estructura laminar del fragipán, y en algunos tramos se acomoda a la misma, formando agregados perfectamente identificables y separados del resto de las estructuras del fragipán.

La mineralogía es un factor importante, tanto en la determinación de los fragipanes como en el establecimiento de las discontinuidades, especialmente a través de la fracción arena muy fina de los diferentes suelos. En los tres perfiles indica que hay diferencias mineralógicas tanto por los cambios de sedimentación como por su naturaleza, estableciéndose en los tres casos saltos mineralógicos en las fracciones más importantes, vidrio volcánico y feldespatos, a la altura de los fragipanes. En las Series Río Bamba y Curapaligüe, esta variación determina verdaderas discontinuidades mientras que en la Serie (t) La Providencia no se observa. A pesar de ello, la similitud de las asociaciones minerales de las distintas series, determinan un origen común de los materiales, casi exclusivamente eólicos, que han sufrido retransporte tanto eólico como hídrico, encontrándose variaciones solamente en las proporciones en que cada mineral está representado en cada suelo.

Con respecto a las arcillas, se han encontrado picos importantes de illita en los tres suelos al nivel de los Bt y de los fragipanes, corroborando lo determinado por distintos autores para los fragipanes de los EE.UU. (Yassoglou & Whiteside, 1960; Ranney *et al.*, 1975), aunque en este caso sería el principal constituyente de esta fracción, no encontrándose interestratificados, pero si picos para feldespatos y cuarzo, este último más débil, acompañando a la fracción arcilla.

La principal evidencia micromorfológica de la presencia de fragipanes es la existencia de fisuras subparalelas y paralelas a la horizontal, principalmente en los Btx. Asociado a este rasgo, se observan revestimientos de arcilla y óxidos de hierro muy abundantes y en mucho menor cantidad revestimientos de arcilla y óxidos de hierro y manganeso, estos últimos por posición relativa y cantidad se pueden considerar como los revestimientos más nuevos: mientras que en los agregados encontramos revestimientos de arcilla y óxidos de hierro y en algunos poros revestimientos de arcilla y óxidos de hierro y manganeso.

La masa basal de los Bt, de composición limo-arcillosa y arcillo-limosa, presenta una alta organización, presentando una contextura de birrefringencia poroestriada, granoestriada y cruzada. Los responsables de la fragilidad son los revestimientos de arcilla y óxidos de hierro, arcillas en general no orientadas y óxidos férricos que unen las partículas del esqueleto. Su exclusividad en la composición del plasma relleno de todos los espacios de empaquetamiento, es indicadora de una fuerte cementación (Horn & Rutledge, 1965). El óxido de hierro además se presenta en la matriz del suelo, como concentraciones plasmáticas de bordes difusos de color pardo rojizo oscuro, lo que indica una reorganización in situ del hierro.

En la serie La Providencia las glébulas de carbonatos amorfos, presentes en los 2BCkx, se consideran posteriores a la formación del fragipán; esto se evidencia micromorfológicamente por la forma de presentarse, entre las fisuras, como agregados individuales. En este suelo los rasgos que presenta el Bt por encima del fragipán: organización del esqueleto, ausencia de vacíos de empaquetamiento, presencia de revestimientos de arcilla y óxidos de hierro y glébulas de óxido de hierro, establecen una clara asociación genética en la secuencia de horizontes. Esto coincide con los rasgos macromorfológicos observados, ya que el horizonte Bt no tiene un grado de consistencia tan alto, pero si muestra una tendencia laminar en su base.

La presencia de los fragipanes en Molisoles no tiene antecedentes en la literatura que se dispone; por el contrario, son los Alfisoles los que se caracterizan por presentar habitualmente niveles con fragipanes y muy comúnmente discontinuidades asociadas a ellos. Estos Molisoles presentan un perfil compuesto, determinado por la deposición de materiales resultantes del retransporte eólico (Serie Río Bamba) o hídrico (Serie Curapaligüe) sobre los fragipanes que se consideran relictos de un suelo anterior. Esto surge tanto de las descripciones macro y micromorfológicas como del análisis de la mineralogía. Las condiciones actuales: clima templado subhúmedo, relieve deprimido con el agua freática salino-alcalina interesando el perfil del suelo y aportando bases, y la presencia de una vegetación de pradera, determinan que los materiales modernos que cubren al fragipán tengan una evolución dentro de los Molisoles.

La formación de los fragipanes tuvo lugar a través de un proceso de alfisolización bajo otras condiciones climáticas, en un medio más ácido que permitiera la migración conjunta del hierro y las arcillas, en donde el suelo no estaría afectado por un acuífero libre salino-alcalino y probablemente con otro tipo de vegetación. Posteriormente estos suelos fueron erosionados hasta el nivel de los fragipanes y luego cubiertos por el material antes mencionado. En ambos la cobertura por encima del fragipán, tiene un plasma que se diferencia de este por su composición y ausencia de organización, generando un límite neto. Esto coincide con lo observado en el campo y lo determinado por la mineralogía.

En relación a la dinámica del agua y las sales, se puede establecer que la presencia de los fragipanes genera una discontinuidad hidráulica que desconecta parcialmente el agua de infiltración de la

freática. En los suelos La Providencia y Río Bamba se observan moteados abundantes y comunes en el horizonte por encima del fragipán, lo que indica la formación de una capa colgada temporal, identificada también a campo. Por otra parte, analizando las sales solubles se observa que los contenidos de sulfatos presentan variaciones vinculadas a la presencia del pan. En las series La Providencia y Curapaligüe, los valores más altos se observan en el horizonte por encima del fragipán. Esta relación se mantiene aún con respecto al horizonte que presenta el nivel freático. En la serie Río Bamba la zona de concentración es el primer fragipán, esto responde a la relativa homogeneidad granulométrica y a que el segundo fragipán posee una mayor organización plasmática. Los cloruros por ser más móviles, muestran menores evidencias de control por la discontinuidad.

A fines de otoño y comienzos del invierno, el ascenso regional del nivel freático determina la saturación del perfil hasta los fragipanes. A partir de este momento y hasta el comienzo de las precipitaciones de primavera, se produce el ascenso capilar con la formación de costras salinas en superficie y eflorescencias en el perfil no saturado. El nivel freático paralelamente desciende a su posición original. Con las primeras lluvias se produce el lavado de las sales y al formarse una capa colgada por la presencia de los panes, estas se concentran y precipitan.

De acuerdo con Grossman & Carlisle (1969), los fragipanes son el resultado de un hidromorfismo ácido vinculado a las formas de movilización del Fe liberado por los procesos de meteorización. En el periodo de oxidación el Fe^{3+} forma complejos con las arcillas (revestimientos de arcilla y óxidos de hierro) o precipita como óxidos libres. El actual medio alcalino es posterior a la generación del fragipán, no existiendo evidencias de degradación debido a esta nueva condición (no se observan rasgos de corrosión en los revestimientos de arcilla y óxidos de hierro).

■ CONCLUSIONES

Los panes cementados que se encuentran en la región estudiada son fragipanes; el principal agente cementante es el óxido de hierro y la responsable de la estructura quebradiza la arcilla del tipo illita. Los fragipanes se caracterizan por evidencias macromorfológicas tales como la estructura laminar o en bloques aplanados; la consistencia en húmedo, de muy firme a extremadamente firme, y la distribución de concreciones y moteados de hierro. Las evidencias micromorfológicas de estos fragipanes serían, las fisuras paralelas y subparalelas a la horizontal y la alta densidad de empaquetamiento provocada por la fuerte cementación en la matriz por las concentraciones de óxidos de hierro y rasgos texturales (revestimientos de arcilla-hierro y manganeso). La estructura laminar estaría vinculada a la estructura sedimentaria de los materiales aluviales franco arenosos, de acuerdo a Grossman & Carlisle (1969) y Miller *et al.* (1971), y a un proceso cíclico de saturación-desaturación que habría provocado una reorganización de los granos y un mayor empaquetamiento, conservando dentro de los peds la laminación original. La dinámica del Fe asociado a las arcillas illíticas (Knox, 1957) y al Mn, otorgarían la fuerte cementación de los panes y serían el producto de un hidromorfismo ácido, tal como se postulara en Schiavo *et al.* (1995) para los fragipanes de la depresión de Curapaligüe, en una llanura aluvial de gran magnitud bajo condiciones de clima más cálido y húmedo que el actual cuya estructura está condicionada por la estructura sedimentaria original.

Los fragipanes no han determinado un tipo específico de vegetación en la superficie; ésta se encuentra en equilibrio con la condición actual del suelo superior salino, y en menor grado alcalino.

En la cuenca media de todos los arroyos al Sur del río Cuarto se observa la presencia de materiales aluviales con fragipanes del Pleistoceno medio. Hacia la cuenca baja estos niveles de fragipan aparecen cubiertos por los sedimentos eólicos del Pleistoceno superior y Pleistoceno superior tardío y en la depresión cubiertos por los sedimentos del Pleistoceno superior tardío-Holoceno o por los médanos actuales. Estos materiales formarían parte de una misma llanura aluvial del Pleistoceno medio, constituyendo una antigua superficie de erosión.

Los panes más desarrollados se encuentran relacionados a las partes más bajas del relieve, cuyo drenaje está más impedido. Estos son un impedimento, aunque no total, para la conexión de la capa freática y una capa colgada por encima de este. Existe una relación directa entre la presencia del pan y la evolución salino-alcalina del suelo, determinado variaciones en las sales solubles, a veces muy importantes, en donde estos se hallan presentes.

Los fragipanes se desarrollaron en un periodo de tiempo en el cual no existía una vinculación entre el acuífero libre alcalino y el perfil del suelo. Por el contrario, los fragipanes establecen un control sobre la dinámica de las sales y aguas de los suelos actuales.

Es importante establecer que los fragipanes interfieren regionalmente en la dinámica del agua y las sales cuando se encuentran cercanos a la superficie interesando a los suelos actuales (Becker *et al.*, 1998). En las áreas deprimidas actuales del SE de la provincia de Córdoba la presencia de los fragipanes, a escasa profundidad y varios niveles a distintas profundidades, junto con el clima y el relieve son la causa de las grandes inundaciones periódicas y del largo período de permanencia del agua en superficie. Por otra parte, en las áreas de llanura pedemontana estos fragipanes se presentan como niveles de base temporarios de los principales arroyos frenando el proceso de erosión retrocederte.

■ BIBLIOGRAFÍA

- Becker, A., M.P. Cantú y H. Schiavo. 1998. Alteración de la Dinámica del agua y sales por la presencia de Fragipanes. Evidencias Micromorfológicas. Proceedings 16 Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo, Francia. CD Symposium 30. 7 pág.
- Besoain 1985 Mineralogía de arcillas de suelos. Ed. Bib. Orton IICA/CATIE, 1205 páginas.
- Bullock, P. et al. 1985. Handbook for soil thin section description. Waine Research Publications.
- Buntley, G.J.; RB Daniels; EE Gamble & WT Brown. 1977. Fragipan horizons in soils of Memphis-Loring-Gre-nada sequence in West Tennessee. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 400-407.
- Cantú, MP & SB Degiovanni. 1984. Geomorfología de la región Centro-Sur de la provincia de Córdoba. IX Cong. Geol. Arg. Actas IV: 76-92.
- Cantu, M.P.; A.R. Becker, y H.F. Schiavo, 2006. Génesis y relaciones paleoambientales de los suelos con fragipanes del Sur de la provincia de Córdoba. XX Cong. Arg. Ciencia del Suelo. CD 5 páginas. (I.S.B.N.:987-21419-5-9).
- Carlisle, F.J; EG Knox & RB Grossman. 1957. Fragipan horizons in New York soils: General characteristics and distribution. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 21: 320-321.
- Daniels, RB; WD Nettleton; RJ Mc. Craken & EE Gamble. 1966. Morphology of soils with fragipans in parts of Wilson County, N.C., USA. *Soil Soc. Amer. Proc.* 30: 376-380.

- Degiovanni, SB; M Cantú; M Balrasin & A Becker. 1991. Dinámica del paisaje del área mal drenada comprendida entre Gral. Levalle y Laboulaye, Córdoba, Rep. Argentina. Presentado al Segundo Simposio Argentino de Teledetección. Paraná, Entre Ríos. Octubre de 1991.
- Dress, LR. & LP Wilding. 1987. Micromorphic record and interpretations of carbonate forms in the rolling plains of Texas. *Geoderma* 40: 157-175.
- FitzPatrick, EA. 1956. An indurated soil horizon formed by permafrost. *J. Soil Sci.*, 7: 248-254.
- Grossman, RB & MG Cline. 1957. Fragipan horizons in New York soils. 2: Relationships between rigidity and particle size distribution. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 21: 323-325.
- Grossman, RB & FJ Carlisle. 1969. Fragipans soils of the eastern USA. *Advances in Agronomy*, 21: 237-279.
- Grossman, RB y J.B. Ferenbacher 1971. Distribution of moved clay in four loess derived soils that occur in southern Illinois. *Soil Sci. Am. Proc.* 35:948-951.
- Grumelli, M. 2010. Génesis y relaciones paleoclimáticas de los suelos de la colonia Nueva Sampacho, Rio Cuarto, Córdoba, Argentina. Un aporte al estudio del cambio climático global. Tesis Doctoral. Trabajo inédito. UNRC. 198 pp.
- Horn, ME & EM Rutledge. 1965. The Dickson and Zanesville soils of Washington county, Arkansas: II. Micromorphology of their fragipans:SSSAJ Vol. 29 No. 4:443-448
- Jackson, ML. 1970. Análisis químicos de suelos. Ed. Omega.
- Imbellone, PA & JE Giménez. 1998. Parent materials, buried soils and fragipans in northwestern Buenos Aires province, Argentina. *Quat. Int.* 51/52:115-126.
- Imbellone, PA; JE Giménez & A Cumba. 2005. Suelos con fragipán de la Pampa Arenosa. Actas XVI Cong. Geol. Arg. CD 10 pp.
- Knox, EG. 1957. Fragipan horizons in New York soils: III. The basis of rigidity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 21:236-330.
- Langhor & Pajares .1981. The chronosequence of pedogenetic processes in fraglossudalf of the Belgian loess belt. - Soil micromorphology. Proceeding VI ; Int. working Meeting on soil Micromorphology, London, p. 503-510.
- Miller, FP; LP Wilding & N Holowaychuck. 1971. Canfield silt loam, a Fragiudalf: II. Micromorphology, physical and chemical properties. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 35, 324-330.
- Personal del Laboratorio de Salinidad. 1982. Suelos Salinos y Sódicos: Richards L.A. Ed. Traducción Castellana Ed. Limusa, México.
- Ranney, RW; EJ Ciolkosz; RI Cunningham & GW Petersen. 1975. Fragipans in Pennsylvania soils: properties of bleached prism face materials. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 39: 695-698.
- Rudeforth, CC. 1976. Soil features associated with former periglacial conditions in west and central Wales. *Proc. North of England Soil Disc. Gp.*
- Schiavo, HF; A Becker & MP Cantú. 1995. Caracterización y génesis de los fragipanes de la depresión de Curapaligüe, Dto. Sáenz Peña, Córdoba, Argentina. *Ciencia del Suelo* 13:28-34.
- Schiavo H.F., A. Becker, M. Grumelli & Cantu M. 2014. Suelos con acumulaciones calcáreas y yesíferas de Argentina; capítulo 1: Calcretas del Suroeste de Córdoba. 22pp. ed: Perla Imbellone
- Sobecki, TM & LP Wilding. 1983. Formation of calcic and argillic horizons in selected soils of the Texas Coast Prairie. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 707-715.
- Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. U.S.D.A. Handbook 18. Washington D.C.
- Stoops, G. 2003. Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections. Soil Science of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 174 pp.
- Yassoglou, NJ & EP Whitside. 1960. Morphology and genesis of some soils containing fragipans in northern Michigan. *Soil Sci. Soc. Proc.* 24: 396-407.