

# La ecuación suelo-paisaje, los sensores remotos y la actualización de la cartografía edáfica de la provincia de La Pampa

Pablo Vázquez



# La ecuación suelo-paisaje, los sensores remotos y la actualización de la cartografía edáfica de la provincia de La Pampa

---

***Pablo Vázquez***

Área de Gestión Ambiental y Recursos Naturales  
EEA INTA Anguil  
RN 5 km 580, (6300) Anguil, La Pampa.  
*vazquez.pablo@inta.gob.ar*



EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas"  
**Instituto Nacional de  
Tecnología Agropecuaria**

---

**Diseño Gráfico**

Dis. Gráf. Francisco Etchart

Tirada de 500 ejemplares

*Septiembre de 2014*



**EDICIONES INTA**

EEA INTA Anguil Ing. Agr. Guillermo Covas  
(6326) Anguil, La Pampa, Argentina.

# resumen

Se actualizó la cartografía edáfica de la provincia de La Pampa (escala 1: 500.000) a una mejor resolución espacial (1:100.000) aplicando la ecuación suelo-paisaje descrita por Dokuchaev. La identificación de paisajes a partir de un modelo digital de terrenos permitió inferir la ubicación de los suelos representativos (unidades taxonómicas) en las toposecuencias típicas descritas para cada subregión en el trabajo original. Este trabajo pretende demostrar la factibilidad de actualizar cartografía, con un bajo costo en recursos humanos, tiempo y dinero. Los modelos que operan a escala de paisaje requieren de información detallada para realizar adecuados pronósticos, y esta metodología simple facilita su disponibilidad.

**Palabras clave:** suelos, modelo digital de terreno, modelo ecológico, paisaje.

---

# abstract

## **SOIL-LANDSCAPE EQUATION, REMOTE SENSORS AND EDAPHIC CARTOGRAPHY ADJUSTMENT FOR LA PAMPA PROVINCE**

Edaphic cartography of La Pampa province (scale 1: 500,000) was updated to better spatial resolution (1:100,000) applying soil-landscape equation described by Dokuchaev. Landscapes identification from a digital terrain model allowed inferring the location of representative soils (taxonomic units) in typical topo-sequences described for each sub-region in the original work. This paper aims to demonstrate the feasibility of human resources, time and money low-cost mapping update. The models that operate at the landscape scale require detailed information to make appropriate forecasts, and this simple methodology facilitates availability.

**Keywords:** soils, digital elevation model, ecological model, landscape.

---

## INTRODUCCIÓN

En los diferentes ecosistemas terrestres, la biota coexiste con el suelo como parte de un sistema que se retroalimenta. Esto significa que en sistemas naturales, un suelo, definido por sus propiedades físicas y químicas, está asociado a una típica combinación de especies en el marco de un paisaje. Esto convierte al suelo en una pieza fundamental al momento de modelar procesos ecológicos a escala regional o más detallada (Ballabio et al 2012).

El levantamiento de suelos es el proceso de determinación del patrón de cobertura de suelos, comprendiendo las relaciones suelo-paisaje (Rossiter 2000). El concepto suelo-paisaje sostiene que si se conocen las relaciones existentes entre los suelos y su entorno en un área, se pueden inferir las propiedades edáficas presentes en cada sitio (figura 1). Dokuchaev (1886) fue el primero en reconocer que el suelo obedece a leyes deterministas y que su estado actual se asocia a diferentes fenómenos de la naturaleza. Así creó una nueva ciencia: la Почвоведение (Edafología), y consideró al suelo como un ente complejo, estructurado y dotado de regímenes cíclicos (diarios, mensuales y anuales). Por tanto, lo coloca dentro de los conjuntos naturales, lo que contribuye al desarrollo de la Ecología.

Si bien existe un mapeo edafológico de todo el territorio argentino a escala 1:500.000, solo las regiones más productivas (Pampa húmeda y zonas bajo riego) cuentan con cartografía semidetallada o detallada (INTA 1974-1997), aptas para abastecer de información a modelos de procesos ecológicos que operen a escala de paisaje.

La actualización de la cartografía edáfica es dificultosa debido a los costos operativos que implica un relevamiento de suelos. La teledetección ha facilitado, en este aspecto, identificar geoformas y paisajes a través de la elaboración de modelos digitales de terreno (MDT) (Burrough et al. 2000, Florinsky 2012, Zhu et al. 2001). Vázquez et al. (2003) obtuvo un elevado coeficiente de correlación entre el mapa de frecuencias de anegamiento de la cuenca del Azul, paisajes extraídos a partir del MDT SRTM 90 metros (NASA-NGA 2000) y los suelos dominantes en las unidades cartográficas del mapa de suelos 1:50.000 (INTA 1974-1997). Esta metodología permitiría mejorar la resolución de la cartografía edafológica incorporando información de mayor detalle, no disponible durante la elaboración de los mismos

(Florinsky et al. 2002, Smith et al. 2010). Si bien estos adelantos tecnológicos facilitan el mapeo de suelos, el modelo conceptual sigue sustentándose en la ecuación suelo-paisaje descrita por Dokuchaev (Glinka 1931).

El objetivo de este trabajo es incorporar información paisajística obtenida a partir de un MDT para mejorar la resolución espacial de la cartografía edafológica de la provincia de La Pampa 1:500.000 (INTA et al 1980), respetando la ecuación suelo-paisaje descrita en la cartografía original.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó en toda el área de la provincia de La Pampa (14 millones de hectáreas) (figura 2).

La relación suelo-paisaje fue extraída de las descripciones disponibles en la cartografía original (INTA et al 1980) y de las descripciones de 300 perfiles típicos realizadas durante el levantamiento de suelos.

### Análisis de los datos

Para la obtención de paisajes a partir de MDT se utilizó el modelo SRTM de 90 metros (NASA-NGA 2000). Se corrigió un ruido existente de baja frecuencia por el método propuesto por Masuelli (Vázquez et al 2009). Posteriormente se estimó el error altimétrico del MDT utilizando la red de puntos altimétricos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) ([www.IGN.gob.ar](http://www.IGN.gob.ar)). Este subproducto será denominado desde ahora MDTcorr.

El MDTcorr fue tratado con un filtro de mediana de 50x50 píxeles de grilla. Esto permite identificar la cota más representativa de cada sector. Al restarle este filtrado al MDTcorr, se obtuvo un mapa de relieves positivos (lomas y pendientes), áreas con valor cero (áreas planas), y relieves negativos (pendientes y bajos). El tamaño del filtro debe ser lo suficientemente grande para evitar la formación de saltos altimétricos en las zonas de lagunas, por lo cual debe ajustarse para cada región. Esta información fue vectorizada e interceptada con el mapa de suelos original, para identificar áreas que comparten la misma ecuación suelo-paisaje.

El trabajo se limitó a ubicar los perfiles típicos de suelo en el paisaje, según las descripciones del trabajo original (INTA et al 1980). Las propiedades edáficas mapeadas corresponden a la sección de con-

trol de los perfiles típicos descritos en cada sitio según el concepto de la taxonomía de suelos (USDA-NRCS 2010). Los resultados fueron revisados por el Geol. Hugo Martínez, profesional responsable de la realización del relevamiento de suelos original, con el objetivo de detectar inconsistencias en la distribución de las propiedades físicas (tipo textural, presencia de rodados o tosca).

## RESULTADOS

Se identificaron 260 áreas homogéneas y se ubicaron los subgrupos de suelo en las posiciones de paisajes definidas en el relevamiento edafológico de la provincia de La Pampa (INTA et al 1980) (figura 3).

Se obtuvo un ajuste altimétrico del MDTcorr de R<sup>2</sup> 0.99 respecto de los puntos altimétricos del IGN. Más allá de una adecuada representación de la altura sobre el nivel del mar, quedó verificado que el ruido de baja frecuencia fue eliminado. Es importante controlar esta fuente de variación, ya que es causante, entre otras distorsiones, de invertir el paisaje en ciertos lugares (aparecen sitios elevados donde hay llanuras, o pozos donde no debería haberlos) (figura 4).

El mapa resultante a escala 1:100.000 representó adecuadamente la distribución espacial de las 25 propiedades edáficas (tabla 1, figura 5 y figura 6) según la revisión realizada por el Geol. Hugo Martínez, teniendo en cuenta que el espectro edafológico contemplado responde a una escala 1:500.000.

## DISCUSIÓN

La ecuación suelo-paisaje propuesta por Dokuchaev (1886), complementada con la incorporación de un MDT funcionó bien en áreas con relieve marcado. Existen MDT de mayor resolución espacial, como el SRTM de 30 metros, y de mejor resolución altimétrica, como los productos LIDAR (Light Detection And Ranging). El primero es el producto del cual derivó el SRTM de 90 metros utilizado en este trabajo (por re-escalado de sus píxeles). Su versión original es “ruidosa”, por ser sensible a pequeñas variaciones de la superficie, como la presencia de un árbol, y no presenta mejor resolución altimétrica. El segundo producto presenta una resolución

altimétrica del orden de los 15 cm. Puede identificar a partir de un post procesamiento, altura del dosel vegetal y separarlo de la altimetría del terreno. Su mayor desventaja es su elevado costo, ya que son transportados por aviones. Son ideales para relevamientos de pequeñas áreas. Esto hizo del MDT SRTM de 90 metros la opción ideal para trabajar esta región. La escasa sensibilidad de este MDT pudo ser complementada satisfactoriamente aplicando el concepto “el agua busca un estado de equilibrio hidrostático, ocupando los sitios de menor energía cinética”. Así se detectaron las áreas bajas del terreno, y su profundidad inferida a partir del tiempo que permanecieron inundadas. La metodología pudo ser aplicada en las áreas planas anegables, siendo los resultados consistentes con los mencionados por otros autores (Burrough et al. 2000, Zhu et al. 2001, Vázquez et al. 2014 en prensa).

Se pudo reinterpretar el trabajo original y mejorar su escala de resolución al incorporar el elemento paisajístico. Este producto puede facilitar el acceso a información más detallada (equivalente a una escala 1:100.000) de manera rápida y económica para quienes requieren de información edafológica de mayor detalle. También se podrá convertir en un nuevo punto de partida alternativo al momento de realizar un mapeo de suelos de mayor resolución. La información generada está disponible sin restricciones para los usuarios que deseen utilizarla.

Este trabajo alentó a realizar una serie de trabajos de investigación exploratoria en la EEA “Ing. Guillermo Covas” (INTA Anguil) para mejorar la cartografía de algunas propiedades edáficas de importancia estratégica en la región. Resultados preliminares permitieron modelar la profundidad de tosca en el área agrícola de la provincia. Dada la importancia de esta propiedad del suelo, sería deseable aunar esfuerzos y experiencias con grupos de trabajo de otras instituciones para lograr un resultado consensuado y validado por la comunidad científica local.

## CONCLUSIONES

La ecuación suelo-paisaje fue aplicada satisfactoriamente en la provincia de La Pampa, al complementarse la información original con un adecuado modelo de paisajes derivado a partir de sensores remotos. La metodología descrita es ideal para mejorar la cartografía disponible con escasos recur-

tos económicos y de personal, ya que el componente incorporado para mejorar la resolución espacial es el paisaje. Los resultados serán más satisfactorios en función de la calidad y detalle con la que se describió la relación suelo-paisaje en la cartografía antecedente. Este tipo de metodología no pretende en ningún momento reemplazar el levantamiento de suelos, pero si facilitararlo y acercar a los usuarios a información de más detalle cuando la misma es escasa.

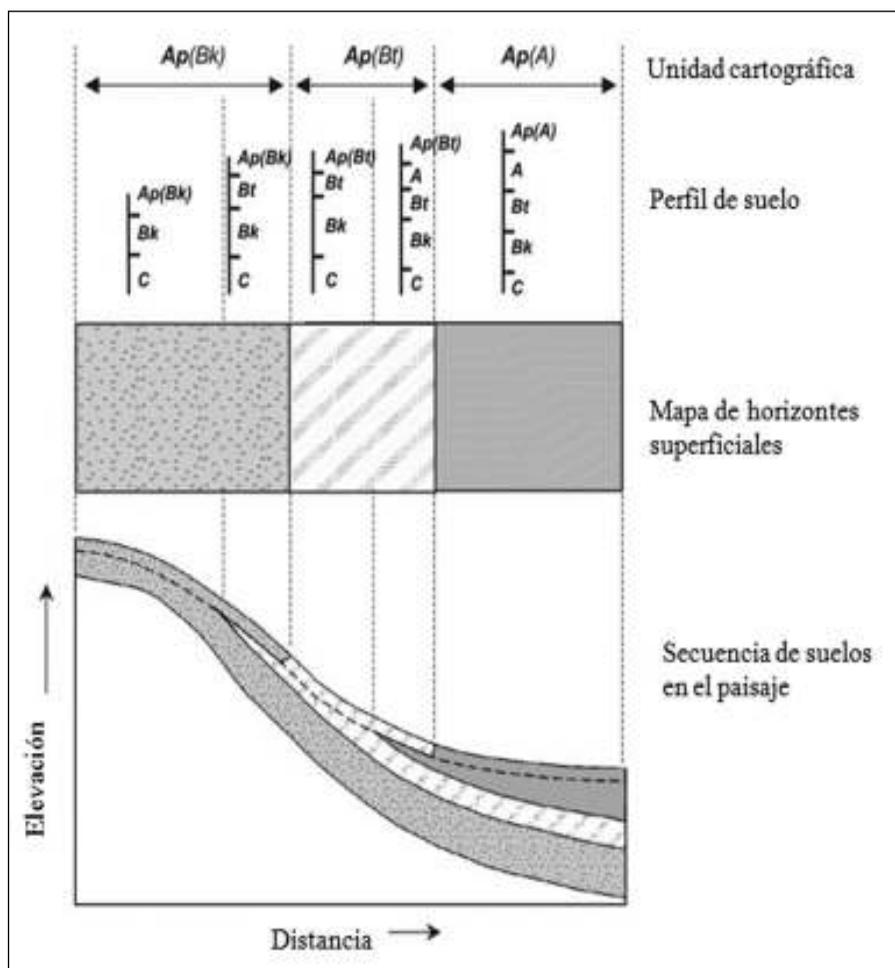
### Agradecimientos

Al Dr. Raúl Peinetti y al Proyecto PEU 05-12 “Valor del acceso al conocimiento digitalizado” (FAUNLPAM) por haber facilitado las descripciones de los perfiles de suelos realizados en el trabajo original y por sus valiosos aportes. Al Geol. Hugo Martínez (Subsecretaría de Asuntos Agrarios, Provincia de La Pampa), la Cartógrafa Mónica Castro (UNLPAM) y al Dr. Alberto Quiroga (EEA “Ing. Agr. Guillermo Covas”, INTA) por la revisión crítica de este trabajo.

### BIBLIOGRAFIA

- BALLABIO C., F. FAVA AND A. ROSENMUND. 2012. A plant ecology approach to digital soil mapping, improving the prediction of soil organic carbon content in alpine grasslands. *Geoderma*. 187-188: 102-116.
  - BURROUGH, P., P. VAN GAANS AND R. MACMILLAN. 2000. High-resolution landform classification using fuzzy k-means. *Fuzzy Sets and Systems* 113: 37-52.
  - DOKUCHAEV, V. 1886. Razbor glavneishich pochvennykh ponyatyi (in Russian). In *Selected Papers 1949*, edited by V. V. Dokuchaev, Moscow: Selhozgiz, 3: 161-239.
  - FLORINSKY, I. 2012. Predictive Soil Mapping. In *Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology*. Ed. Elsevier. ISBN 978-0-12-385036-2. 167-205.
  - FLORINSKY, I., R. EILERS, G. MANNING AND L. FULLER. 2002. Prediction of soil properties by digital terrain modelling. *Environmental Modelling & Software*. 17: 295-311
  - GLINKA, K. 1931. *Treatise on soil science*. A. Gourevitch (Ed.), Translated from russian (4th ed.), Israel Program for Scientific Translation, Jerusalem. 674 pp.
  - INTA. 1974-1997. Colección: Cartas de Suelos de la República Argentina. Escala 1:50.000. CIRN, INTA, Buenos Aires.
  - INTA-PROVINCIA DE LA PAMPA-UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA. 1980. Inventario de los recursos Naturales de la provincia de la Pampa. Segunda ed. 495 pp. y mapas
  - ROSSITER, D. 2000. Metodologías para el levantamiento del recurso suelo. International Institute for Geo-information Science & Earth observation, ITC. Segunda versión revisada y traducida en agosto 2004. 145 pp.
  - SMITH, S., C. BULMER, E. FLAGER, G. FRANK AND D. FILATOW. 2010. Digital soil mapping at multiple scales in British Columbia, Canada. In *Program and Abstracts, 4th Global Workshop on Digital Soil Mapping*, Rome, Italy. 24-26.
  - USDA-NRCS. 2010. Keys of soil taxonomy. Eleventh ed. 346 pp.
  - VÁZQUEZ P., F. CABRIA; M. ROJAS Y M. CALANDRONI. 2009. Riesgo de anegamiento: estimaciones para la cuenca baja del río Salado. *AACS*, 27,2: 237-246
  - VÁZQUEZ, P., I. ENTRAIGAS, M. GANDINI Y E. USUNOFF. 2003. Identificación de patrones de anegamiento en la cuenca del arroyo Azul mediante el uso de imágenes Landsat. *Revista de Teledetección*. 19: 43-50.
  - VÁZQUEZ, P., M. CALANDRONI, F. CABRIA, M. AGNUSDEI Y M. ROJAS. 2014. Patrones de IVN en pastizales de la provincia de Buenos Aires: su asociación con comunidades vegetales y suelos. *Ecología Austral*. (aprobado para su publicación, disponible en diciembre 2014).
  - ZHU, A., B. HUDSON, J. BURT, K LUBICH AND D. SIMONSON. 2001. Soil mapping using GIS, expert knowledge, and fuzzy logic. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 1463-1472.
-

# figuras y tablas

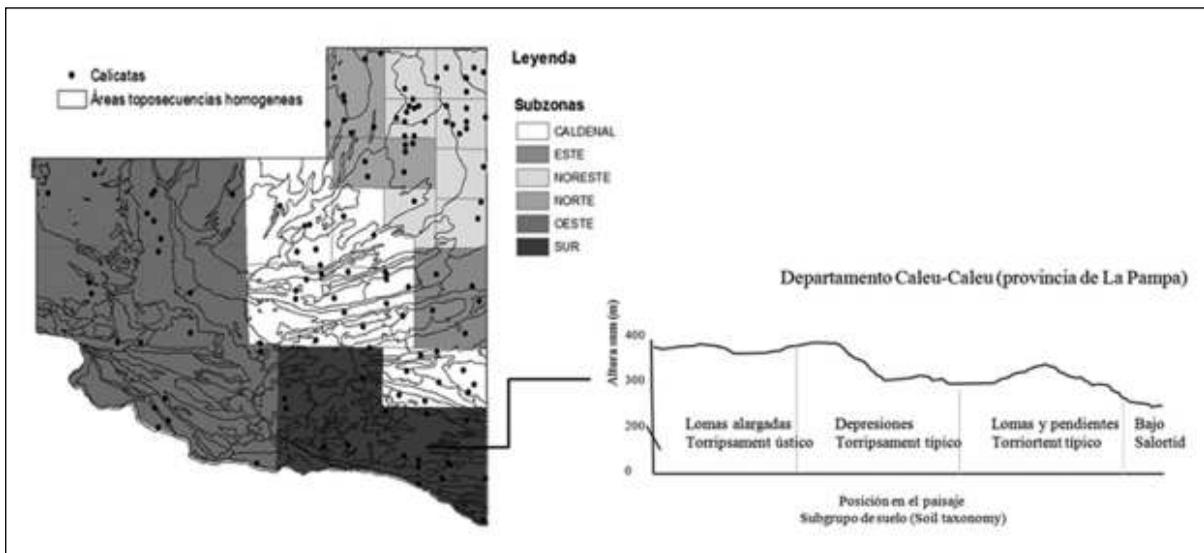


**Figura 1: Ecuación suelo paisaje.**

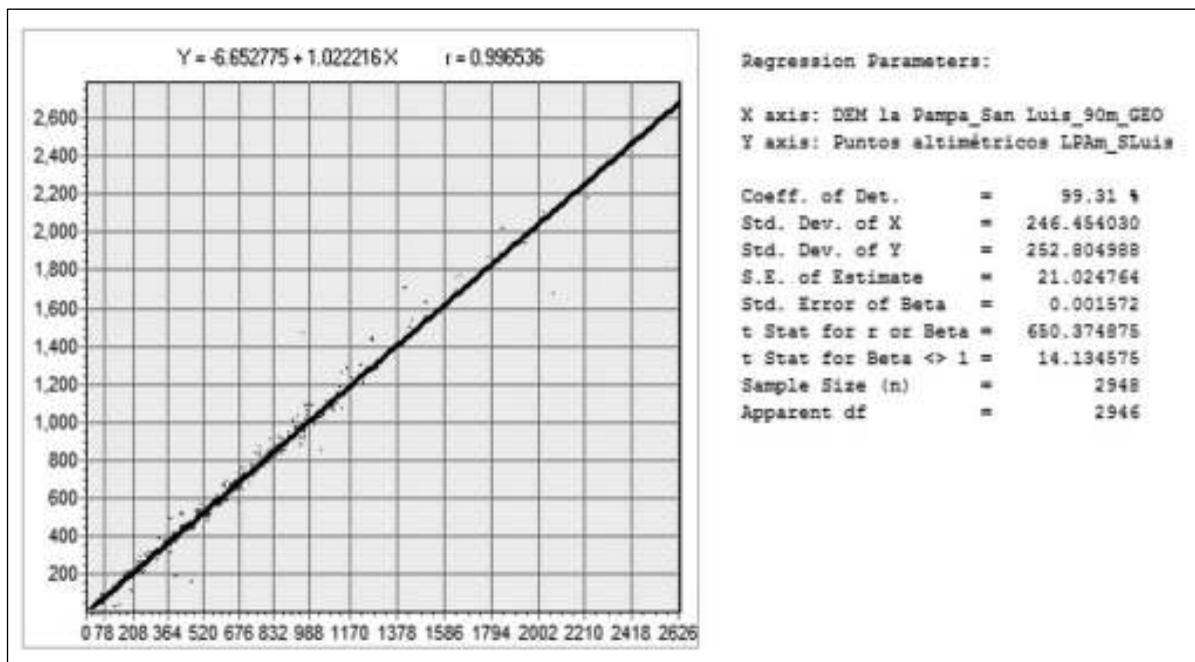
Figure 1: Soil-landscape equation.



**Figura 2: Área de estudio**  
**Figure 2: Study area.**

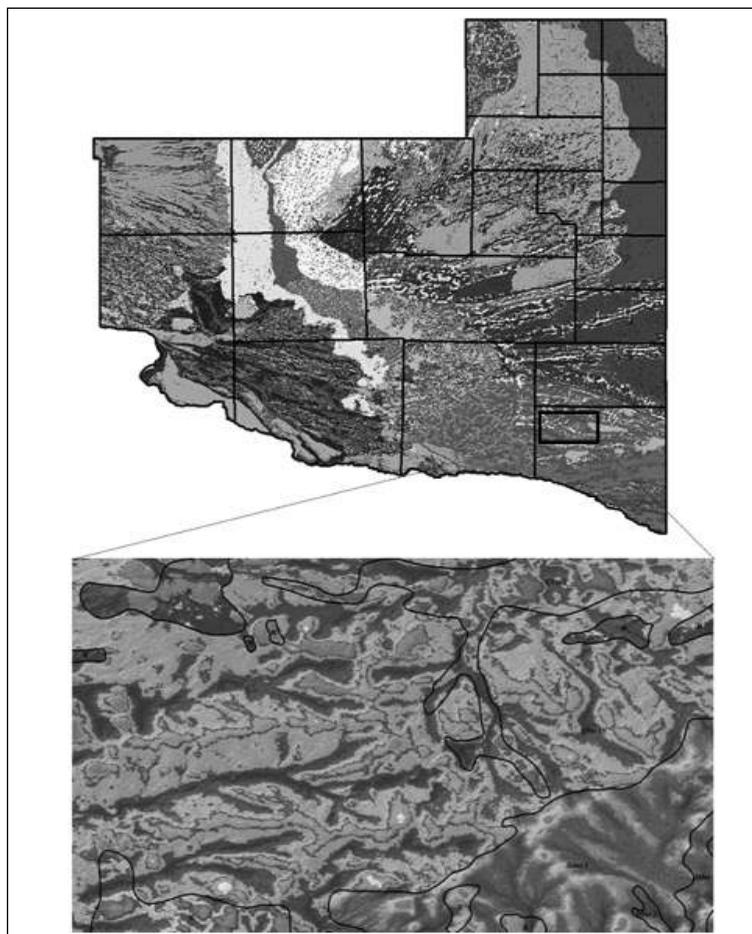


**Figura 3: Identificación de áreas con toposecuencias homogéneas en la provincia de La Pampa.**  
**Figure 3: Identification of homogeneous toposequences areas in La Pampa province.**

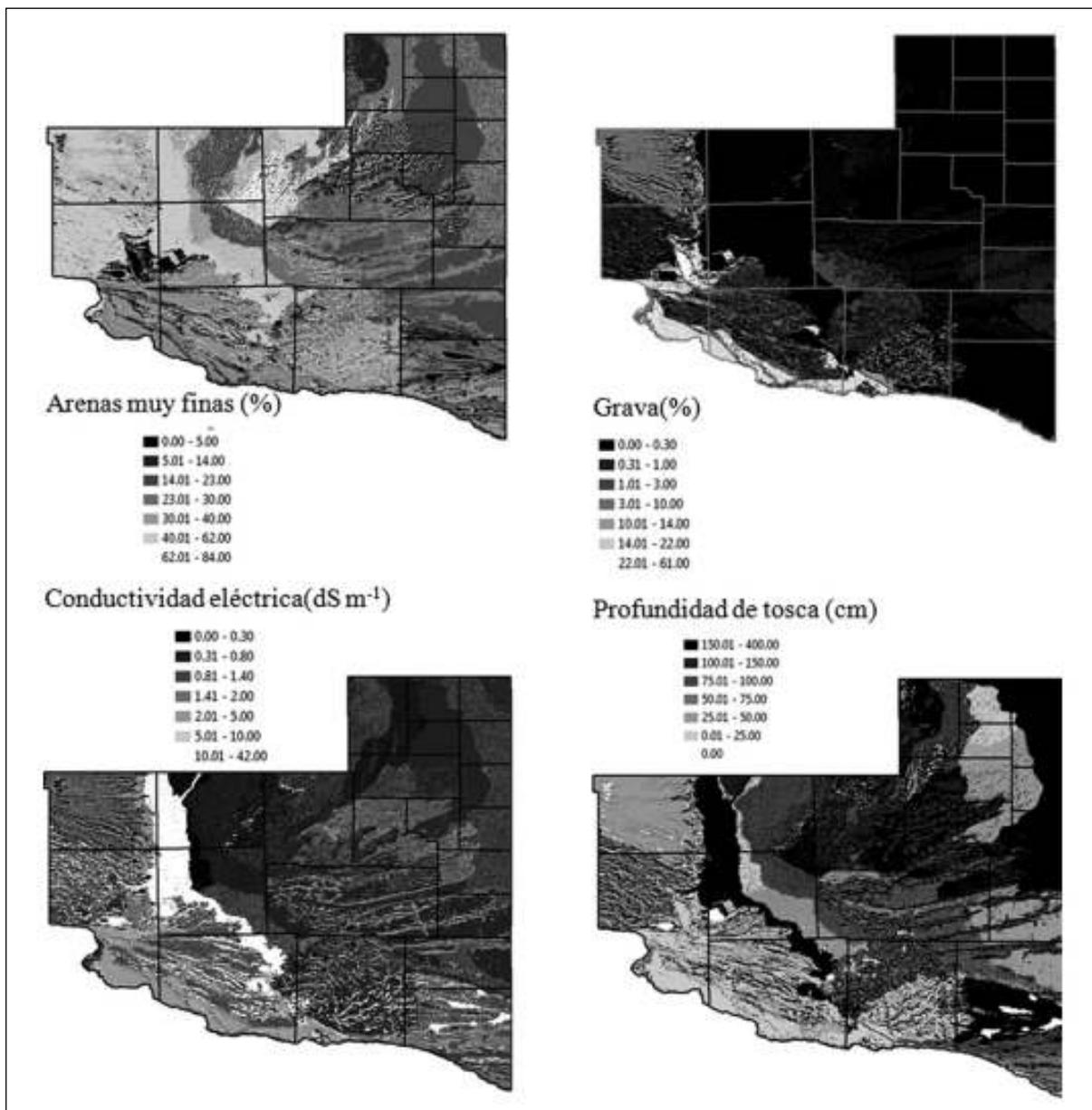


**Figura 4:** Plot 1:1 comparando la altimetría (msnm) del Modelo Digital de Terreno corregido del ruido de baja frecuencia (MDTcorr) y los puntos altimétricos del Instituto Geográfico Nacional (IGN)

Figure 4: 1:1 plot comparing altimetry (mosl) from the low frequency noise corrected Digital Elevation Model (MDTcorr) and altimetric control points from Instituto Geográfico Nacional (IGN).



**Figura 5:** Cartografía edáfica 1:100.000 resultante para la provincia de La Pampa. Las líneas delimitan áreas de complejos de suelo identificados a escala 1:500.000, los tonos de gris identifican la ubicación de los subgrupos de suelos.  
 Figure 5: Resultant 1:100.000 edaphic cartography for La Pampa province. Lines limit 1:500.000 soil subgroup complexes, greys tones identify soil subgroups ubication.



**Figura 6: Mapeo de propiedades edáficas a escala 1:100.000 para la provincia de La Pampa a partir de la información proveniente del mapa de suelos 1:500.000 y el mapa de paisajes generado a partir del MDT 90 metros.**

**Figure 6: 1:100.000 edaphic properties mapping for La Pampa province applying 1:500.000 soil map information and the landscape map generated from the 90 meters DEM.**

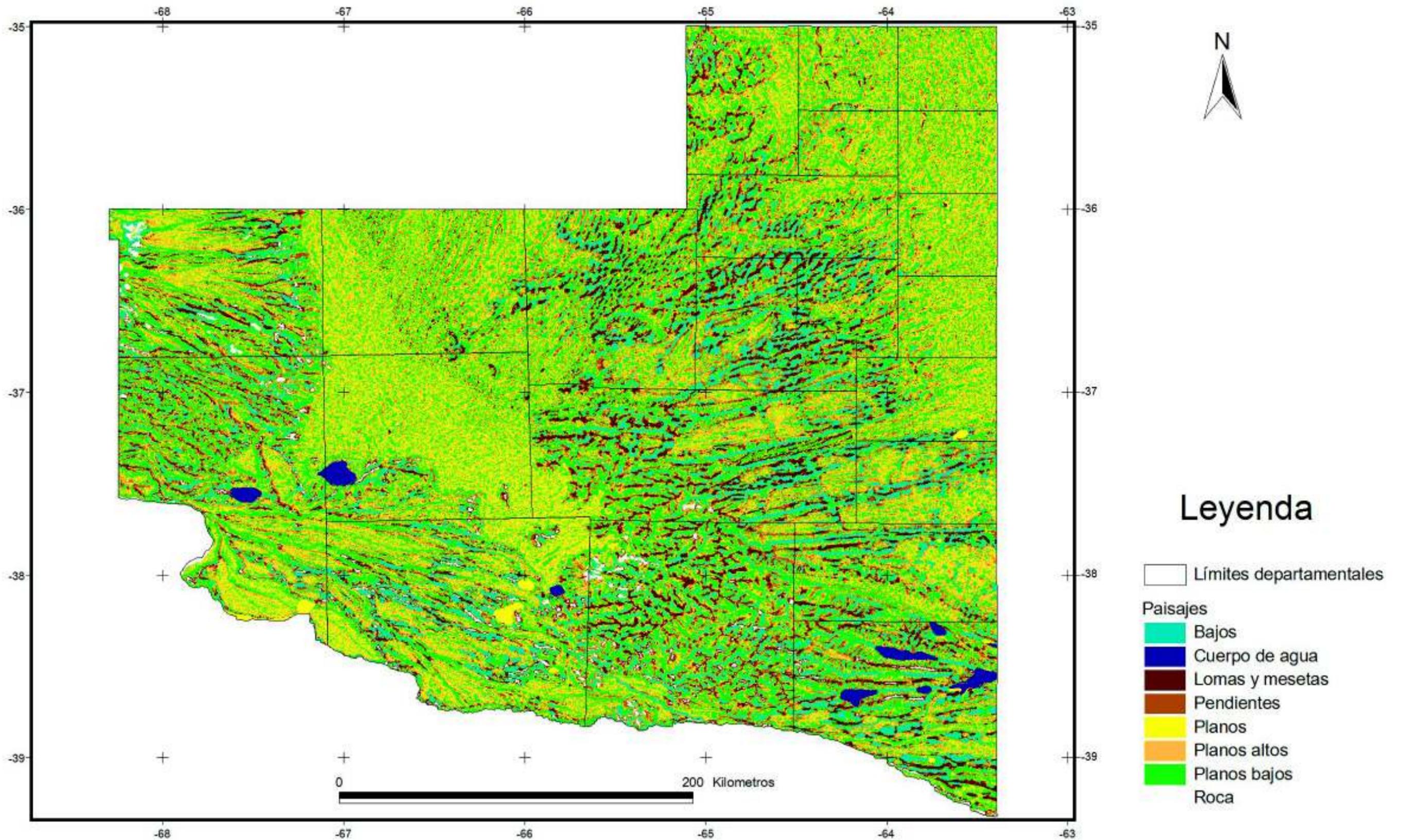
PROPIEDAD	UNIDAD
Relieve	metros
Unidad taxonómica	Soil taxonomy
Unidad cartográfica	INTA 1980
Subregión	INTA 1980
Perfil modal	ld.
Textura (Txt)	-
Carbono orgánico (CO)	%
Arcilla (As)	%
Limo 2 – 20 $\mu$ (Li 1)	%
Limo 20 – 50 $\mu$ (Li 2)	%
Arenas muy finas 50 – 74 $\mu$ (Ar 1)	%
Arenas muy finas 74 – 100 $\mu$ (Ar 2)	%
Arenas finas 100 – 250 $\mu$ (Ar 3)	%
Arenas medias 250 – 500 $\mu$ (Ar 4)	%
Arenas gruesas 500 – 1000 $\mu$ (Ar 5)	%
Arenas muy gruesas 1 – 2 mm (Ar 6)	%
Gravilla (Grava)	%
Carbonato de calcio (CaCO <sub>3</sub> )	%
Profundidad de tosca (Tosca)	cm
Profundidad cambio textural abrupto (Abrupto)	cm
Conductividad eléctrica (CE)	dS m <sup>-1</sup>
Agua en saturación (Q_SAT)	% p/p
Agua a capacidad de campo (Q_CC)	% p/p
pH Pasta (pH)	
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	meq 100g
Porcentaje de sodio de intercambio (PSI)	%

**Tabla 1: Propiedades edáficas consideradas en el mapa de suelos de la provincia de La Pampa adecuado a escala 1:100.000 a partir de la aplicación de la ecuación suelo-paisaje.**

Observaciones: los métodos de laboratorio empleados para el análisis de propiedades físico-químicas de suelo son descritos en el trabajo "Soil Survey Laboratory and procedures for Collecting Soil Samples". Soil Survey Investigation. Report I. Soil Conservation Service, USA. 1975.



# Provincia de La Pampa: mapa de paisajes 1:100.000 derivado a partir del MDT SRTM 90 metros



# Distribución de suelos escala 1:100.000 inferida a partir de la ecuación suelo-paisaje

