



## **“VARIABILIDAD ESPACIAL EDÁFICA EN UN ÁREA REPRESENTATIVA DEL CALDENAL PAMPEANO”**



Trabajo de Intensificación para optar por el título de grado de la carrera de  
Ingeniería Agronómica

Alumna: María Emilia Schulz

Docente tutor: Dr. Maximiliano Garay Schiebelbein

Docentes consejeros: Ing. Agr. (Mg.) Erica Susana Schmidt

Dr. Pablo Zalba

Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur

Mayo 2023

## Resumen

El Caldenal Pampeano es una región rica en pastizales naturales y una importante zona de producción bovina a pasto, donde la productividad del sistema es altamente dependiente del tipo y cantidad de vegetación. Sin embargo, es un ecosistema frágil, que presenta un alto grado de heterogeneidad edáfica con una importante influencia en la productividad vegetal, y por lo tanto animal. Conocer los suelos de esta zona es fundamental para proveer bases sólidas que permitan definir manejos eficientes y sustentables.

Para la realización de este trabajo se seleccionó un área modelo de una hectárea en una geoforma estable, de relieve plano y bajo una cubierta vegetal homogénea, dentro de dicho ambiente. Nuestro objetivo fue caracterizar la variabilidad edáfica a nivel de ultradetalle y representarla a través de mapas de propiedades edáficas a fin de dilucidar cómo se relaciona la distribución espacial de suelos con parámetros simples de fácil determinación. La información generada permitirá caracterizar la cobertura pedológica en nuevas áreas con un mínimo esfuerzo analítico.

Un muestreo en grilla de 20 puntos y la apertura de dos calicatas en el área modelo de 1 ha permitió corroborar la existencia de al menos dos suelos de diferentes materiales parentales y tiempo de evolución, pudiendo aún existir variabilidad adicional, demostrando que el nivel de detalle de las cartas de suelo disponibles para la zona es extremadamente bajo para plantear manejos o diseños de investigación a escala de potreros o superficies menores. Se describieron 2 perfiles de suelo, el suelo 1 (Paleustol petrocálcico) con mayor grado de evolución, texturas francas, mayores contenidos de arcilla y sin presencia de carbonatos hasta los 79 cm, y el suelo 2 (Calciustol petrocálcico) más joven, de texturas franco arenosas, menores contenidos de arcilla y carbonatos presentes desde la superficie. Estas diferencias se asociaron a la ocurrencia de diferentes pedones en cortas distancias (alrededor de 100 m), que estaría relacionada con el paleomicrorelieve determinado por la capa de tosca ondulante en la subsuperficie. La génesis de los suelos de esta zona es compleja y está ligada a un historial de pulsos de remoción y deposición de materiales en diferente magnitud.

Para conocer mejor las características y arreglo espacial de los suelos, se propone el uso de tres variables de simple, rápida y económica determinación a campo: textura al tacto, presencia de carbonatos de calcio y estructura en la profundidad de 15 a 30 cm, las que respondieron bien para diferenciar un suelo de otro. Por otro lado, se plantea una función discriminante que incluye las variables más representativas (contenido de arena, arcilla, carbonatos y MO) para clasificar nuevas muestras de suelos del área.



## AGRADECIMIENTOS

*A mis padres, Ana Lía y Gustavo, por su enorme incentivo y apoyo económico durante toda la carrera.*

*A mis hermanos, en especial a Guille, por su enorme ayuda y aliento en todo momento.*

*A mis amigos, por estar y acompañarme durante todo el proceso.*

*A la Universidad Nacional del Sur y todo su personal docente, por la excelencia en la formación académica.*

*Al Departamento de Agronomía por ser mi segundo hogar, por la calidez y gran predisposición de su gente.*

*A mi tutor, Maxi y mis consejeros Eri y Pablo, por su paciencia, dedicación, buena predisposición y conocimientos aportados.*

*A Mauro Bartolomé, por su colaboración en las tareas de muestreo.*

*A todos y cada uno, ¡muchas gracias!*

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1 HIPÓTESIS.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2 OBJETIVOS.....</b>	<b>8</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Caracterización del Sitio de Estudio .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.1 Ubicación .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.2 Clima .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1.3 Vegetación .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1.4 Geomorfología y Paisaje .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1.5 Suelo .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Procedimientos Metodológicos .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2.1 Muestreo .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2.2 Determinaciones a Campo .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.3 Análisis en Laboratorio .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.4 Tratamiento y Análisis de Datos .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.4.1 Análisis Estadístico .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.4.2 Estimaciones y Mapas .....</b>	<b>26</b>
<b>3. RESULTADOS .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Muestreo en Grilla .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2 Correlaciones y Análisis Multivariado .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3 Mapas .....</b>	<b>32</b>
<b>3.4 Calicatas .....</b>	<b>34</b>
<b>4. DISCUSIÓN.....</b>	<b>39</b>
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>42</b>
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>43</b>
<b>7. ANEXO .....</b>	<b>47</b>

## 1. Introducción

El distrito fitogeográfico del Caldén (Caldenal) representa una extensa región caracterizada por su formación vegetal arbustiva incluyendo áreas de monte xerófilo, así como estepas gramíneas y matorrales de arbustos, abarcando sectores de las provincias de San Luis, Córdoba, La Pampa y Buenos Aires (Cabrera, 1976). En esta amplia región existe variabilidad intrínseca que se hace evidente respecto al relieve, clima y vegetación. Por sus condiciones de semiaridez el Caldenal pampeano es considerado, en términos productivos, “marginal” o de baja productividad, donde los cultivos sólo serían viables en planteos bajo riego (Apezzatto, 2014). Es por ello que la actividad productiva principal se centra en la ganadería extensiva sobre pastizales naturales (Fernández y Busso, 1999; De Villalobos y Peláez, 2015). Si bien es conocida la relación de interdependencia entre la vegetación natural y las características del suelo (Villamil *et al.*, 2001), se cuenta con escasa información detallada de los suelos de la zona.

En un sector del Caldenal que constituye un sitio representativo de ese ambiente ecológico, diferentes cátedras del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur (UNS) utilizan un predio desde hace más de tres décadas con fines académicos y de investigación. Allí se desarrollan numerosos trabajos principalmente dedicados al estudio de la dinámica de la vegetación nativa (pastizales naturales), y el efecto de disturbios como pastoreo, quemas prescritas y no prescritas sobre aspectos de la vegetación y el suelo (De Villalobos y Peláez, 2015; Harris, *et al.*, 2007; Peláez *et al.*, 2009; Peláez *et al.*, 2012; Peláez *et al.*, 2013; Peláez *et al.*, 2020). En este contexto, conocer las singularidades de los suelos de esta zona productiva es de vital importancia para contribuir a una mejor caracterización y a un uso eficiente y sustentable de los mismos.

La gran variabilidad de los elementos que componen la naturaleza y su interacción generan un enorme abanico de combinaciones que complejizan la labor de los investigadores dedicados a comprender el funcionamiento de los sistemas naturales. Los suelos presentes en esta región no escapan a esta condición, dado que también presentan un importante rango de taxas pertenecientes principalmente a los Órdenes Entisoles y Molisoles (INTA-UNLPam, 1980). Esto obedece a que su formación responde a procesos complejos que implican la interacción de una serie de factores bióticos y abióticos, dando como resultado un cuerpo natural independiente y con morfología propia. Jenny (1941) define cinco factores formadores del suelo, enunciando que cualquier suelo o propiedad de éste derivan de **procesos pedogenéticos** que

resultan de la acción combinada del **clima** y los **organismos**, actuando sobre un **material original** a través de un período de **tiempo** y controlados por el **relieve**. Ridino *et al.* (2017) advirtieron elevada variabilidad en las propiedades edáficas trabajando en superficies acotadas (6 ha), explicada por la ocurrencia de diferentes pedones en cortas distancias, a pesar de una aparente homogeneidad en los factores pedogenéticos. Estudios a nivel de detalle realizados por Amiotti *et al.* (2001) en la misma zona, también muestran una aparente aleatoriedad en las propiedades de tres suelos distintos que yacen a distancias de tan solo 100 m uno de otro. Otros autores como Blanco & Stoops (2007) hallaron evidencias similares en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, observando la aparición de un horizonte argílico discontinuo a distancias de 7 m. En superficies acotadas en las cuales existe homogeneidad de clima, cubierta vegetal, y relieve, existe aún variabilidad relacionada al material parental y tiempo de evolución de los suelos, influenciados por el paleomicrorelieve determinado por la capa de tosca, que no ha sido correctamente caracterizada con la información que se encuentra accesible. La cartografía de base disponible para esta zona, realizada por INTA y la Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam), provee información valiosa aunque en una escala pequeña (1:500.000), siendo de escasa utilidad en superficies reducidas como lotes o establecimientos pequeños. Mediante el procesamiento de los datos originales e información nueva provista por sensores remotos Vázquez (2014) elaboró nuevos mapas con mayor resolución (1:100.000) basados en la relación suelo-paisaje. Si bien este aporte mejoró considerablemente la información previa, dicha relación no explica la variabilidad en geofomas estables de relieve plano que esconden paleo-superficies irregulares, especialmente al considerar escalas de detalle (1:25.000 o mayores). La evidencia encontrada por Amiotti *et al.* (2001) indica que la génesis de los suelos zonales es compleja. Estos suelos presentan rasgos diagnósticos que no pueden ser explicados por la teoría general de génesis de suelos en un solo ciclo pedogenético, generando un intrincado patrón de distribución de taxas que no guarda relación aparente con el relieve y vegetación actuales y conforma unidades cartográficas complejas. En el área de estudio de este trabajo, la distribución de las diferentes taxas se explicaría con la ocurrencia de eventos de denudación y agradación de materiales, procesos que comenzaron varios milenios antes del presente, durante el Pleistoceno tardío- Holoceno medio, originando suelos poligenéticos con amplia representatividad (Amiotti *et al.* 2001; Blanco & Stoops, 2007; Folguera *et al.* 2015b).

En este contexto, resulta esencial conocer las taxas que participan en la cobertura pedológica de esta zona y su arreglo espacial, así como los atributos clave que nos

permiten distinguirlas rápidamente. Considerando que la información existente y disponible sobre los suelos de esta zona a escalas grandes es aún insuficiente, el presente trabajo pretende describir parte de la complejidad edáfica de este sector del Caldenal Pampeano; para ello se establecieron las siguientes hipótesis y objetivos:

### **Hipótesis**

- A una escala de ultradetalle y bajo las mismas condiciones de clima, vegetación y relieve coexisten al menos dos suelos, con distinto material parental y tiempo de evolución.
- Existe correspondencia entre variables edáficas básicas y de fácil determinación en capas superficiales (arcilla, arena y contenido de carbonatos) con la morfología del perfil de suelo completo.

### **Objetivo General**

Caracterizar la variabilidad edáfica a nivel de detalle en un área modelo representativa de un sector del Caldenal Pampeano y representarla a través de mapas de propiedades edáficas para dilucidar cómo se relaciona la distribución espacial de suelos con parámetros simples de fácil determinación. La información generada permitirá caracterizar la cobertura pedológica en nuevas áreas con un mínimo esfuerzo analítico.

### **Objetivos Particulares**

- Caracterizar los horizontes superficiales y subsuperficiales de los suelos del área modelo utilizando una cuadrícula de red rígida.
- Determinar zonas contrastantes, abrir calicatas y caracterizar la morfología del perfil de suelo en cada una de ellas.
- Identificar variables útiles para discriminar tipos de suelos presentes que pueden ser medidas a campo en forma expeditiva.
- Generar mapas que representen la variabilidad espacial de propiedades edáficas relevantes, tales como contenido de arcilla, arena, carbonatos de calcio y materia orgánica.
- Encontrar una función discriminante que permita clasificar nuevas observaciones de suelo con bajo esfuerzo analítico.



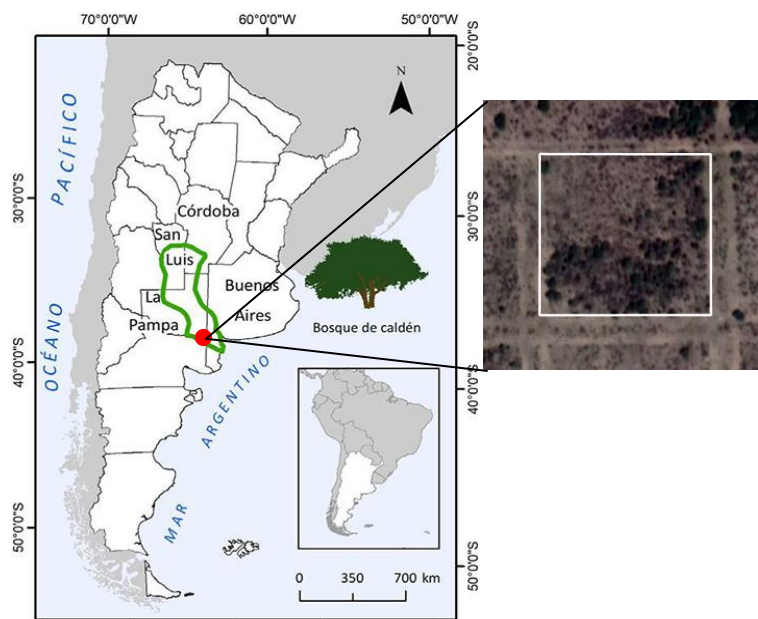
## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Caracterización del Sitio de Estudio

#### 2.1.1. Ubicación

Las observaciones se realizaron en un establecimiento ganadero representativo del monte xerófilo del Caldén (Figura 1), perteneciente a la familia Canoni (38° 52' S; 63° 43' O). El mismo se encuentra en el departamento de Caleu-Caleu, en la porción sudeste de la provincia de La Pampa, a 37 km de la localidad de La Adela y a 42 km de Río Colorado. El acceso al sitio se logra por la Ruta Nacional 22, que une a las ciudades de Bahía Blanca y Río Colorado, y luego por la Ruta Provincial de La Pampa 1 en dirección S-N, desde su intersección con la Ruta Nacional 22.

Dentro del establecimiento existe una extensión aproximada de 17 ha, clausurada al pastoreo con animales domésticos desde el año 1989. En la superficie descrita se reparten 6 parcelas experimentales de 1 ha separadas por picadas de 20 m, sobre las cuales se realizan quemas controladas con distinta frecuencia (3 a 8 años) y controles sin quemar (Peláez *et al.*, 2012). El área estudiada en este trabajo se circunscribe a una de dichas parcelas, de 1 ha. Es importante mencionar que la clausura sufrió un incendio espontáneo durante noviembre de 2015, como consecuencia de la elevada acumulación de biomasa y condiciones de altas temperaturas y baja humedad ambiental, afectando a todas las parcelas en algún grado.



**Figura 1.** Localización del sitio de estudio en el Distrito fitogeográfico del Caldén. Fuente: Duval y Cámara-Artigas (2021).

### **2.1.2. Clima.**

El clima regional se cataloga como templado de transición, al encontrarse en una zona intermedia entre los ambientes pampeano y patagónico. De acuerdo a la clasificación climática de Thornthwaite (1948), se encuentra dentro del tipo climático DB 2da, caracterizándose como semiárido templado (TMA 15,8°C; PMA 459 mm), con ningún excedente de agua y baja concentración térmica en verano (Rodríguez y Muñoz, 2020). Las temperaturas medias mensuales de los meses más cálido (enero) y más frío (junio) son 23,9 °C y 7,4 °C, respectivamente. El período medio libre de heladas es de 188 días, siendo la fecha media de la primera y de la última helada, el 1 de mayo y 1 de octubre, respectivamente (INTA- UNLPam, 1980).

El viento, factor meteorológico de importancia en la zona, se presenta durante todo el año con direcciones predominantes N-W y SW, adquiriendo las velocidades más altas durante la primavera. La velocidad media anual es de 14 km h<sup>-1</sup>, sin embargo se presentan ráfagas frecuentes de hasta 50 km h<sup>-1</sup> durante los meses de octubre a enero. La precipitación anual varía entre 300 mm y 550 mm, la media anual es de 459 mm, concentrada en otoño y primavera. Los valores medios de humedad relativa van de 48 a 74%. La evapotranspiración potencial anual es de 800 mm en promedio, que excede ampliamente lo aportado por las precipitaciones, por lo que el déficit hídrico medio para la zona es de alrededor de 400 mm anuales de acuerdo a los valores estimados por Rodríguez y Muñoz (2020) con la metodología de balance hidrológico de Thornthwaite (1948). Durante el invierno pueden ocurrir sequías, pero las de mayor intensidad se producen hacia finales de primavera y verano (noviembre a febrero) (Peláez *et al.*, 2020).

### **2.1.3. Vegetación.**

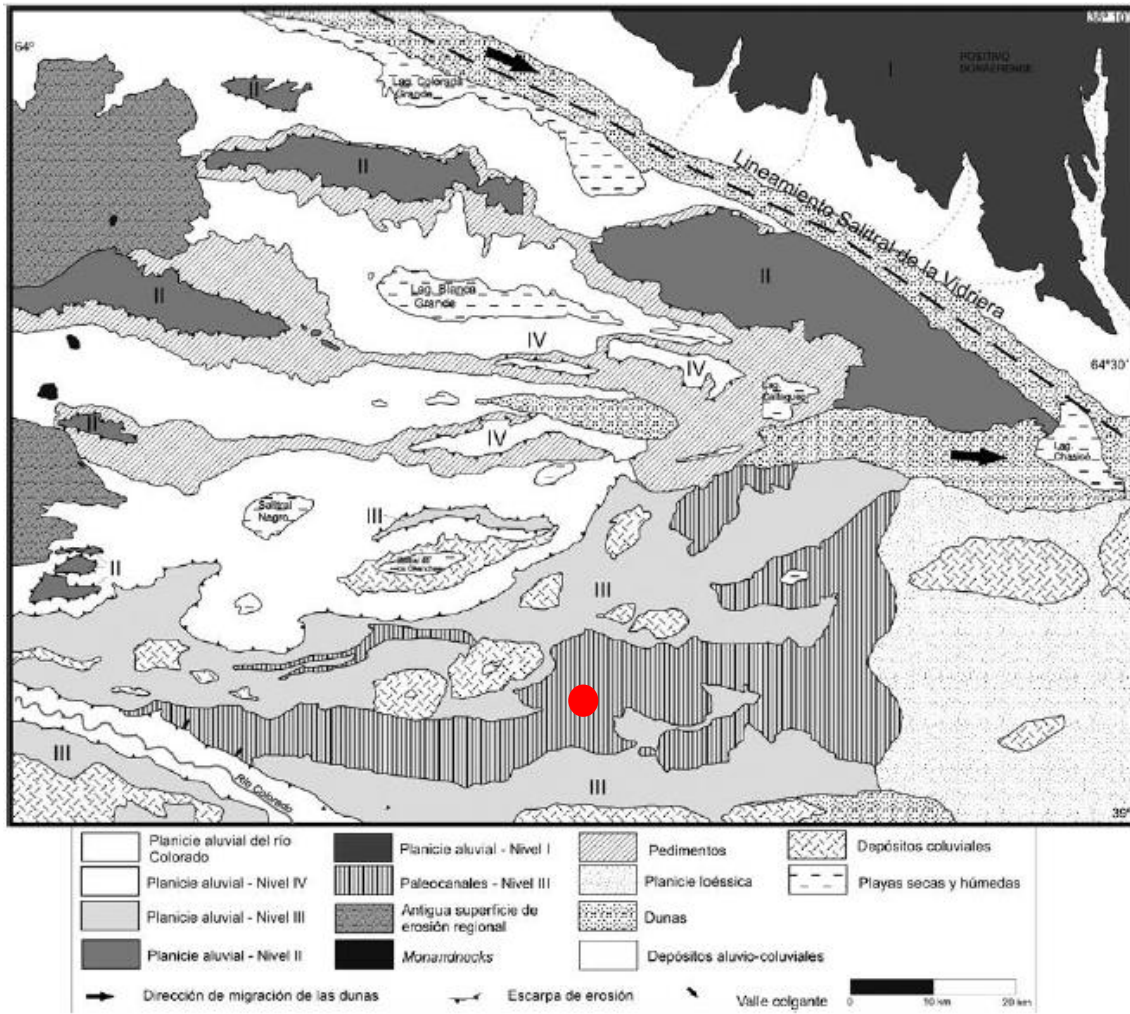
La región pertenece a la Provincia Fitogeográfica del Espinal, Distrito del Caldén, conocido también como Caldenal. Este ecosistema corresponde a un ecotono, en el cual los pastizales comienzan a ser reemplazados por vegetación leñosa, entre la estepa arbustiva del Monte hacia el oeste, con precipitaciones de 200 mm año<sup>-1</sup> o menos, y la Pampa Húmeda agrícola hacia el este (Peláez *et al.*, 2020).

Predominan los arbustos xerófilos como *Prosopis caldenia* (caldén) y *P. flexuosa* (algarrobo), *Geoffroea decorticans* (chañar), *Condalia microphylla* (piquillín), *Prosopis alpataco* (alpataco) y *Larrea spp.* (jarilla) formando bosques abiertos. El estrato herbáceo que se encuentra tapizando la mayor parte del suelo está compuesto por gramíneas perennes, principalmente *Piptochaetium napostaense* (flechilla negra),

*Nassella tenuis* (flechilla fina), *N. clarazii* (flechilla blanca), *Poa ligularis* (poa) y *Stipa spp.* (paja vizcachera), entre otras (Cabrera, 1976).

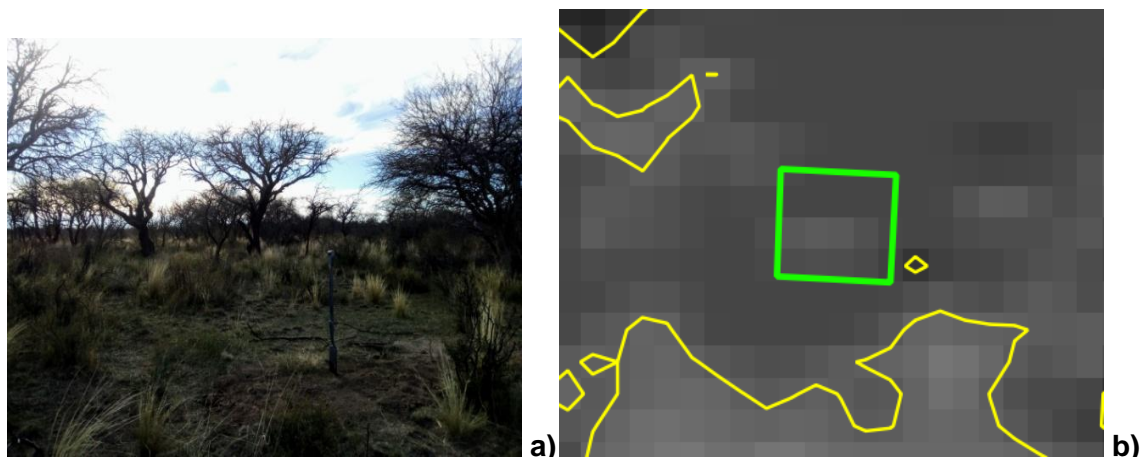
#### **2.1.4. Geomorfología y Paisaje.**

El área pertenece al dominio morfoestructural de la Cuenca del Colorado (González Uriarte, 1984). El río Colorado, límite natural de la Patagonia, es el elemento geográfico más relevante y principal eje de estructuración de la región (Vendramini Marini, 2018). En la caracterización realizada por INTA- UNLPam (1980) se delimitan regiones y subregiones geomorfológicas en todo el territorio provincial. La zona estudiada pertenece a la región meridional, subregión de las mesetas y depresiones alargadas cubiertas con arenas y rodados de vulcanita. A nivel regional, se observa un paisaje de mesetas escalonadas y profundamente recortadas, donde abundan bajos, algunos de gran profundidad, ocupados por lagunas y salitrales, a los que se asocian cañadones y campos de dunas (Folguera *et al.*, 2015b). Gran parte de la región está formada por una extensa planicie aluvial muy disectada, donde se han detectado al menos tres antiguos niveles pedemontanos, que evidencian alternancia de períodos de erosión y sedimentación. Etcheverría y Folguera (2014) mencionan que en el modelado del paisaje dominaron principalmente procesos fluviales y en forma subordinada eólicos que, asociados a probables ascensos tectónicos en el área, generaron estas formas del relieve, resultando en un paisaje mesetiforme escalonado. Dicho paisaje es, hacia el este, gradualmente enmascarado por depósitos loésicos a medida que aumentan progresivamente su espesor. Además, se presenta una suave pendiente regional hacia el este (Folguera *et al.*, 2015a).



**Figura 2.** Ambientes geomorfológicos del sur de la región pampeana. En rojo: posición de la parcela. Fuente: Folguera *et al.*, 2015a.

Acorde a lo propuesto por Folguera *et al.* (2015a) el sitio estudiado se asocia a las mesetas del nivel III del ambiente geomorfológico de las terrazas patagónicas (Apezatto, 2014) (Figura 2), comprendidas entre las cotas de 130 m en el occidente y 80 m en el oriente, sobre el que se encuentra preservada una red de paleocanales, formada por los antiguos cursos del sistema fluvial con orientación preferencial NO- SE. A nivel local, la posición en el paisaje corresponde al relicto de paleocanales conservados sobre este nivel de las planicies aluviales (Folguera *et al.*, 2015a), siendo el relieve del sector plano (ver Figura 16 del anexo, p.47), con ondulaciones muy leves e insuficientes para canalizar el agua de lluvia, y una pendiente general menor al 0,5% (Figura 3).



**Figura 3.** Vegetación típica del Caldenal pampeano (a). Fuente: imagen propia. Relieve plano con leves ondulaciones, Modelo Digital de Elevación (DEM) con curvas de nivel a 1 m (b). Fuente: imagen propia a partir del SIG Qgis 3.16, 2020.

### 2.1.5. Suelo.

En la Hoja Geológica 3963-I Río Colorado, Folguera *et al.* (2015b) refieren que en la región se encuentran ampliamente distribuidos distintos depósitos Pleistocenos y Holocenos, tales como sedimentos eólicos finos (loésicos), depósitos arenosos originados por la acción del viento (campos de dunas) y depósitos coluviales, aluviales, de bajos y evaporíticos (Figura 17 del anexo p. 48).

De forma general, los autores señalan que los depósitos loésicos se extienden por toda el área, pero con mayor desarrollo en el sector oriental, donde supera el espesor de 0,80 m. En los sectores occidental y central (sector que incluye al sitio de estudio), estos depósitos se encuentran tapizando las mesetas, con espesores variables entre 0,40 y 0,50 m, apoyados sobre la capa de tosca, y cubriendo los depósitos del período neógeno; hacia el este aumenta gradualmente el espesor cubriendo mesetas y bajos por igual, generando un paisaje suavemente ondulado. Estos sedimentos eólicos, clasificados según Bidart (1992) como loess típico, loess arenoso y arenas limosas eólicas, constituyen los materiales originarios de gran parte de los suelos actuales del área cubierta por la Hoja Geológica 3963-I Río Colorado (Folguera *et al.*, 2015a). Diferentes autores como Folguera *et al.* (2015b) y Bidart (2015), sustentan que el origen de los depósitos loésicos de la región pampeana austral sería la patagonia andina y extra-andina, en primera instancia, desde donde se fluviotransportaron materiales hasta las planicies aluviales del río Negro y, principalmente, el Río Colorado. Posteriormente estos depósitos habrían sido retransportados por los vientos, principalmente del oeste y

sudoeste, hasta su posición actual producto de la deflación en épocas secas de estas extensas planicies aluviales, las cuales constituyen las áreas- fuente.

La caracterización tomada como base para describir los suelos de la zona es la carta de suelos a escala 1:500.000 realizada por INTA en conjunto con la UNLPam en 1980. La misma es una ampliación del mapa político y catastral en escala 1:600.000 que dispone la provincia. Cada subregión geomorfológica se subdivide en unidades de paisaje menores, donde la distribución edáfica se consideró constante. Se describen tres unidades cartográficas asociadas al paisaje (Figura 4), que fueron definidas mediante la observación y descripción de perfiles representativos que componían toposecuencias clásicas para cada una de ellas, y la posterior extrapolación a todo el ámbito del ambiente: *de las mesetas alargadas (Cpt2)*, *del sector ondulado próximo a Anzoátegui y La Adela (Cpt2 + Tu1)* y *de los médanos y valles transversales (Tu1+Ca1+Sat1)*.



**Figura 4.** Unidades cartográficas en la subregión de las mesetas y depresiones alargadas cubiertas con arenas y rodados de vulcanitas. En rojo la posición del sitio de estudio dentro de Cpt2+Tu1. Fuente: INTA- UNLPam (1980).

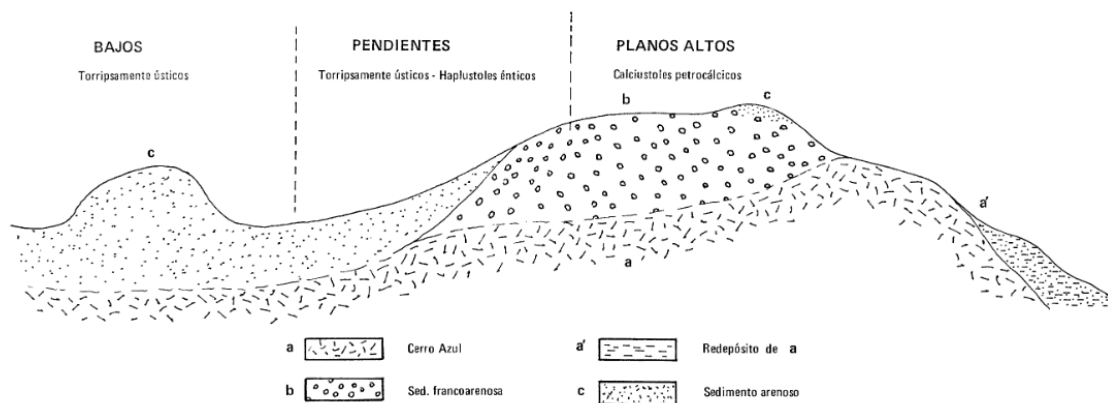
Los suelos del área analizada se incluyen en la unidad cartográfica Cpt2+Tu1, donde se reconocen y describen principalmente tres materiales parentales:

a- Sedimento de textura franco arenosa fina (Formación Cerro Azul): con fuerte contenido en calcáreo, capa de tosca a profundidades variables (0,5 a 1,8 m). Se encuentra en depósitos coluviales al pie de las pendientes.

b- Sedimento reciente de textura franco arenosa: recubre al anterior, y sobre este material se desarrollan la mayoría de los suelos de las lomadas.

c- Acumulaciones arenosas recientes: se encuentran principalmente en los bajos, pero pueden estar presentes en pendientes, y aún en llanos altos.

La unidad cartográfica constituye una asociación de los siguientes suelos dominantes relacionados al material parental y a las geformas de lomadas, pendientes y bajos. En los llanos altos se observan Calciustoles petrocálcicos y Haplustoles énticos, cuyos materiales parentales son sedimentos recientes de textura franco arenosa, con débil a moderado desarrollo de estructura. Los Calciustoles exhiben una débil reacción calcárea en la masa del horizonte superficial, que se acentúa conforme aumenta la profundidad. Antes de alcanzar la capa de tosca aparecen horizontes franco limosos (F. Co. Azul), marcando una discontinuidad litológica. En las pendientes los suelos pueden ser de textura variada, de arenosa a franco arenosa. Son suelos pobres en materia orgánica, calcáreos en toda la extensión del perfil en la mayoría de los casos, y de profundidades variables a la tosca. Se observan Torripsamientos ústicos y Haplustoles énticos. En los bajos predominan suelos desarrollados sobre material de textura gruesa, libres de calcáreo, muchos son salinos con diversos tenores. Se presentan Torripsamientos ústicos y Salortides.



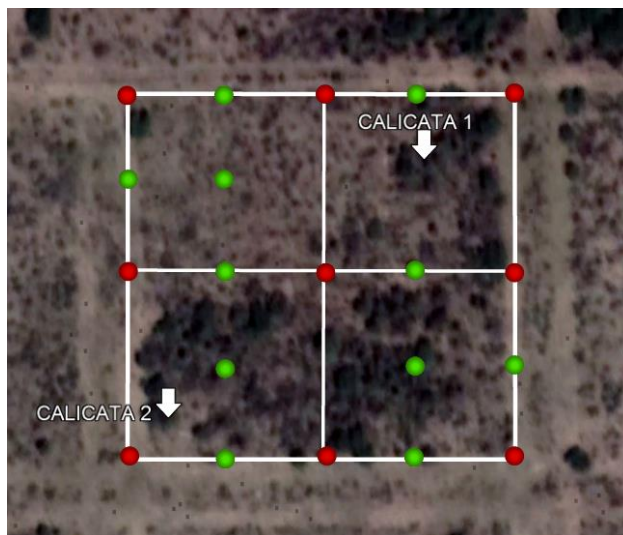
**Figura 5.** Esquema de la relación suelo-paisaje y materiales parentales propuesta para la unidad cartográfica del sector ondulado próximo a Anzoátegui y La Adela (Cpt2 + Tu1). Fuente: INTA- UNLPam (1980).

## 2.2. Procedimiento Metodológico

Las actividades se dividieron en: trabajo de campo, que consistió en el muestreo y la recopilación de datos en el sitio de estudio y observación de perfiles de suelo; trabajo de laboratorio, que implicó el acondicionamiento y análisis de las muestras colectadas para la obtención de datos analíticos; y de escritorio, referido a la recopilación, procesamiento y análisis de la información generada.

### 2.2.1. Muestreo

Se concretaron tres visitas al sitio de estudio en las que se relevó un área modelo de 1 ha (100 m por 100 m). Debido a las características y naturaleza del estudio conducido, se eligió un diseño no experimental transversal descriptivo. Se diagramó un muestreo de tipo uniforme sobre la parcela, mediante una red rígida o grilla (ver esquema en Figura 6), de 9 puntos de base equidistantes en el terreno (rojo) y 11 puntos adicionales en posiciones intermedias a los anteriores (verde). Se recogieron muestras disturbadas de los puntos pertenecientes a la grilla y de cada horizonte de los perfiles de suelo estudiados (Calicata 1 y 2).



**Figura 6.** Diagrama de muestreo en grilla. Puntos 1 a 9 (rojo), puntos 10 a 20 (verde) y calicatas (flechas blancas). Fuente: Elaboración propia sobre la base del SIG Google Earth Pro.

Inicialmente se recogió material de los puntos 1 a 9 en la cuadrícula a dos profundidades: superficial (0-15 cm) y subsuperficial (15-30 cm) (puntos rojos en Figura 6). El análisis de estos puntos aportó un panorama general del área, donde se advirtió



la necesidad de una mayor densidad espacial de información, de modo que se agregaron los puntos 10 a 20 de la grilla (puntos verdes en Figura 6) y se tomaron muestras superficiales y subsuperficiales de los mismos, con el objetivo de intensificar el nivel de detalle del muestreo. La información generada con el análisis de los veinte puntos se utilizó para la búsqueda de sectores representativos de suelos pertenecientes a tasas diferentes, identificados por presentar propiedades contrastantes. Se señalaron potenciales sitios para la apertura de calicatas, y finalmente se seleccionaron dos posiciones para proceder a la apertura de calicatas y caracterización “*in situ*” de los perfiles de suelo, a fin de describir las capas de la subsuperficie y corroborar la morfología y características generales de estos suelos.

En cada calicata (flechas blancas en Figura 6) se realizó la descripción morfológica del perfil según el Soil Survey Manual (2017) y se extrajeron muestras disturbadas de cada uno de los horizontes observados. Cada una de las muestras se recolectó en bolsas plásticas, correctamente rotuladas.

En algunos sectores de la parcela se observó una capa superficial de cenizas y sedimentos eólicos muy recientes. Los aportes de materiales derivados de la quema son moderadamente alcalinos y con alto contenido de cationes básicos y podrían generar alteraciones en el pH de esta capa, según mencionan Ridino *et al.* (2017). Con el objetivo de excluir éste y cualquier otro efecto de interacción generado por la actividad antrópica y/o eventos naturales extrínsecos al suelo, como manejos productivos, pisoteo del suelo por el ganado, acumulación de cenizas de diferentes quemadas, etc., se consideró conveniente no incluir los datos de muestras superficiales en el análisis estadístico, ya que además el evento ígneo espontáneo no ocurrió de forma homogénea sobre la parcela.

### **2.2.2. Determinaciones a Campo**

En paralelo a la recolección de muestras, se determinaron ciertos atributos a campo asociados a los puntos de la cuadrícula y las calicatas, tales como textura al tacto, estructura y presencia de carbonatos de calcio en superficie (mediante reacción al HCl al 10%) en ambas profundidades. Estos atributos se emplearon luego para corroborar a campo, de forma simple y rápida, las características del suelo en los sitios escogidos para abrir las calicatas. Se georreferenciaron con dispositivo GPS tanto los puntos de la cuadrícula como las calicatas y, además se tomaron fotografías del paisaje, la cubierta vegetal y los perfiles de suelo.

### **2.2.3. Análisis en Laboratorio**

Las muestras fueron acondicionadas y procesadas en el laboratorio 313 del Dpto. de Agronomía de la UNS. Comenzando con el secado al aire, mortereado y tamizado del suelo por malla de 2 mm, para el total de las muestras (1 a 51) se determinó composición porcentual de la fracción mineral (textura), contenido de carbono orgánico CO (g kg<sup>-1</sup>), contenido porcentual de carbonato de calcio CaCO<sub>3</sub>, pH, color y estructura en cada una de las réplicas. Fósforo total (mg kg<sup>-1</sup>) únicamente se determinó en los horizontes de ambas calicatas.

#### **2.2.3.1. Técnicas y Métodos de Laboratorio.**

##### pH por potenciometría (1:2,5 en agua destilada)

Se pesaron por duplicado 10 g de suelo en vasos de precipitado y se agregaron 25 ml de agua destilada (AD) (1:2,5). Se homogeneizó, se dejó reposar 1 hora y se midió el pH con un peachímetro con electrodo de vidrio en agitación.

##### Contenido de carbono orgánico total (CO) por Walkley & Black (Nelson & Sommers, 1996)

Se pesaron por duplicado 0,50 g de suelo en matraces de 100 ml, se agregaron 10 ml de dicromato de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 1N) y luego 20 ml de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Luego de enfriada la mezcla, se agregaron unos 70 ml de AD y 3 ml de ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) concentrado 85%. Se dejó enfriar aproximadamente un día y se llevó a volumen. En cada tanda se realizaron 2 blancos con el mismo procedimiento, sin suelo. De cada matraz, se tomó una alícuota de 10 ml en un Erlenmeyer, se agregaron unos 50 ml de AD, una pizca de fluoruro de sodio (NaF) y 2 gotas del indicador de difenilamina. Se tituló con sal de Mohr (sulfato ferroso de amonio) y se registró la lectura. Se realizaron dos titulaciones por réplica, las cuales se promediaron.

$$CO\% = MO\% \times 0,58$$

$$MO\% = [(Volumen blanco - Volumen muestra)/Volumen blanco] \times 13,4$$

Contenido de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>%) por el método gasovolumétrico

Se pesaron por duplicado de 1 a 10 g de suelo (según reacción cualitativa previa de HCl 10%), y se colocaron en un Erlenmeyer de 250 ml. En la ampolla de vidrio del calcímetro se colocaron 10 ml de HCl al 10% y se tomó la lectura inicial (Li) de la columna de agua. Luego se abrió el robinete y se dejó caer el HCl. Una vez completada la reacción, se tomó la lectura final (Lf). Las repeticiones fueron promediadas. Se realizaron 2 muestras patrones de 0,20 g CaCO<sub>3</sub> puro a fin de calibrar la técnica.

$$\text{CaCO}_3\% = [(L_{fm} - L_{im}) \times P(g) \times 100] / (L_{fp} - L_{ip}) \times M(g)$$

Donde: M, m = muestra; P, p = patrón

Fósforo total por calcinación y titulación (Kuo, 1996)

Se pesaron por duplicado 1g de suelo por muestra en cápsulas de porcelana y se quemaron en mufla a 550 °C por 2 horas. Se pasaron las muestras calcinadas a tubos de centrífuga y se agregaron 25 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 M. Se mantuvieron en agitación por 16 horas y luego se centrifugaron 5 minutos y se filtró el sobrenadante.

Del mismo se tomó una alícuota y se realizó la reacción de color de Murphy-Riley. Los valores obtenidos fueron promediados.

$$P_{total} \text{ (ppm)} = (\text{factor (nm)} \times \text{Lectura} \times 25 / \text{alícuota (ml)}) / \text{peso suelo (g)}$$

Análisis granulométrico por el método de dispersión y sedimentación (método de la pipeta de Robinson)

Se pesaron 40 g de suelo en vaso de precipitado, se eliminó la materia orgánica (MO) con peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) sobre plancha caliente hasta el cese de la reacción y la desaparición del color oscuro. Para las muestras que contenían carbonato de calcio, también se realizó la eliminación del mismo utilizando HCl 10% y posterior lavado de las sales resultantes. Completados estos pretratamientos, se pasaron los sedimentos a probetas de 1 l, se agregaron 50 ml de dispersante calgón ((NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) y se llevó cada una a la marca de 1 l con agua. Una vez alcanzada la temperatura ambiente,

se agitó la suspensión enérgicamente y se tomaron dos alícuotas de 25 ml por cada probeta y fracción granulométrica, a diferentes tiempos para arcilla y arcilla+limo, según la ley de sedimentación de Stokes. Las alícuotas se colocaron en vasos de precipitado previamente tarados y luego de la eliminación de humedad en estufa, se pesaron para determinar su proporción en la muestra original. Los valores de las repeticiones se promediaron.

$$\text{Fracción granulométrica (\%)} = [(\text{peso vaso} + \text{sedimento}) - (\text{peso vaso})] \times 40 \times 100 / 39,5$$

Una vez culminadas las medidas por sedimentación, las suspensiones se filtraron por tamiz de 53 micrones para segregar y posteriormente pesar la fracción arena.

#### Estructura del suelo

Se determinó evaluando el tipo (forma), clase (tamaño) y grado (resistencia) de los agregados de cada muestra de suelo obtenida a campo sin disturbar, según las normas de descripción de suelos propuestas por el Soil Survey Manual (2017).

#### Color del suelo en seco

Fue definido mediante cartas de color del sistema de Münsell, según las normas de descripción de suelos propuestas por el Soil Survey Manual (2017).

### **2.2.4. Tratamiento y análisis de datos**

#### **2.2.4.1. Análisis estadístico.**

En el análisis se tomaron en cuenta las variables contenido de arcilla, contenido de arena, pH, carbonatos y MO, parámetros que se determinaron en la totalidad de los puntos hasta la profundidad de 30 cm (no se incluye fósforo total ni conductividad eléctrica, determinados sólo en algunas muestras puntuales). Se trabajó con los datos de la profundidad subsuperficial, en los 22 puntos muestreados (cuadrícula+calicatas; n= 22) para aplicar las técnicas estadísticas.

En primera instancia se evaluaron los resultados analíticos de los atributos físicos y químicos mediante correlación de Pearson. Posteriormente se aplicaron técnicas de

análisis multivariado, análisis de conglomerados jerárquico (con el método del Promedio de las Distancias y distancia Euclídea) y no jerárquico (con el método de las K- medias) para agrupar en poblaciones los puntos de muestreo. Se trabajó con datos previamente estandarizados (se fijó media= 0 y varianza= 1 en cada variable) para evitar la interferencia de las unidades de medida.

Las técnicas multivariadas de discriminación y clasificación se ocupan de separar distintos grupos de objetos u observaciones y asignar nuevos objetos u observaciones a los grupos previamente definidos (Johnson y Wichern, 2002). Se aplicó el análisis discriminante lineal de Fisher para la construcción de una función discriminante. En primer lugar se trató de encontrar una combinación lineal de rasgos que caracterizaran o separaran los puntos en clases, para luego poder utilizar dicha combinación resultante como un clasificador lineal. Los datos de entrenamiento corresponden a las poblaciones previamente definidas a partir del análisis de agrupamiento.

Los software utilizados incluyeron RStudio (2022) y R Core Team (2022).

#### **2.2.4.2. Estimaciones y mapas.**

A partir del muestreo en grilla se crearon mapas con la distribución espacial de las propiedades edáficas incluidas en el análisis estadístico (contenido de arcilla, arena, carbonatos, MO, y pH) utilizando la función “mapas de contorno” del software Surfer 8 (2002), que aplica la técnica de Kriging.

### 3. Resultados

#### 3.1. Muestreo en grilla

La caracterización de las capas superficial y subsuperficial de los suelos del área modelo, arrojó resultados que señalaron desde un inicio la existencia de variabilidad con un comportamiento en apariencia aleatorio de propiedades edáficas como contenido de arcillas, contenido de arenas, carbonatos y pH (los valores analíticos se muestran en la Tabla 1). Las determinaciones cualitativas y cuantitativas, realizadas a campo (Tabla 2) fueron confirmadas luego en laboratorio, y permitieron inferir la presencia de dos suelos con rasgos contrastantes, a los que se hará referencia en el texto como *suelo 1* (calicata 1) y *suelo 2* (calicata 2). Los puntos asociados a la calicata 1 exhibieron sedimentos más finos con mayores contenidos de limo y arcilla, mínimos contenidos de carbonato de calcio en superficie (no detectables a campo, muy débil a nula reacción al HCl) y estructura mejor desarrollada. Los que, en cambio, se asociaron a la calicata 2 presentaron sedimentos más gruesos y mayor contenido de carbonatos en superficie (fácilmente detectable a campo, moderada a alta reacción al HCl) y, simultáneamente, estructuras débiles.

**Tabla 1** Caracterización analítica de capas superficial y subsuperficial

Punto	Código <sup>[1]</sup>	pH	CaCO <sub>3</sub> (%)	CO (g/kg)	ARCILLA (%)	LIMO (%)	ARENA (%)
1	a	8	0,95	11,6	9,3	36,6	54,0
	b	8,5	4,01	7,7	10,4	35,7	53,9
2	a	8,1	2,5	12,6	12,4	34,0	53,6
	b	7,9	4,32	6,3	12,4	32,6	55,0
3	a	6,7	0,19	15,2	19,9	27,6	52,5
	b	7,7	0,08	7,1	21,2	88,7	51,3
4	a	6,7	0,43	13,6	12,5	29,0	58,5
	b	7,2	1,67	5,9	10,4	30,4	59,2
5	a	7,7	1,01	15,2	8,3	25,5	66,2
	b	8,4	3,82	6,2	6,4	28,7	64,9
6	a	8,3	3,40	11,3	12,7	34,4	53,0
	b	8,3	5,42	5,1	6,8	39,3	53,9
7	a	7,5	0,51	21,6	23,6	37,3	39,1
	b	8,1	0,51	13,0	22,5	36,9	40,6
8	a	7,4	0,20	12,0	21,8	36,3	41,8
	b	7,9	0,21	8,3	20,8	38,0	41,2
9	a	7,0	0,46	19,0	20,5	34,4	45,1
	b	7,4	0,09	11,4	21,2	33,7	45,1
10	a	6,5	0,46	21,0	16,8	30,1	53,1
	b	7,0	1,22	9,2	12,5	38,8	48,7
11	a	7,4	0,11	10,7	19,3	35,3	45,4
	b	8	0,07	9,6	11,0	32,8	56,2
12	a	6,7	0,05	13,7	22,3	42,9	34,8
	b	7,8	0,17	7,9	14,4	39,3	46,3
13	a	6,6	0,23	22,0	26,1	37,6	36,3
	b	7,5	0,16	7,1	19,9	40,2	39,8
14	a	8,2	0,73	9,9	12,2	44,0	43,8
	b	8,2	2,08	8,1	15,0	41,1	43,9
15	a	7,3	0,40	19,1	21,9	32,9	45,2
	b	8,0	0,51	9,9	20,6	41,1	38,3
16	a	6,5	0,08	19,1	24,3	44,0	31,6
	b	7,4	0,10	8,8	26,4	42,5	31,1
17	a	7,2	0,10	16,5	27,0	42,6	30,4
	b	7,5	0,09	9,2	25,4	45,3	29,3
18	a	6,7	0,32	18,0	25,8	44,5	29,7
	b	7,1	0,40	11,0	27,5	41,7	30,8
19	a	8,2	0,67	9,2	10,9	47,1	42,0
	b	8,3	0,75	5,8	10,6	42,8	46,6
20	a	7,1	0,06	9,2	25,6	41,5	32,8
	b	7,3	0,10	9,9	24,5	38,3	37,2
21	a	7	0,05	17,3	23,9	50,1	26,0
	b	7,5	0,04	11,8	20,6	52,5	26,9
22	a	7,5	0,21	20,3	28,3	40,4	31,4
	b	7,6	0,18	10,3	34,6	35,6	29,9

[1] Nota: A cada punto en la grilla le corresponden dos códigos, uno superficial (a= 0-15 cm) y uno subsuperficial (b= 15-30 cm).

**Tabla 2. Clases texturales y estructura de capas superficial y subsuperficial**

Punto	Código	Profundidad	Clase textural <sup>[2]</sup>	Estructura <sup>[2]</sup>		
				Tipo	Clase	Grado
1	a	0-15	FA	BSA	M y F	D
	b	15-30	FA	BSA	F	D (TGS)
2	a	0-15	FA	BSA	M y F	M-D
	b	15-30	FA	BSA	F	D (TGS)
3	a	0-15	F/FaA	BSA	G y M	M-F
	b	15-30	F	BSA	M y F	M-F
4	a	0-15	FA	BSA	G y M	M
	b	15-30	FA	BSA	M y F	D
5	a	0-15	FA	BSA	M y F	M
	b	15-30	FA	BSA	M y F	M-D
6	a	0-15	FA/F	BSA	M y F	D
	b	15-30	FA	BSA	F	D
7	a	0-15	F	BSA	G y M	M
	b	15-30	F	BSA	M y F	M-F
8	a	0-15	F	BSA	M	M
	b	15-30	F	BSA	M y F	M
9	a	0-15	F	BSA	M	M-F
	b	15-30	F	BSA	G y M	M
10	a	0-15	F/FA	BSA	M	M
	b	15-30	F	BSA	M	M
11	a	0-15	F	BSA	M y F	D
	b	15-30	FA	BSA	M y F	D
12	a	0-15	F	BSA	M y F	M
	b	15-30	F	BSA	M y F	M
13	a	0-15	F/Fa	BSA	M	M-F
	b	15-30	F	BSA	M	F
14	a	0-15	F	BSA	M y G	M-F
	b	15-30	F	BSA	M y F	M-D
15	a	0-15	F	BSA	M y G	M-F
	b	15-30	F	BSA	M	M-F
16	a	0-15	F	BSA	M y F	M
	b	15-30	F/Fa	BSA	M	F-M
17	a	0-15	F/Fa	BSA	M y F	M-F
	b	15-30	F	BSA	M y F	M
18	a	0-15	F/Fa	BSA	M y F	M
	b	15-30	Fa/F	BSA	M y F	M
19	a	0-15	F	BSA	M y F	M
	b	15-30	F	BSA	M y F	M-D
20	a	0-15	F	BSA	M y G	M-F
	b	15-30	F	BSA	M	M-F
21	a	0-15	FL/F	BSA	M	M-F
	b	15-30	FL	BSA	M	M-F
22	a	0-15	Fa	BSA	M	M
	b	15-30	Fa	BSA	M y G	F

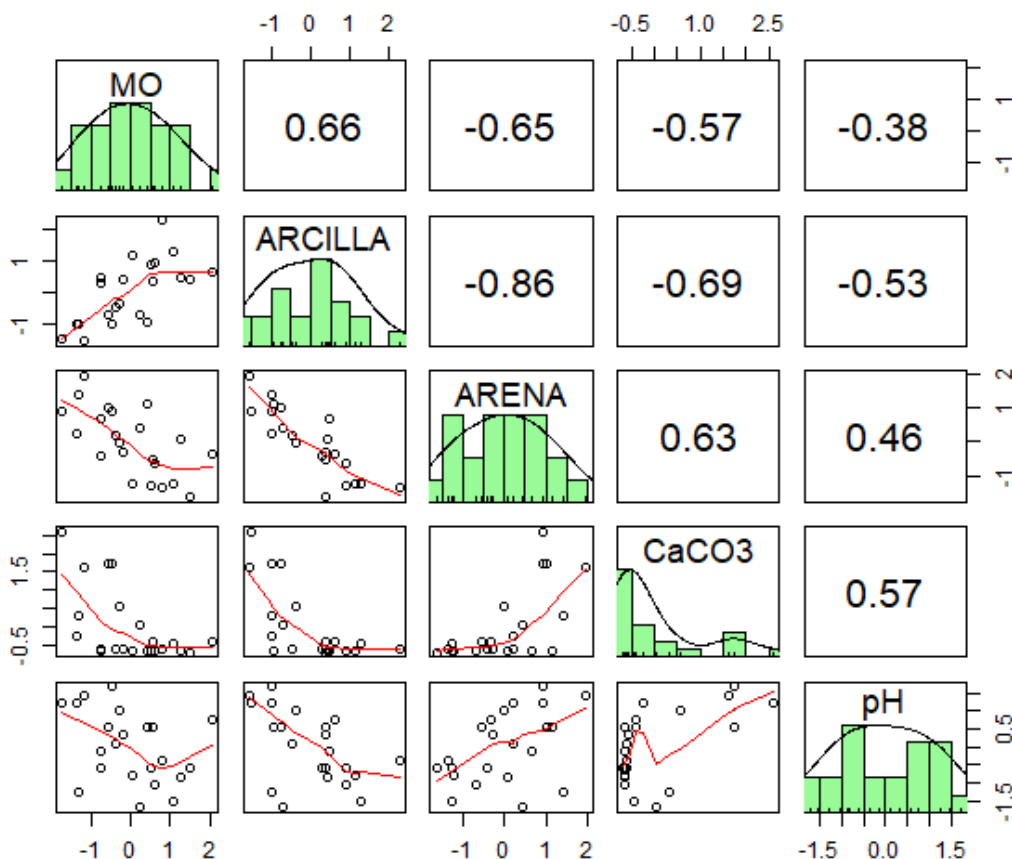
[2] Nota: F: franco; Fa: franco arcilloso; FaA: franco arcillo arenoso; FA: franco arenoso; TIPO: BSA= bloques subangulares; CLASE: F= finos, M= medios, G= gruesos; GRADO: D= débiles, M= moderados, F= fuertes.



Los puntos con buena estructura se asociaron en gran medida con texturas francas (F y Fa) y sedimentos loésicos finos, valores de arcilla más elevados, y contenidos de arena y  $\text{CaCO}_3$  más bajos. Los puntos con moderada a débil estructura se asociaron con texturas más gruesas (FA, FaA y A) y sedimentos más modernos moderadamente gruesos, presentando menores valores de arcilla, y mayores contenidos de arena y  $\text{CaCO}_3$ .

### 3.2 Correlaciones y Análisis Multivariado

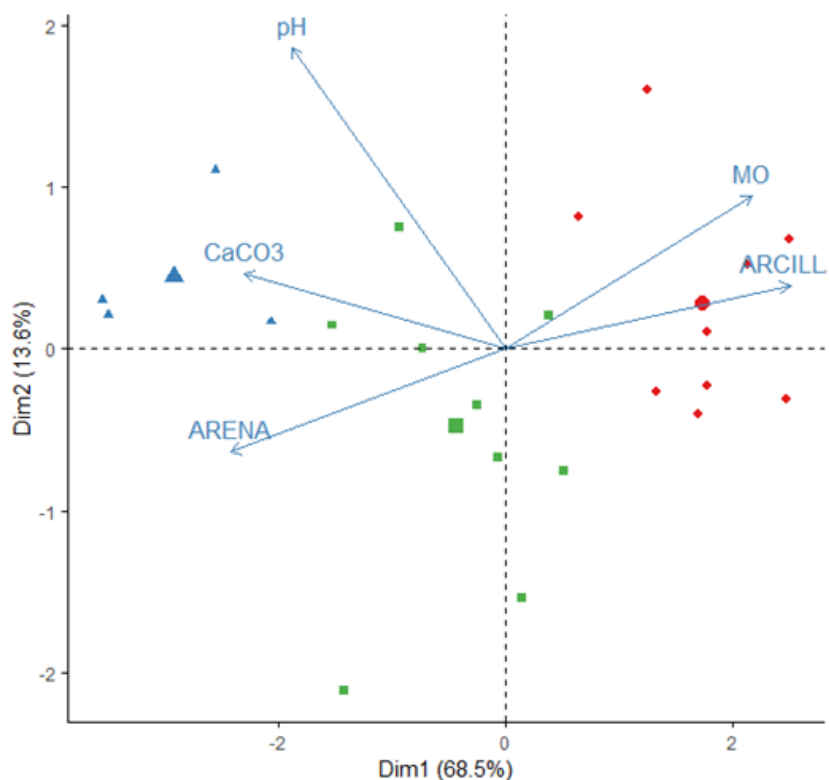
Las técnicas estadísticas permitieron observar objetivamente los vínculos entre las variables, la asociación de los puntos con los suelos observados en las calicatas y la identificación de parámetros que hacen posible discriminar estos suelos, funcionando como indicadores para observaciones futuras. En la Figura 7 se muestran las correlaciones entre variables, la matriz de dispersión de los datos en función de pares de variables y las distribuciones de los datos.



**Figura 7.** Matriz de dispersión, histograma y correlación entre variables.

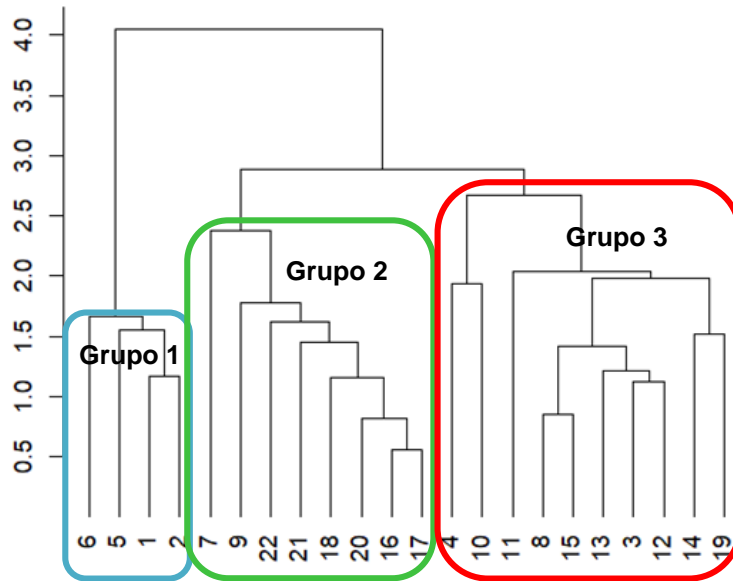
Las correlaciones más fuertes se observaron entre contenido de arcilla y contenido de arena, variables con alto grado de dependencia entre sí (correlación fuerte y negativa,  $r = -0.86$ ), y entre contenido de carbonato de calcio y arcilla (correlación moderada a alta y negativa,  $r = -0.69$ ). También se encontraron correlaciones menos estrechas (pero aún así significativas) entre el contenido de arcilla y MO ( $r = 0,66$ ) y arena con MO ( $r = -0,65$ ). Las relaciones más estrechas indican que los puntos con mayores contenidos de arena y carbonato tendieron a presentar valores más bajos de arcilla. La variable pH mostró menores correlaciones con las demás variables y por lo tanto no será considerada para el agrupamiento de poblaciones o la función discriminante.

El biplot de la Figura 8 permite la visualización de la variabilidad de los datos y la representación gráfica de la misma en función de los parámetros más sensibles en las muestras analizadas (en el gráfico de estrellas de la Figura 18 del anexo, p. 49, se puede observar a golpe de vista el grado de similaridad entre los puntos). Se observa un alto grado de variabilidad representada (82,1 %) que se asocia al contenido de arena, arcilla y carbonatos para la dimensión 1 (Dim1) y pH para la dimensión 2 (Dim2). Esta última variable no se consideró en la diferenciación de poblaciones debido a su escasa representatividad y baja sensibilidad. Las variables mejor representadas en el biplot (arena, arcilla y carbonatos) son también las que mayor correlación poseen entre sí, teniendo a su vez, relación con la calidad de la estructura como se describió previamente.

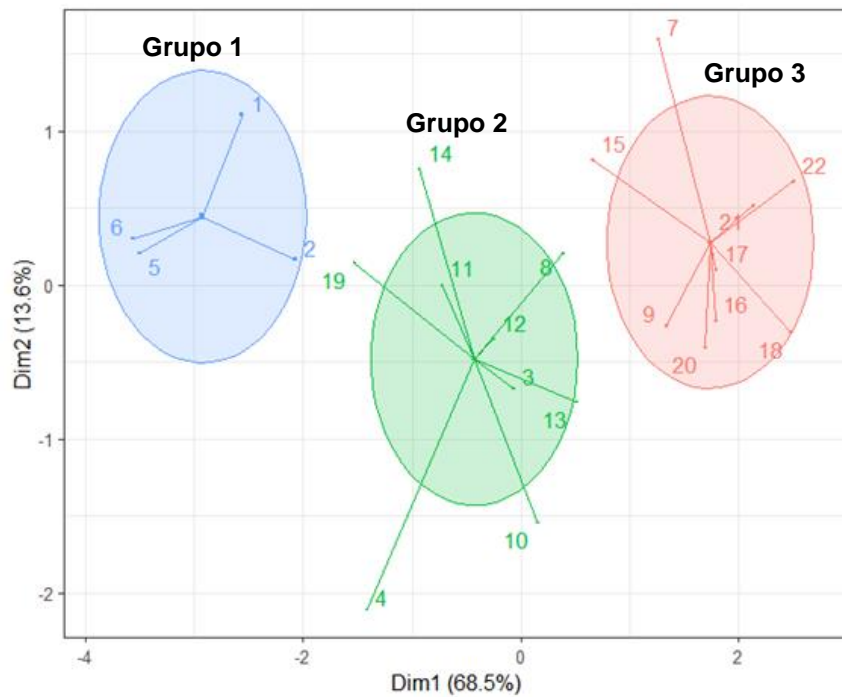


**Figura 8.** Biplot de los puntos en función de las dos componentes principales. Triángulos celestes: grupo 1, cuadrados verdes: grupo 2, círculos rojos: grupo 3. Los puntos de mayor tamaño indican los valores medios dentro de cada grupo. Fuente: Elaboración propia a partir del software R Studio (2022).

Por otra parte, las técnicas de partición (jerárquica y no jerárquica) coincidieron separando los puntos de muestreo en tres grupos, minimizando las diferencias dentro de los grupos y maximizándolas entre los grupos. Los resultados del agrupamiento se muestran en las Figuras 9 y 10.



**Figura 9.** Dendrograma con las distancias euclídeas entre las muestras. Agrupamiento en tres poblaciones con el método del Promedio de las Distancias. Fuente: Elaboración propia en base al software RStudio (2022).



**Figura 10.** Agrupamiento de muestras con el método K-medias. Fuente: Elaboración propia en base al software RStudio (2022).

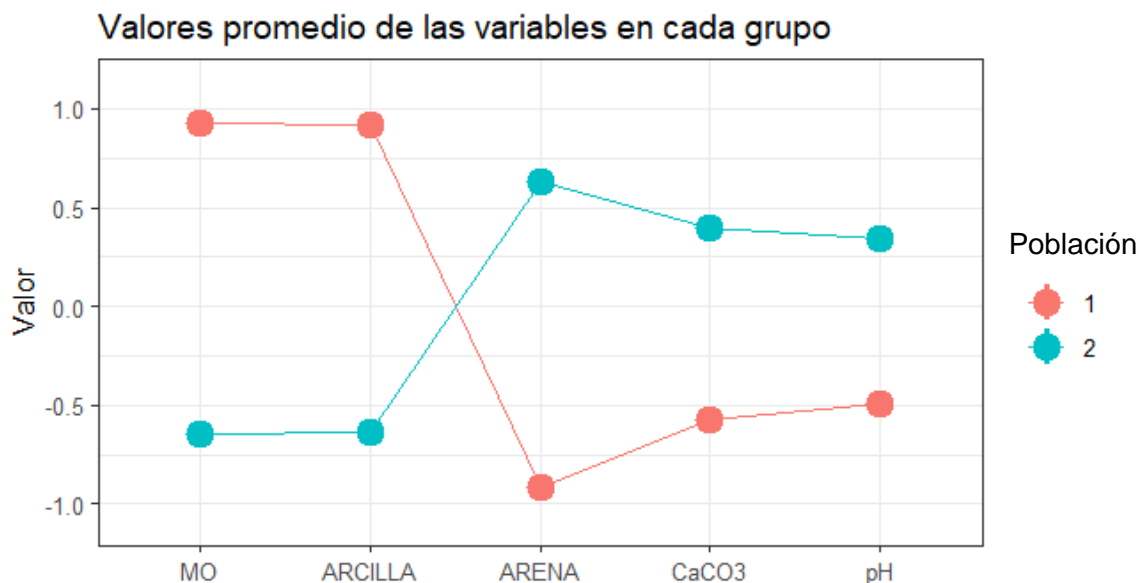
En los gráficos se observa la agrupación de muestras, donde el grupo 1 reúne los puntos con materiales gruesos (57 % de arena y 9 % de arcilla) y altos contenidos de carbonatos de calcio (alrededor de 4,4 %). El grupo 3 agrupa puntos con materiales más finos (34,3 % de arena; 24,8 % de arcilla) y carbonatos lavados (<0,2 %), mientras que los puntos en el grupo 2 presentan valores de arena y arcilla intermedios (arena: 48,1 %; arcilla: 15,1 %). Además, los contenidos de carbonatos en este grupo (0,71 %) son significativamente inferiores a los del cluster 1, pero son suficientes para generar una reacción moderada al ácido clorhídrico.

Por consiguiente, aunque estas técnicas sugieren la existencia de tres poblaciones, se utilizó un criterio agronómico y se reunieron los puntos del grupo 2 con los del grupo 1 en una misma población caracterizada por elevado contenido de arena (>40 %) y carbonatos (>0,5 %), acompañados de bajos valores de arcilla (<20 %). No obstante, los puntos 1, 2, 5 y 6 presentaron valores más marcados en estas variables, siendo los más extremos: 5,4 % de carbonatos, 64,9 % de arena y 6,4 % de arcilla. El criterio aplicado considera que los valores de  $\text{CaCO}_3$  son altos a partir de 0,5 %, (concentración en la que la reacción al ácido clorhídrico es totalmente evidente a campo), y que los valores de arena y arcilla en algunos puntos están muy cerca del límite de cambio textural a franco arenosa, por lo tanto las poblaciones se renombraron como: Grupo 3 → *Población 1* y Grupos 1 y 2 → *Población 2*.

Población 1: (7, 9, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22)

Población 2: (1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 19)

La Figura 11 muestra los valores medios estandarizados de MO, arcilla, arena,  $\text{CaCO}_3$  y pH. En la misma se puede apreciar claramente mayores diferencias entre ambas poblaciones para MO, arcilla y arena, y en menor grado para  $\text{CaCO}_3$  y pH, siendo esta última, la variable que menos se diferenció entre las poblaciones.



**Figura 11.** Valores medios para las variables estandarizadas en cada población. En rojo: valores medios de la Población 1, en celeste: valores medios de la Población 2. Fuente: Elaboración propia en base al software RStudio (2022).

**Tabla 3**

*Valores medios y desvíos de cada población con las variables sin estandarizar.*

Variable	MO (%)	ARCILLA (%)	ARENA (%)	CaCO3 (%)	pH
<b>Población 1</b>					
Media	<b>1.84</b>	<b>24.7</b>	34.5	0.224	7.54
Desvío	2.21	4.46	6.04	1.93	0.32
<b>Población 2</b>					
Media	1.27	13.2	<b>50.8</b>	<b>1.82</b>	<b>7.91</b>
Desvío	2.29	4.91	7.29	18.77	0.46

La Tabla 3 presenta los valores promedio de las variables en ambas poblaciones discriminadas previamente. Menores contenidos de arcilla están acompañados por mayores contenidos de arena, carbonatos y pH, mientras que se asocian a valores más bajos de MO. En este sentido, las variables asociadas a textura y contenido de carbonatos son de rápida y sencilla determinación a campo, requiriendo sólo un mínimo entrenamiento. Con respecto a pH, las diferencias entre poblaciones no son significativas en términos agronómicos, y presenta mayor dificultad para lograr determinaciones a campo con bajo error, utilizando métodos cualitativos o cuantitativos

simples como kit de ensayo o tiras reactivas de color. Debido a esto, no se considera al pH como una variable de aplicación práctica a campo.

### 3.2.1 Función Discriminante Lineal

$$LD1: -1.1858661 \text{ MO} - 0.833041 \text{ ARCILLA} + 0.7060633 \text{ ARENA} - 0.5257553 \text{ CaCO}_3$$

El resultado de esta función determina a qué grupo se asignan nuevas observaciones. Para los puntos utilizados como referencia, se puede observar su distribución en el espacio según pertenezcan a la población 1 o 2 en la Figura 12. Los resultados de la clasificación se presentan en la Tabla 8 del anexo (p. 50).



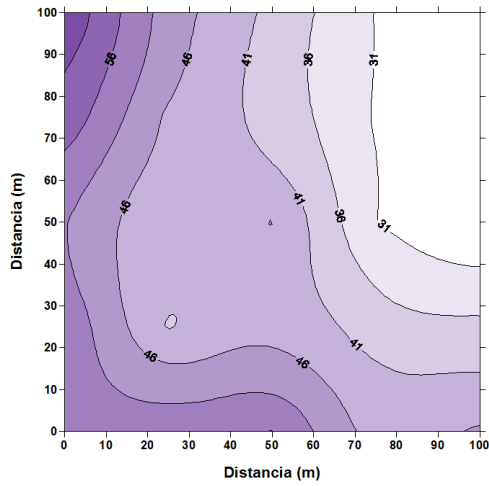
**Figura 12.** Puntos de muestreo clasificados mediante la función discriminante. Con números 1 y 2 se indica la población a la que pertenece cada punto. Fuente: Elaboración propia.

### 3.3 Mapas

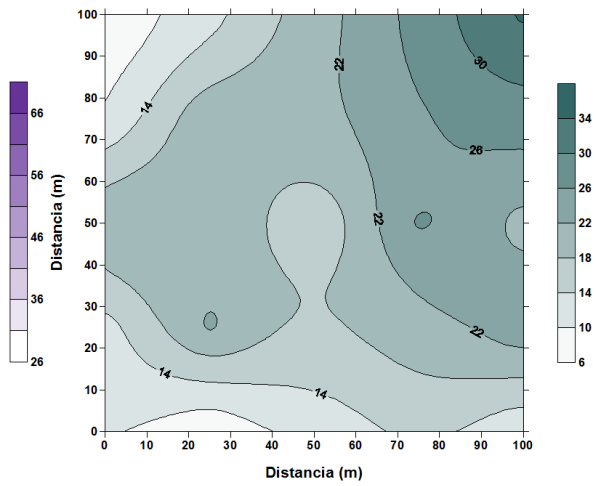
A continuación, se presentan los mapas de propiedades edáficas evaluadas en todos los puntos de la grilla.

En los mapas de contenido de arcilla, contenido de arena, contenido de carbonatos y pH se puede identificar un determinado patrón de distribución, que concuerda con las

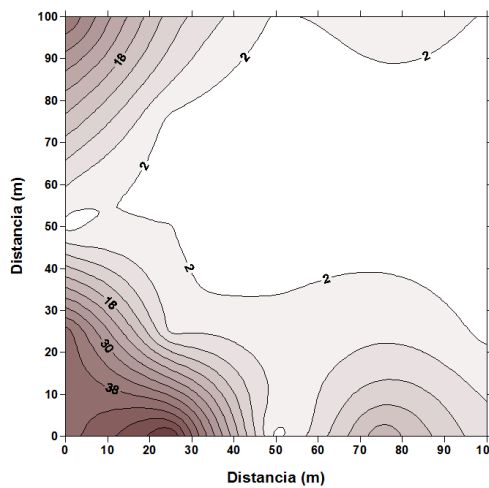
relaciones observadas entre las variables. Es para destacar la gran variabilidad de los parámetros analizados en una superficie limitada (1 ha), especialmente al considerar que el clima, relieve y la vegetación son homogéneos.



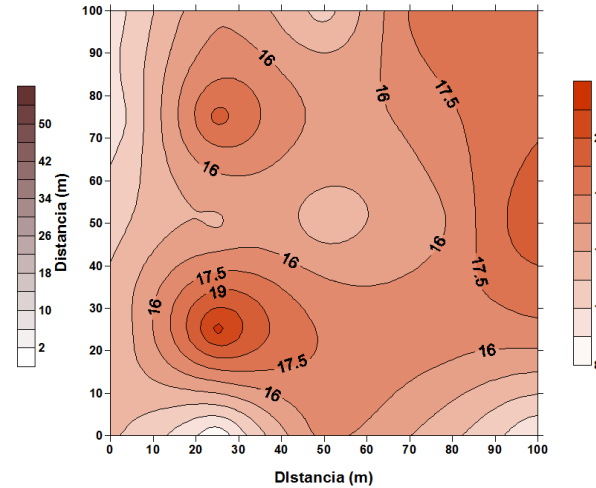
A) Contenido de arcilla (%)



B) Contenido de arena (%)

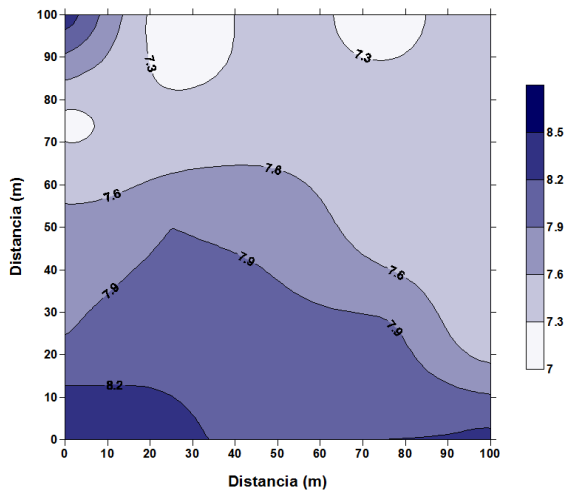


C) Contenido de CaCO<sub>3</sub> (%)



D) Contenido de MO (g.kg<sup>-1</sup>)





E) pH

**Figura 13.** (A, B, C, D y E) Distribución espacial de propiedades edáficas a la profundidad de 15-30 cm. Fuente: Elaboración propia en base al software Surfer 8, 2002.

### 3.4 Calicatas

Luego de la caracterización de los puntos de la grilla, se seleccionaron dos sitios para la apertura de calicatas y descripción morfológica de los suelos. Las Tablas 4 y 5 presentan los valores de laboratorio de ambos perfiles de suelo descritos en las calicatas.

**Tabla 4**

*Determinaciones analíticas Calicata 1.*

HORIZONTE	CO (%)	pH	CaCO <sub>3</sub> (%)	P (mg kg <sup>-1</sup> )	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)
<b>A1</b> (0-20 cm)	1,64	7,2	0,1	590	27,0	42,7	30,4
<b>A2</b> (20- 31cm)	0,92	7,5	0,1	550	25,4	45,4	29,3
<b>AC</b> (31-47 cm)	0,61	7,8	0,2	580	17,4	44,4	38,2
<b>C</b> (47-79 cm)	0,26	8	0,2	914	15,4	43,4	41,2
<b>2Ck</b> (+79 cm)	-	8,6	6	1142	10,4	22,3	67,3

**Tabla 5***Determinaciones analíticas Calicata 2*

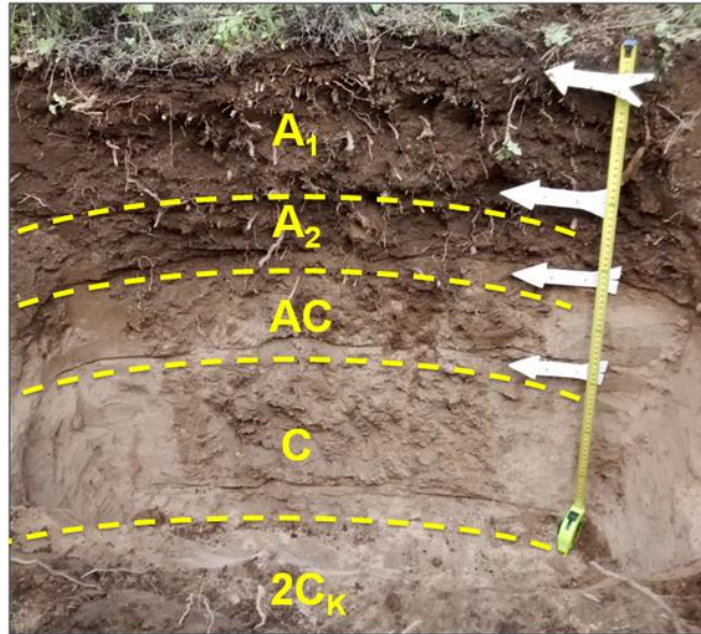
HORIZONTE	CO (%)	pH	CaCO <sub>3</sub> (%)	P (mg kg <sup>-1</sup> )	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)
A (0-18 cm)	1,26	7,8	2,6	491	12,4	34,0	53,6
C1 (18-48 cm)	0,62	8,1	4,3	448	12,4	32,6	55,0
C2 (48-80 cm)	0,52	8,1	5,5	417	12,9	35,7	51,5
2Ckm (+80 cm)	-	8,2	25	314	-	-	-

Los perfiles observados fueron significativamente diferentes. Se identificaron dos pedones presentes en el área, con distinta morfología y secuencia de horizontes (Figuras 14 y 15). Aunque no se realizaron la totalidad de los análisis requeridos por el Soil Taxonomy (2022) para su clasificación a nivel de serie, los suelos se clasificaron a nivel de subgrupo.

El *suelo 1* presenta mayor grado de evolución, dado que presenta mayor cantidad de horizontes genéticos edafizados (Calicata 1: A1-A2-AC-C-2Ck vs. Calicata 2: A-C1-C2-2Ckm); un horizonte A con rasgos de una melanización intensa; su estructura se encuentra más desarrollada y de mejores características respecto del *suelo 2* y los carbonatos han sido lavados hasta una profundidad considerable para el régimen de precipitaciones de la región (79 cm). Los sedimentos son eólicos del tipo loésicos finos, de texturas francas, a los 79 cm de profundidad se observa una discontinuidad litológica temporal definida por el horizonte 2Ck. Este horizonte presenta elevada acumulación secundaria de carbonatos, textura más gruesa y valores de fósforo total discordantes con el resto del perfil. Debido a la falta de humedad en los horizontes basales y al alto contenido y tamaño de las concreciones de carbonato de calcio en el horizonte 2Ck, no se pudo profundizar en el perfil realizando un esfuerzo razonable (con herramientas comunes como pala y barreno), más allá de los 79 cm por la dureza del sustrato, aunque el mismo no se encontrase cementado. No obstante, se asume la presencia de la capa de tosca, ubicua en toda la región, a una profundidad menor a 150 cm. Este suelo se clasificó como Paleustol petrocálcico (Tabla 6). En el tope del perfil se detectó una pequeña capa superficial (0-3 cm) de materiales pirogénicos mezclados con

sedimentos, suprayaciendo al horizonte A1 de la calicata 1, reforzando las observaciones realizadas por Ridino *et al.* (2017) (ver Figura 14).

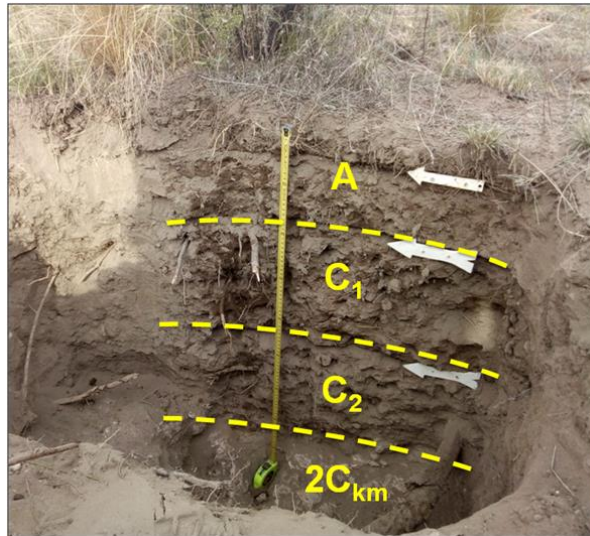
El *suelo 2* (Figura 15), en cambio, está conformado por sedimentos eólicos moderadamente gruesos que yacen directamente sobre la capa de tosca. Tiene mayor proporción de arena y textura franco arenosa en todo el perfil, sin presencia de horizontes argílicos. Presenta reacción al ácido clorhídrico desde la superficie, además valores de CO más bajos con respecto al *suelo 1*. Estos rasgos indican sedimentos más modernos con menor tiempo de evolución, ya que los carbonatos presentes en la masa aún no se han lavado; este suelo cumple con los requisitos de la taxa Calciustol petrocálcico (Tabla 7).



**Figura 14.** Secuencia de horizontes en el perfil de suelo 1 (Paleustol petrocálcico).

**Tabla 6.** Descripción morfológica del perfil de suelo 1

HORIZONTE	DESCRIPCIÓN
<b>A<sub>1</sub></b> <b>(0-20 cm)</b>	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; pardo (10YR 5/3) en seco; franco a franco arcilloso (arcilla=27%); bloques subangulares, medios a finos, moderados a fuertes; friable; poco consolidado a consolidado; sin reacción al HCl al 10%; raíces abundantes; límite gradual y plano
<b>A<sub>2</sub></b> <b>(20-31 cm)</b>	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; pardo (10YR 5/3) en seco; franco (arcilla=25%); bloques subangulares, medios a finos, moderados; friable a firme; consolidado; sin reacción al HCl al 10%; raíces abundantes; límite claro y plano
<b>AC</b> <b>(31-47 cm)</b>	Pardo (10YR 4/3) en húmedo; pardo claro (10YR 6/3) en seco; franco (arcilla=17%); bloques subangulares, medios y finos, moderados; firme; muy consolidado; sin reacción al HCl al 10%; raíces comunes; límite claro-gradual y plano
<b>C</b> <b>(47-79 cm)</b>	Pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo; pardo claro (10YR 6/3) en seco; franco (arcilla=15%); bloques subangulares, medios y finos, moderados; muy firme; muy consolidado; sin reacción al HCl al 10%; escasa presencia de carbonatos libres; raíces escasas; límite abrupto y ondulado
<b>2C<sub>k</sub></b> <b>(+79 cm)</b>	Pardo muy claro (10YR 7/3) en seco; franco arenoso (arcilla=10 %); estructura masiva; extremadamente duro; muy consolidado; fuerte reacción al HCl al 10 %; pseudomicelios y concreciones de CaCO <sub>3</sub> , abundantes rellenos de poros; sin raíces



**Figura 15.** Secuencia de horizontes en el perfil de suelo 2 (Calciustol petrocálcico) [3].

[3] Nota: En la Figura 8 se observa una marca a 5 cm de profundidad dentro del horizonte A. En laboratorio se descartaron diferencias entre ambas capas, y el conjunto fue tratado como un único horizonte.

**Tabla 7.** Descripción morfológica del perfil de suelo 2

HORIZONTE	DESCRIPCIÓN
<b>A (0-18 cm)</b>	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; pardo grisáceo (10YR 5/2) en seco; franco arenoso (arcilla=12%); bloques subangulares medios y finos, débiles; friable; poco consolidado a consolidado; moderada reacción al HCl al 10%; escasas concreciones alóctonas de CaCO <sub>3</sub> con abundante material suelto; raíces comunes; límite gradual y plano
<b>C1 (18-48 cm)</b>	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; pardo grisáceo claro (10YR 6/2) en seco; franco arenoso (arcilla=12%); bloques subangulares, finos, débiles, tendencia a grano suelto; muy friable a suelto; poco consolidado a consolidado; fuerte reacción al HCl al 10 %; escasas concreciones alóctonas de CaCO <sub>3</sub> ; raíces escasas; límite gradual y plano
<b>C2 (48-80 cm)</b>	Pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; gris claro 10YR 7/2 en seco; franco (arcilla= 13%); bloques subangulares, finos, débiles, tendencia a grano suelto; muy blando a suelto; consolidado; fuerte reacción al HCl al 10%; comunes concreciones alóctonas de CaCO <sub>3</sub> ; raíces escasas; límite abrupto y ondulado
<b>2Ckm (+80 cm)</b>	Horizonte petrocálcico (tosca)

#### 4. Discusión

Los resultados indican la presencia de al menos dos taxas de suelo de diferentes materiales parentales y tiempos de evolución en el área relevada, de las cuales sólo una ha sido reportada previamente en la literatura de referencia para la subregión de las mesetas y depresiones alargadas cubiertas con arenas y rodados de vulcanitas. Con respecto al *suelo 1*, clasificado como Paleustol petrocálcico, la caracterización provista por INTA- UNLPam (1980) no lo identifica dentro de esta subregión. Incluso, no se mencionan depósitos loéssicos finos libres de carbonatos en superficie (más antiguos) que forman estos suelos, dentro de los materiales parentales reconocidos, que sí se refieren en la Hoja Geológica 3963-I Río Colorado, y que fueron observados en este trabajo con alta representatividad en la parcela. Es oportuno destacar que se mencionan materiales parentales de características similares, texturas francas y franco limosas en los horizontes superiores, dentro de la subregión contigua boreal (de las mesas, depresiones y bajos sin salida). En el anexo se presenta la descripción de un perfil originado a partir de este tipo de materiales (Figura 19 anexo, p. 51).

El *suelo 2*, clasificado como Calciustol petrocálcico, se describe en la unidad cartográfica Cpt2+Tu1, aunque asociado a una posición en el paisaje diferente (llanos altos). No obstante, para estos suelos se señala una discontinuidad litológica antes de alcanzar la capa de tosca, determinada por la aparición de horizontes franco limosos (correspondientes a F. Co. Azul), característica que no se comparte con los perfiles descritos en este trabajo. También se reporta esta taxa en la unidad cartográfica Cpt2 de la misma subregión.

Es conocido que los aspectos morfológicos y propiedades del suelo son el resultado de procesos pedogenéticos determinados por la acción de los factores formadores en un área particular. Aunque correlacionar las comunidades vegetales, el clima y el relieve en un área determinada con el tipo de suelo subyacente permite comprender los procesos de formación de suelos e inferir características de los mismos, como hacer algunas presunciones sobre su distribución espacial, el suelo que se observa es un cuerpo natural complejo que resulta de la interacción de múltiples factores y procesos ocurridos hasta el momento de su observación (Blanco y Stoops, 2007). Este sector del Caldenal, en uniformidad de factores pedogenéticos y bajo un mismo manejo que se ve alterado de forma espontánea por la acción del fuego, evidenció variabilidad edáfica significativa entre puntos de muestreo dentro de superficies pequeñas, vinculada a la ocurrencia de pulsos erosivos y acreción de materiales, que generaron varios pedones con características diferenciales (poligénesis). La ocurrencia de diferentes pedones no

se relaciona con el relieve actual, aunque sí guarda relación con la profundidad a la capa de tosca que revela una topografía ondulante preexistente. Las taxas se presentan en un patrón íntimamente asociadas, no pueden segregarse a una escala de 1:1.000 (mucho menos a una escala de 1:24.000), conformando un complejo de suelos, en lugar de una asociación. La existencia de un complejo sistema de terrazas y paleocauces en esta región demuestra un alto dinamismo durante la evolución de los suelos. La coexistencia de suelos con diferentes grados de desarrollo pedogenético, y diferentes materiales originales bajo el mismo tipo de cubierta vegetal natural y dentro de un paisaje actual con microondulaciones que no justifican las diferencias entre los suelos, representa una discontinuidad temporal y litológica, dentro de y entre pedones, involucrando al menos tres estadios en la evolución del paisaje. La capa de tosca marca un hiatus representativo de los períodos de denudación, durante los cuales los sedimentos superficiales habrían sido erodados en distinta magnitud (González Uriarte, 1984).

Amiotti *et al.* (2001) describieron la génesis de suelos con rasgos similares en el noroeste del partido de Villarino, a 30 km del sitio de estudio de este trabajo. Los perfiles caracterizados mostraban rasgos particulares, vinculados a la forma en que fueron afectados por los diferentes pulsos de erosión y deposición, según su posición en el paleomicrorelieve.

En línea con dichos autores, en el *suelo 1* se pueden observar al menos tres ciclos de erosión y deposición de materiales, y dos discontinuidades litológicas y temporales en el perfil. Por un lado, la capa de tosca correspondiente al Neógeno, y por otro el horizonte 2Ck, mucho más reciente que la tosca, también con fuerte reacción al HCl y depositado durante el periodo Holoceno. Como último pulso de acreción de materiales (del suelo 1), se encuentran aquellos suprayacentes al 2Ck, correspondiente al ciclo pedogenético actual (suelo análogo al descrito en la serie Vizcachera por Amiotti *et al.*, 2001). Entre los materiales actuales y el horizonte 2Ck se manifiestan contenidos de P total y arcillas discordantes, compatibles con una discontinuidad, como también se observó en la reacción al HCl. En el *suelo 2* los sedimentos depositados en el último ciclo pedogenético se apoyan directamente sobre la capa de tosca y con elevada homogeneidad entre horizontes, lo que indica un grado incipiente de evolución.

La presencia de rasgos marcados en cada perfil sugieren que los parámetros textura al tacto, reacción al HCl y estructura a campo son viables para la diferenciación de suelos *in situ*, ya que reacción al HCl desde superficie, texturas gruesas y estructuras débiles permiten distinguir materiales gruesos con menor tiempo de evolución asociados al

*suelo 2*, de aquellos relacionados al *suelo 1* sin reacción superficial al HCl, texturas más finas y mejor calidad de estructura. Por su parte, MO es una propiedad que está estrechamente ligada a textura y estructura, presentando mayores valores en los suelos finos. Por su parte, el pH no presentó grandes diferencias entre ambos suelos, por lo tanto no es un parámetro sensible para discriminar los suelos observados.

La representatividad aproximada del *suelo 1* y el *suelo 2* en el área estudiada, según la cantidad de puntos asociados a cada uno, sería 40 % y 60 %, respectivamente. Aunque en áreas aledañas dentro de la geoforma se presume un patrón similar al observado en el área modelo, es plausible que exista variabilidad adicional a la captada en esta superficie.

La función discriminante lineal hallada constituye una herramienta valiosa para la identificación de suelos, permitiendo clasificar futuras observaciones en el área. Ésta metodología tendría utilidad especialmente en planteos de reconocimiento edafológico a una escala provincial, por ejemplo. Para su correcto funcionamiento, es determinante contar con un adecuado set de datos de entrenamiento previo.

El clasificador no se pudo validar debido a que no se cuenta con nuevos datos y el conjunto de datos disponible es muy pequeño para dividir la muestra y usar parte de los datos en la construcción de la función y parte de ellos para validarla.



## 5. Conclusiones

La asociación de suelos a las grandes geoformas actuales subestima la variabilidad presente debida al alto dinamismo y a la historia evolutiva de los suelos de esta región. La caracterización edáfica realizada en los horizontes superficiales y subsuperficiales propuestos en una red rígida de puntos, permitió conocer la distribución horizontal de fracciones granulométricas, contenido de carbonato, materia orgánica y pH de los suelos en el espacio. La realización de calicatas y descripción de perfiles edáficos confirmó la presencia de más de un suelo en el área modelo, por lo cual se acepta la primera hipótesis. El suelo 1 clasificado como Paleustol petrocálcico, está compuesto por sedimentos loésicos de textura franca y un mayor desarrollo pedogenético con una secuencia de horizontes A-AC-C-2Ck-3Ckm. El suelo 2 clasificado como Calciustol petrocálcico está formado por sedimentos más modernos, de textura franco arenosa, menor evolución y una secuencia de horizontes A-C1-C2-2Ckm.

La distribución de los suelos se pudo asociar a variables concretas de fácil determinación a campo. Textura al tacto, nivel de reacción al ácido clorhídrico y estructura en el horizonte subsuperficial, son parámetros seleccionados para inferir de forma expeditiva el perfil asociado a nuevas muestras de suelo, lo que permite aceptar la segunda hipótesis. No se descarta variabilidad adicional, insinuada por el análisis de agrupamientos, pudiendo existir una o más taxas de suelo no contempladas en este trabajo por fuera del área de estudio.

Con la información recopilada se puede concluir que bajo condiciones homogéneas de clima, cubierta vegetal, y relieve actual coexisten al menos dos suelos (Paleustol petrocálcico y Calciustol petrocálcico) de diferente material parental y tiempo de evolución a una distancia de alrededor de 100 m uno de otro (escala de ultradetalle: ~1:1000). A futuro, es recomendable hacer nuevas mediciones dentro del paisaje plano y validar el clasificador lineal (función discriminante).

## 6. Referencias Bibliográficas

- Amiotti, N., Blanco, M.C., y Sánchez, L.F. (2001). Complex pedogenesis related to differential aeolian sedimentation in microenvironments of the southern part of the semiarid region of Argentina. *Catena* 43, pp. 137-156.
- Appezatto, A. (2014). *Evolución del paisaje de la cuenca hidrográfica inferior del Río Colorado (provincias de La Pampa y Buenos Aires)* (Tesis de grado). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- Bidart, S. M. (1992). Clasificación de los sedimentos eólicos del Pleistoceno tardío-Holoceno del sur bonaerense. Una propuesta. En: IV Reunión Argentina de Sedimentología, Actas II, pp.159-166.
- Bidart, S. M. (2015) Consideraciones genéticas de los sedimentos loésicos del Pleistoceno Tardío – Holoceno en el sudoeste bonaerense. Trabajo presentado en VI Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. Laboratorio de Cuaternario y Geomorfología CADIC-CONICET. Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina. Abril de 2015. Libro de resúmenes, pp. 39-40.
- Blanco, M. del C., y Stoops, G. (2007). Genesis of pedons with discontinuous argillic horizons in the Holocene loess mantle of the southern pampean landscape, Argentina. *Journal of south American Earth science*, 23, pp. 30-45.
- Cabrera, A. L. (1976). Regiones fitogeográficas argentinas, *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería* (Tomo II, Fascículo I, pp. 1-85). ed. L. R. Parodi. Buenos Aires, Argentina: ACME S.A.C.I.
- De Villalobos, A. E., y Peláez, D. V. (2015). Functional Responses of Woody *Prosopis caldenia* Seedlings to Drought and Livestock Grazing in Semiarid Rangelands of Argentina. *Arid Land Research and Management*, 29(4), pp. 487-502.
- Duval, V.S. y Cámara-Artigas, R. (2021). Diversidad y captura de carbono en un bosque secundario de caldén (*Prosopis caldenia*) en La Pampa, Argentina. *Estudios Geográficos* 82 (291).
- Etcheverría, M. P., y Folguera, A. (2014). Los calcretes del sudeste de la provincia de La Pampa: caracterización y origen. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 71(1), pp. 92-99.
- Fernández, O. A. y Busso, C. A. (1999). Arid and semi- arid rangelands: two thirds of Argentina. *Rala report* (200), pp. 41-60.

- Folguera, A., Etcheverría, M., y Zárate, M. (2015a). Geomorfología del sur de la llanura pampeana. Trabajo presentado en VI Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología de la Asociación Argentina de Cuaternario y Geomorfología. Laboratorio de Cuaternario y Geomorfología CADIC-CONICET. Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina. Abril de 2015. Libro de resúmenes, pp. 272-273.
- Folguera, A., Etcheverría, M. P., Zárate, M., Miranda, F., Faroux, A. J., Getino, P. R., y Franchi, M. (2015b). *Hoja Geológica 3963-I, Río Colorado. Provincias de La Pampa, Buenos Aires y Río Negro*. Boletín 410, 70p. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires.
- González Uriarte, M. (1984). Características geomorfológicas de la porción continental que rodea la Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires. Trabajo presentado en IX Congreso Geológico Argentino. San Carlos de Bariloche, Río Negro, Argentina. Actas III, pp. 556-576.
- Harris, W. N., Moretto, A. S., Distel, R. A., Boutton, T. W., y Bóo, R. M. (2007). Fire and grazing in grasslands of the Argentine Caldenal: Effects on plant and soil carbon and nitrogen. *Elsevier* 32(2), pp. 207-214.
- INTA- UNLPam (1980). Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la provincia de La Pampa. Clima, geomorfología, suelo y vegetación. 2° edición. Buenos Aires.
- Jenny, H. (1941). *Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology*. Dover Publications, New York, 281.
- Johnson, R.A. and Wichern, D.W. (2002) *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 5° edición. Prentice Hall, New Jersey.
- Kuo, S. (1996). Phosphorus. In: *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*, 5.3. SSSA Book Series nº 5. Segoe Rd., Madison, WI 53711, USA.
- Nelson, D., y Sommers, L. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. In: *Methods of Soil Analysis. Part 3 Chemical Methods*. SSSA Book Series nº 5. Segoe Rd., Madison, WI 53711, USA.
- Peláez, D. V., Bóo, R. M., Mayor, M. D., Elía, O. R., y Martínez, S. A. (2009). Effect of post-fire defoliation on growth of two perennial native grasses in the Caldenal, Argentina. *Phyton* 78, pp. 4-11.
- Peláez, D. V., Andrioli, R. J., Elía, O. R., Bontti, E. E. y Tomas M. A. (2012). Response of woody species to different fire frequencies in semiarid

- rangelands of central Argentina. *The Rangeland Journal* 34(2), pp. 191-197. <https://doi.org/10.1071/RJ11050>.
- Peláez, D. V., Andrioli, R. J., Elía, O. R., Bontti, E. E., Tomas, M. A., y Blázquez, F. R. (2013). Response of grass species to different fire frequencies in semi-arid rangelands of central Argentina. *The Rangeland Journal*, 2013(35), pp. 385-392. <http://dx.doi.org/10.1071/RJ13025>.
- Peláez, D. V., Blázquez, F. R., y Andrioli, R. J. (2020). Fire in the southern Caldenal rangelands, Argentina. Trabajo no publicado.
- QGIS Development Team, 2020. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org>.
- Ridino, S., Garay, M., y Schulz, M. E. (2017). Propiedades físico-químicas de un suelo y efecto de una quema espontánea sobre el pH edáfico. Trabajo presentado en III Jornadas Nacionales de Suelos de Ambientes Semiáridos de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. Septiembre de 2017. Libro de actas, pp. 220-224.
- RStudio Team (2022). RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- R Core Team. (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rodríguez, A. y Muñoz, A. (2020). Análisis climático del Valle Medio y Río Colorado. Caracterización agrometeorológica y cartografía de suelos. INTA Ediciones. Colección "Recursos". Centro Regional Patagonia Norte. Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle.
- Soil Science Division Staff. (2017). Soil survey manual. C. Ditzler, K. Scheffe, y H.C. Monger (eds.). USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Soil Survey Staff. (2022). Keys to Soil Taxonomy, 13th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service.
- Surfer 8.02. (2002). PO Box 281. Golden Software, Inc. Golden, CO 80402-0281 USA. <http://www.goldensoftware.com/>
- Thorntwaite, C.W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55–94.
- Vázquez, P. 2014. La ecuación suelo-paisaje, los sensores remotos y la actualización de la cartografía edáfica de la provincia de la pampa. Publicación técnica nº 98. INTA Ediciones. Colección "Investigación,

desarrollo e innovación". [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_pt\\_n\\_98.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_pt_n_98.pdf)

Vendramini Marini, A. S. (2018). *Evaluación de potencialidad turística y percepción del residente en la Comarca del Colorado (Río Colorado, Río Negro - La Adela, La Pampa)* (Tesina de grado). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

Villamil, M.B., Amiotti, N. y Peinemann N. (2001). Soil Degradation Related to Overgrazing in the Semi-Arid Southern Caldenal Area of Argentina. *Soil Science 166*(7):441-452. 10.1097/00010694-200107000-00002.

## 7. Anexo

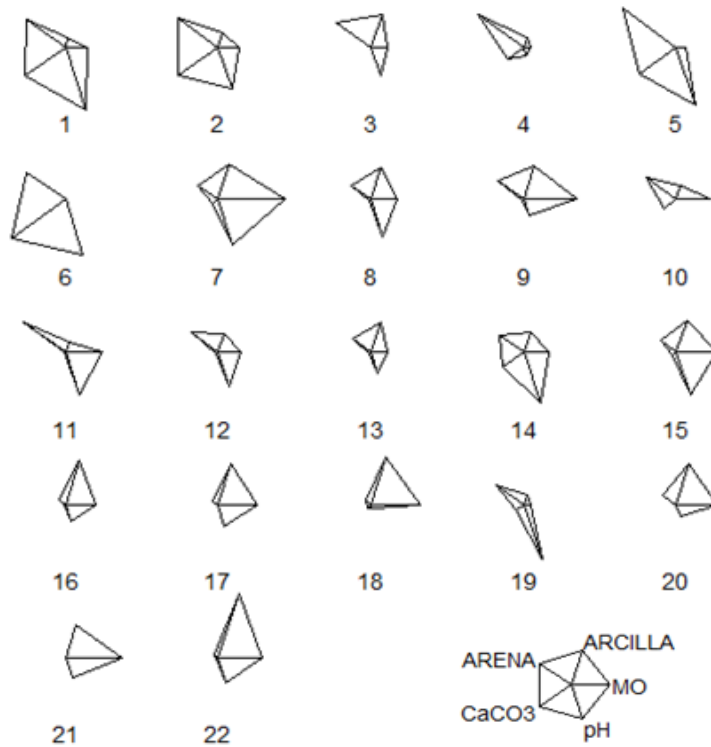


**Figura 16.** Perfil de elevación en un corte de 1000 m con orientación N-S. Fuente: Elaboración propia en base al SIG Google Earth Pro, 2023.

Era	Período	Unidad Geológica	Litología principal	Ambiente	
C E N O Z O I C O	C U A T E R N A R I O	HOLOCENO	Depósitos eólicos	Arenas	Eólico
			Depósitos de bajos y lagunas	Limos y arcillas	Fluvio-lacustre
			Depósitos evaporíticos	Arcillas, cloruros y sulfatos	Lacustre efímero
		PLEISTOCENO-HOLOCENO	Depósitos aluviales y coluviales	Arenas, gravas y limos	Fluvial
			Depósitos aluviales	Arenas, limos y gravas	Fluvial
			Depósitos loésicos	Arenas finas y limos	Eólicos
	N E Ó G E N O	PLIOCENO	Calcrete III	Calcarenitas	Lacustre/evaporítico
			Areniscas de la Blanca Grande	Areniscas finas y conglomerados	Fluvial
			Calcrete II	Calcarenitas	Pedogenético
			Depósitos aluviales antiguos	Arenas, gravas y limos	Fluvial
			Rodados del río Colorado	Areniscas y conglomerados polimícticos.	Fluvial
			Fm. Río Negro	Areniscas, limolitas, arcillitas y niveles cineríticos.	Fluvial
		MIOCENO	Calcrete I	Calcarenitas	Pedogenético
			Areniscas de los Viejos	Areniscas y areniscas conglomerádicas	Fluvial
			Fm. Cerro Azul	Limolitas y areniscas limosas	Eólico y fluvial
			Fm. Barranca Final	Limolitas y areniscas	Marino somero

**Figura 17.** Cuadro estratigráfico de la Hoja Río Colorado. Sedimentos que componen los materiales parentales de los suelos actuales. Fuente: Folguera et al., 2015b.

## Puntos de Muestreo



**Figura 18.** Diagrama de estrellas. Similaridad entre puntos de muestreo. Los puntos que comparten dimensiones o "rayos" más (o menos) desarrollados presentan mayor grado de similitud entre sí. Fuente: Elaboración propia en base al software RStudio (2022).



**Tabla 8.** Resultados del cálculo de la función discriminante para cada observación.

<b>Punto</b>	<b>Población 1</b>	<b>Población 2</b>
1		1.6218037
2		1.6165323
3		0.9409619
4		2.8905647
5		3.3431013
6		3.2213761
7	-2.7434451	
8	-0.1923916	
9	-1.4965265	
10		0.4881835
11		0.8075152
12		0.8027856
13		0.3774070
14		0.5026314
15	-1.1349312	
16	-1.4796667	
17	-1.8183585	
18	-2.6299361	
19		2.1238176
20	-1.5245695	
21	-2.7696394	
22	-2.9472157	

Descripción de un *Haplustol arídico*.

Calicata N° 448C, descrita y muestreada en el departamento Caleu-Caleu a 77 km al NNE de La Adela.

Situación: Latitud 38°23' S, Longitud 63°36' W, Altitud 129 metros.

Pendiente: 0 %.

Relieve: Subnormal (llano).

Grado de desarrollo del perfil: Débilmente desarrollado.

Escurrimiento: Lento.

Permeabilidad: Moderadamente rápida.

Drenaje natural: Bien drenado.

Salinidad: No salino.

A1 0-25 cm; pardo (10YR 5/3) en seco y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; franco; estructura en bloques subangulares finos moderados; suelto; friable, no plástico, no adhesivo; pH 6,2; límite inferior claro, suave; raíces abundantes.

AC 25-50 cm; pardo amarillento (10YR 5/4) en seco y pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo; franco; ligeramente estructurado; suelto, muy friable, no adhesivo, no plástico; pH 7,3; límite inferior abrupto, suave.

C1ca 50-80 cm; blanco (10YR 8/2) en seco, pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo; estructura masiva, franco, pH 8,2; fuerte reacción al calcáreo en la masa; límite abrupto hacia manto de tosca.

IIR 80- + cm. tosca.

Los datos analíticos del perfil descrito se consignan en el Cuadro N° CI.

Descripción de la vegetación (Perfil 448). Pastizal de herbáceas rizomatosas.

Estrato arbóreo alto. Altura 4-8 m. Cobertura 1 %. *Prosopis caldenia* +.

DATOS ANALÍTICOS DEL PERFIL N° 448C

HORIZONTE	A1	AC	C1
Profundidad de la muestra, en cm.	5-20	30-45	60- 75
Materia orgánica, %	2,94	1,29	0,55
Carbono orgánico, %	1,71	0,75	0,32
Nitrógeno total, %	0,179	0,079	0,041
Relación C/N	10	9	8
Arcilla, 2 µ, %	22,44	24,90	X
Limo, 2-50 µ, %	31,57	30,43	X
Arena muy fina, 50-74 µ, %	12,59	12,48	X
Arena muy fina, 74-100 µ, %	18,88	18,23	X
Arena fina, 100-250 µ, %	12,99	12,90	X
Arena media, 250-500 µ, %	0,57	0,38	X
Arena gruesa, 500-1.000 µ, %	0,56	0,55	X
Arena muy gruesa, 1-2 mm, %	0,40	0,13	X
Calcáreo, CaCO <sub>3</sub> , %	0	0	20
Equivalente de humedad, %	20,64	22,23	29,41
pH en pasta	6,2	7,3	8,2
pH en agua, 1:2,5	6,6	7,9	8,7
Cationes de cambio, m.e./100 g:			
Ca <sup>++</sup>	15,45	X	X
Mg <sup>++</sup>	2,72	X	X
Na <sup>+</sup>	1,05	1,33	1,46
K <sup>+</sup>	2,47	2,76	3,33
H <sup>+</sup>	3,50	X	X
Suma de bases, m.e./100 g (S)	21,69	X	X
Capacidad de intercambio de cationes, m.e./100 g (T)	22,66	22,88	24,13
Saturación con bases (S/T)	96	X	X

Figura 19. Caracterización de un perfil de suelo con materiales parentales finos descrito en la subregión de las mesas, depresiones y bajos sin salida. Texturas francas (a= 23,5 %; A= 45 %), pH alrededor de 7.2 en los horizontes superiores, sin reacción al ácido clorhídrico hasta una profundidad de 60 cm, a partir de la cual presenta reacción fuerte (20 % de carbonatos de calcio), con la capa de tosca a los 80 cm de profundidad. Fuente: INTA-UNLPam, 1980.