

# 3

## Caracterización de la aptitud de los suelos de la provincia de Catamarca mediante sistemas de información geográfica

Florencia Cecilia Trabichet<sup>1</sup>

Universidad Nacional de Luján/

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

@ [ flortrabichet@gmail.com ]

RECIBIDO 29-03-2020

ACEPTADO 20-08-2020

Cita sugerida: Trabiche, F. C. (2020). Caracterización de la aptitud de los suelos de la provincia de Catamarca mediante sistemas de información geográfica. Revista *Huellas*, Volumen 24, N° 2, Instituto de Geografía, EdUNLPam: Santa Rosa. Recuperado a partir de: <http://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/huellas>

<http://dx.doi.org/10.19137/huellas-2020-2417>

### Resumen

El análisis de aptitud de tierras mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) es una de las posibilidades más utilizadas en la actualidad. En este tipo de estudios los SIG y las herramientas estadísticas geoespaciales se utilizan para evaluar las unidades de tierra y presentar los resultados en mapas de aptitud. El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar la aptitud de los suelos de la provincia de Catamarca para la producción de nuez pecán en función de las variables rocosidad, salinidad, riesgo de anegamiento, profundidad, textura y drenaje descriptas en el Mapa de Suelos de Argentina en escala 1:500.000 publicado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Se realizó una clasificación de la aptitud de las unidades cartográficas de suelo según los requerimientos del cultivo aplicando la metodología propuesta por la FAO. Se realizó la estandarización de variables por puntaje omega y el cálculo de puntaje de clasificación espacial como resultado síntesis de la distribución espacial de la aptitud de los suelos. La metodología aplicada permitió obtener el mapa de aptitud de suelos dando como resultado un total de 60.662 km<sup>2</sup> aptos para la producción de nuez pecán, lo cual representa el 59,8 % de la superficie total de la provincia.

**Palabras clave:** *Carya illinoiensis*, evaluación de tierras, Sistemas de Información Geográfica

1 Docente del Departamento de Tecnología de la Universidad Nacional de Luján con cargo Jefe de Trabajos Prácticos. Becaria doctoral de CONICET con lugar de trabajo en el Departamento de Ciencias Sociales de la Universidad Nacional de Luján.

### Abstract

Land suitability analysis based on Geographic Information Systems (GIS) is one of the most widely used applications for land planning. In this type of study, GIS and geospatial statistical tools are used to assess land units and to show the results in the form of aptitude maps. The present work aims at characterizing the suitability of the soils of the province of Catamarca for pecan nuts production based on 6 edaphic variables using GIS. The variables taken into account were rockiness, salinity, waterlogging risk, depth, texture and drainage. Soil Map of the Argentine Republic in 1: 500.000 scale published by the National Institute of Agricultural Technology was used as source. A classification of the aptitude of the soil cartographic units was made according to the crop requirements applying the methodology proposed by FAO. Omega score was applied for standardization of variables, and the spatial distribution of soil suitability was obtained by spatial classification score. The methodology applied allowed us to obtain the aptitude map based on the selected variables, resulting in a total of 60.662 km<sup>2</sup> suitable for the production of pecan nuts, which represents 59.8% of the total surface of the province.

**Key words:** *Carya illinoiensis*, land suitability analysis, Geographic Information Systems

Caracterização da aptidão dos solos da província de Catamarca a través de Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

### Resumo

A análise da aptidão das terras a través do uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é uma das possibilidades mais usadas atualmente. Neste tipo de estudos os SIG e as ferramentas estatísticas geoespaciais se utilizam para avaliar as unidades de terra e apresentar os resultados nos mapas de aptidão. Este trabalho tem como objetivo caracterizar a aptidão dos solos da província de Catamarca para a produção de nozes pécan em função das variáveis rochas, salinidade, risco de inundação, profundidade, textura e drenagem descritas no Mapa de Solo da Argentina escala 1:500.000 publicado pelo Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária. Realizou-se uma classificação da aptidão das unidades cartográficas segundo os requerimentos do cultivo aplicando a metodologia proposta pela FAO. Realizou-se a estandardização das variáveis por sistema de pontos ômega e o cálculo de classificação espacial como resultado síntese da distribuição espacial da aptidão dos solos. A metodologia aplicada permitiu obter o mapa de aptidão de solos dando como resultado um total de 60.662 km<sup>2</sup> aptos para a produção de nozes pécan o que representa um 59,8% da superfície total da província.

**Palavras-chave:** *Carya illinoiensis*; Avaliação de terras; Sistemas de Informação Geográfica

## Introducción

Uno de los pasos principales para la planificación del uso sostenible de las tierras es la evaluación de su aptitud (Zolekar & Bhagat, 2015) y la determinación del óptimo uso de las mismas en función de su potencial. La evaluación de tierras es un proceso empleado para definir (Akinci et al., 2013) y medir el grado de adaptabilidad para ciertos tipos de usos (El Baroudy, 2016) y agrupar las unidades de tierras de acuerdo a ello (Zolekar & Bhagat, 2015) mediante una comparación sistemática de los requisitos de uso con los recursos disponibles (Walke et al., 2012).

A lo largo del tiempo se han desarrollado diversos enfoques de evaluación de tierras y cada uno tiene un procedimiento metodológico específico (Walke et al., 2012), el más difundido es el propuesto por FAO (1976) que consta de cinco clases de aptitud: muy apto, moderadamente apto, marginalmente apto, no apto temporalmente y permanentemente no apto. Si bien no existe una estandarización en la elección de los criterios a utilizar en este tipo de trabajos, las condiciones climáticas, la topografía y las propiedades de los suelos son ampliamente utilizadas (Akinci et al., 2013; Walke et al., 2012).

El análisis de la aptitud de las tierras basado en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) es una línea de análisis ampliamente utilizada para la planificación del territorio (Romano et al., 2015) al utilizar una herramienta valiosa para almacenar, recuperar y procesar una gran cantidad de datos en forma cuantitativa necesarios para calcular y asignar índices de aptitud de la tierra (El Baroudy, 2016). En este tipo de estudios, los SIG y las herramientas estadísticas geoespaciales se utilizan para evaluar las unidades de tierra y presentar los resultados en forma de mapas de aptitud (Walke et al., 2012). En todos los casos se parte de la premisa que una determinada área se subdivide en un conjunto de unidades básicas de observaciones y que el problema de la aptitud del uso del suelo implica la evaluación y la clasificación de esas unidades de área en función de su idoneidad para una actividad en particular (Malczewski, 2006).

Existen diversas alternativas para la aplicación de la tecnología SIG como herramienta para la toma de decisión locacional. Dentro de ellas, la Combinación Lineal Ponderada (Weighted Linear Combination –WLC–) es una técnica de Evaluación Multicriterio (EMC) que aplica una ponderación a las variables consideradas y lleva la solución hacia un nivel de riesgo medio en la toma de decisión locacional (Buzai & Baxendale, 2011). El trabajo de aplicación en estructura vectorial se apoya en el procesamiento matemático de la matriz de datos asociada, donde cada columna contiene

los datos que a nivel cartográfico permiten representar y analizar la distribución espacial de una variable y por lo tanto cada columna puede ser considerada un mapa (Buzai, 2014). En una primera instancia de la WLC las capas de variables pasan por un proceso de estandarización, que en esta aplicación fue realizada a partir del Puntaje Omega (PO) y posteriormente se obtiene un Puntaje de Clasificación Espacial (PCE) que representa la distribución espacial del resultado. El modelado cartográfico por lo tanto se basa en la estandarización de datos y la combinación de columnas, con la finalidad de sintetizarlas en una columna que presente, como superposición temática, los puntajes de clasificación espacial (PCE).

Los SIG han sido utilizados por diversos autores para determinar la idoneidad de las tierras para determinados usos (Walke et al. 2012), como por ejemplo la aptitud para cultivos agrícolas en Turquía (Akıncı et al. 2013) y en áreas rurales costeras de Italia (Romano et al. 2015), para el cultivo de trigo en Egipto (El Baroudy, 2016) y en Argelia (Mendas & Delali, 2012), para el cultivo de té en la provincia de Zhejiang en China (Li et al., 2012), para la producción de algodón en India Central (Walke et al., 2012) y cultivos cítricos en la India (Zabihi et al., 2015). De igual forma Bunruamkaew & Murayam (2011) han empleado esta metodología para la selección de áreas óptimas para el desarrollo de eco-turismo en Tailandia, Lanzelotti y Buzai (2015) para la elaboración de modelos de aptitud para el desarrollo de la agricultura prehispánica y la agricultura actual en un sector del Valle de Santa María, en la provincia de Catamarca (Argentina) y Buzai y Principi (2017) para identificación de conflictos entre usos del suelo en la cuenca del río Luján (Argentina).

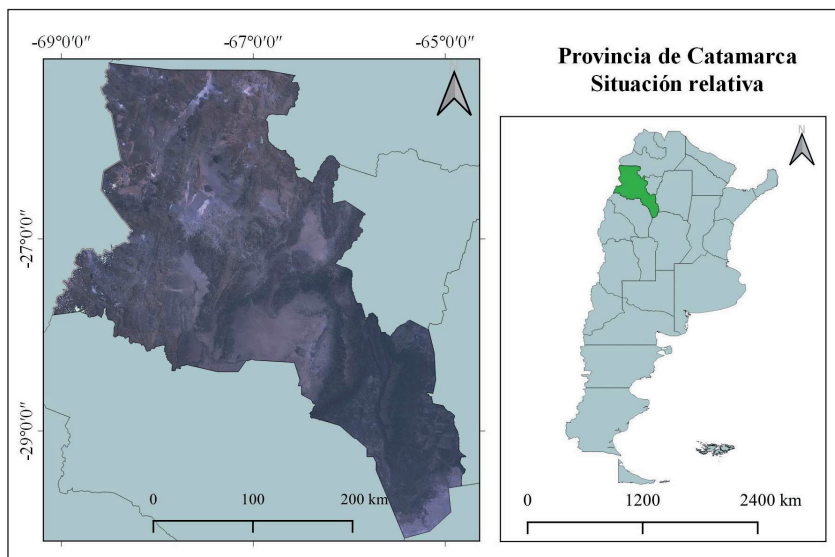
El cultivo de nogal pecán (*Carya illinoiensesis*) se adapta muy bien a variadas condiciones ambientales (Zhang et al., 2015) y en Argentina, para el año 2015 existían aproximadamente 8.000 hectáreas implantadas (PROSAP-UCAR, 2015: 21). Gomez & Cruzate (2007) utilizaron los mapas de suelos de Argentina a escalas 1:500.000 y 1:1.000.000 (SAGyP-INTA, 1990) y los regímenes de humedad y de temperatura para determinar la aptitud de los suelos argentinos para la producción de nogal pecán teniendo en cuenta los requerimientos del cultivo definidos por Herrera (1999). Como resultado de dicho estudio establecieron cuatro clases de aptitud: óptima, apta, marginal y no apta. Estos resultados han permitido la delimitación de regiones con diferentes grados de aptitud para la producción de nuez pecán en función de los requerimientos biológicos-productivos de la especie y esta información sirvió de base para la pre-selección de zonas en las cuales se puede producir pecán a nivel nacional, dentro de las cuales se localiza la provincia de Catamarca.

El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar la aptitud de los suelos de la provincia de Catamarca para la producción de nuez pecán en función de 6 (seis) variables edáficas, de acuerdo a los requerimientos definidos por Herrera (1999), y mediante el uso de SIG, con la finalidad de generar una herramienta para la planificación espacial de la producción de la nuez pecán.

## Descripción del área de estudio

La provincia de Catamarca está ubicada en la región noroeste de la República Argentina (Figura N° 1) entre los 25°12' S y 30° 04' S y entre los 69° 03' O y 64° 58' O. Su extensión es de 102.602 km<sup>2</sup> y solo el 22 % de esta superficie están constituidos por valles y llanuras, siendo el resto montañoso y poco apto para la actividad agropecuaria (Nuñez Aguilar y Alvarez de Toledo, 2004, p. 6). Tiene un clima templado continental con una precipitación media que varía entre los 400 y 500 mm anuales en el Este, disminuyendo hacia el Oeste a menos de 150 mm en la Puna cordillerana, donde el déficit hídrico es compensado por las precipitaciones níveas (Cabrera, 1971; Nuñez Aguilar y Alvarez de Toledo, 2004).

Figura N° 1. Provincia de Catamarca



Fuente: elaboración propia. Imagen de fondo Landsat 5 composición color natural (RGB, p. 321) obtenida de Google Earth Engine. Mosaico libre de nubes periodo enero a diciembre de 2010. Sistema de referencia: EPGS: 4326, WSG84.

## Selección, evaluación y clasificación de variables edáficas

La aplicación se realizó utilizando el software QGIS 3.10.4 y tomando como fuente de datos la capa vectorial (polígono) de Suelos de la Argentina 1:500.000 del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA 2011). Esta capa cuenta con las unidades cartográficas de suelos descriptas por INTA y un total de 32 variables edáficas asociadas a dichas unidades.

Se recortó la capa Suelos de la Argentina utilizando como máscara el polígono Provincia de Catamarca obtenido de la IDE (Infraestructura de Datos Espaciales) del Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2018), de modo tal de extraer las unidades cartográficas correspondientes a la provincia. La capa obtenida fue reproyectada del sistema EPSG: 4326-WGS84 al sistema de coordenadas EPSG: 5344 - POSGAR 2007 / Argentina 2. Al estimar la superficie de la capa se obtuvo un total de 101.491,7 km<sup>2</sup>, valor que difiere de la superficie citada por Nuñez Aguilar y Alvarez de Toledo (2004) de 102.602 km<sup>2</sup>.

Se seleccionaron de la base de datos las variables definidas como requerimientos edáficos para la producción de pecán según Herrera (1999): profundidad efectiva, textura subsuperficial, rocosidad, características del drenaje, salinidad y riesgo de anegamiento.

También se tuvo en cuenta la descripción de las limitaciones principales, secundarias y terciarias y la posición en el paisaje de las unidades cartográficas. Estos últimos parámetros fueron utilizados posteriormente como información auxiliar para definir la aptitud de cada variable para cada unidad cartográfica.

Para la clasificación de las variables según su grado de aptitud se aplicaron los principios de la metodología de evaluación de tierras de FAO (FAO, 1976); la misma consta de un enfoque multidisciplinario a través del cual se evalúan y clasifican las unidades espaciales de acuerdo a los grados de limitaciones que presentan respecto a tipos específicos de usos; estos grados de limitaciones se corresponden con reducciones en los rendimientos potenciales. En este caso, se asignó un índice de aptitud a cada unidad espacial para cada variable seleccionada de acuerdo al porcentaje de rendimiento esperado, quedando definidas las siguientes categorías: muy apto (80-100 %), apto (60-80 %), moderadamente apto (40-60 %), marginalmente apto (20-40 %) y no apto (0-20 %) (adaptado de Salvatore et al., 2010, p. 16).

Se llevó a cabo una evaluación física de las unidades cartográficas de suelos de acuerdo a los requerimientos definidos por Herrera (1999):

- Profundidad del suelo: mayor de 100 cm
- Textura del horizonte sub-superficial: Franco
- Salinidad: Suelos no salinos a débilmente salinos
- Drenaje: Bien drenado y moderadamente bien drenados
- Anegamiento: sin peligro y muy poco
- Roccosidad: menor al 20 %

En el cuadro N° 1 (ver página siguiente) se presentan las categorías de aptitud asignadas (esquema adaptado de Salvatore et al., 2010) y un resumen de los criterios empleados para la clasificación de cada variable.

La profundidad efectiva es una variable que representa el volumen de suelo donde las raíces de los cultivos realizan la absorción de nutrientes, agua e intercambio gaseoso (Morales Poclava et al. , 2015, p. 20). Esta variable presentó valores comprendidos entre 0 y 120 cm de profundidad.

La textura sub-superficial considera a la composición granulométrica del horizonte sub-superficial y tiene influencia en la capacidad de retención de humedad del suelo y el crecimiento radicular. Los criterios empleados para la clasificación de las distintas unidades se definieron teniendo en cuenta los valores de Índice de Productividad (IP) estimados por Morales Poclava et al. (2015) para distintas clases texturales de suelos del Noroeste Argentino. Se consideró que las clases franco arcillo limosa, franco arenosa y franco arcillosa por sus porcentajes de arcilla y limo pueden presentar problemas para la exploración radicular. Las clases arenosa y arenoso franca presentan buena textura para exploración radicular pero baja retención hídrica. La clase arcillosa presenta una textura fina y puede presentar problemas para la exploración radicular. Las clases areno-gravillosa, areno-gravosa, areno-gravillosa, arenoso gruesa presentan muy baja retención hídrica.

La variable drenaje presentó los siguientes datos cualitativos: pobre, imperfecto, bien drenado, algo excesivo, excesivo, moderado. Para la asignación de valores de aptitud, en este caso, se tuvieron en cuenta además como datos auxiliares las limitantes primarias, secundarias y terciarias de cada unidad cartográfica.

Para realizar una clasificación y asignación de aptitud para la variable rocosidad se tuvieron en cuenta las descripciones de las unidades cartográficas del Atlas de Suelos de la República Argentina (Panigatti, 2010; SAGyP-INTA, 1990) y las limitaciones primarias, secundarias y terciarias de la capa Suelos de Catamarca, puesto que en la matriz de datos se encontraron unidades cartográficas sin datos para la columna correspondiente a esta variable. Se analizó la presencia de rocas en los perfiles de suelos que componen cada unidad tomando como referencia también las descripciones

**Cuadro N° 1.** Clasificación de las variables edáficas según su grado de aptitud

	Muy Apto	Apto	Moderadamente Apto	Marginalmente Apto	No Apto
<b>Profundidad (cm)</b>	>=100 cm Franca	80-100 cm Franco arenosa, franco arcillosa y franco arcillo limosa	60-80 cm Arcillosa	>0-60 cm Arenoso franca, arenosa	0 cm Areno-gravilosa, areno-gravosa, areno-gravillosa, arenoso gruesa, no determinada
<b>Textura</b>	Bien drenadas sin limitaciones	Bien drenado asociado a drenaje deficiente asociado a limitante terciaria, moderado	Drenaje algo excesivo asociado a baja retención de humedad como limitante secundaria	Drenaje imperfecto, drenaje excesivo, drenaje algo excesivo asociado a baja retención de humedad como limitante primaria	Drenaje deficiente como limitante primaria, afloramientos rocosos, drenaje excesivo, lagunas, salinas
<b>Drenaje</b>					
<b>Roccosidad</b>	Unidades sin limitantes de rocosidad, ni clasificación "interfiere en labranza", sin pedregosidad en las descripciones de suelos	Unidades con menos de 35% de rocosidad en el perfil según descripción de suelos	Unidades que por las características de sus suelos presentan baja pedregosidad pero están clasificados como "interfiere labranza"	Unidades que según la descripción de suelos presentan abundante pedregosidad y que se clasifican como "interfiere labranza"	Unidades con "interfiere labranza" o que presentan rocosidad como limitantes, afloramientos rocosos, lagunas, salinas
<b>Salinidad</b>	No sódico. Sin limitantes.	Ninguna unidad cartográfica	Ninguna unidad cartográfica	Alcalinidad débil sin limitantes	Alcalinidad débil, salinidad y/o alcalinidad en primeros 50 cm como limitantes. Alcalinidad fuerte
<b>Anegamiento</b>	Sector medio, apical, o superior de cono, llanuras y llanuras extendidas, planicies arenosas, explanadas, lomas, laderas escarpadas, laderas empinadas y pendientes escarpadas	Planicies	Vías de escurrimientos	Bajos, planos inundables y planicies inundables	Planos aluviales, afloramientos rocosos, lagunas y salinas

Fuente: elaboración propia.



nes de los epipedones y horizontes diagnóstico de la Clave para Taxonomía de Suelos de United States Department of Agriculture (USDA, 2014).

La variable salinidad se clasificó teniendo en cuenta la descripción de la alcalinidad, y de las limitantes primarias, secundarias y terciarias.

La variable anegamiento (riesgo de anegamiento) de la capa Suelos de Catamarca se clasificó teniendo en cuenta la posición en el paisaje de cada unidad cartográfica.

## Creación del campo aptitud

En la tabla de atributos del SIG se crearon los campos ap\_salinidad, ap\_profundidad, ap\_rocosidad, ap\_textura, ap\_anegamiento y ap\_drenaje. Estos campos se completaron con los índices de aptitud asignados en el procedimiento anterior de acuerdo a la clasificación que se presenta en el Cuadro N° 2.

**Cuadro N° 2.** Categorías de aptitud asignadas a las unidades cartográficas

Categoría de Aptitud	Índice
Muy apto	4
Apto	3
Moderadamente apto	2
Marginalmente apto	1
No apto	0

Fuente: adaptado de Salvatore et al. (2010).

## Estandarización por Puntaje Omega y cálculo de PCE

Para la realización del mapa de aptitud de suelos se procedió a calcular el puntaje de clasificación espacial mediante el cálculo del promedio de las columnas estandarizadas por puntaje omega (1):

$$\text{Puntaje Omega} = \frac{(x_i - x_m)}{(x_M - x_m)} * 100$$

Donde  $x_i$  es el valor de la variable en cada unidad espacial,  $x_m$  y  $x_M$  son respectivamente el valor mínimo y el valor máximo de la serie de datos. Los resultados brindan valores entre 0 y 100, donde el 0 corresponde a la peor situación y el 100 a la mejor situación tratándose de variables de beneficio como en este trabajo. Una vez estandarizadas las variables se procedió al cálculo del PCE según la fórmula 2.

$$\text{PCE} = (\text{salinidad} + \text{drenaje} + \text{profundidad} + \text{rocosidad} + \text{anegamiento} + \text{textura}) / 6$$

Como último paso se reclasificó el PCE en cinco categorías de aptitud de acuerdo al cuadro N° 3.

**Cuadro N° 3.** Reclasificación del PCE en cinco categorías de aptitud

PCE Omega	Índice de aptitud	Clase de aptitud
100-80	4	Muy apto
80-60	3	Apto
60-40	2	Moderadamente apto
40-20	1	Marginalmente apto
20-0	0	No apto

Fuente: elaboración propia.

## Aptitud de suelos para las variables edáficas

A continuación se presentan los resultados obtenidos respecto de la distribución espacial de la aptitud de suelos para las variables seleccionadas. Se muestran los mapas de aptitud obtenidos para cada factor edáfico (Figuras 2a, 2b, 3a, 3b, 4a y 4b) y un resumen de las superficies obtenidas (km<sup>2</sup>) para cada categoría de aptitud en función de cada una de las variables (cuadro 4).

Para el análisis de estos resultados se tuvo en cuenta como información auxiliar la descripción de las unidades cartográficas de la capa de suelos de Catamarca (INTA 2011), en especial la posición en el paisaje y las limitaciones primarias, secundarias y terciarias.

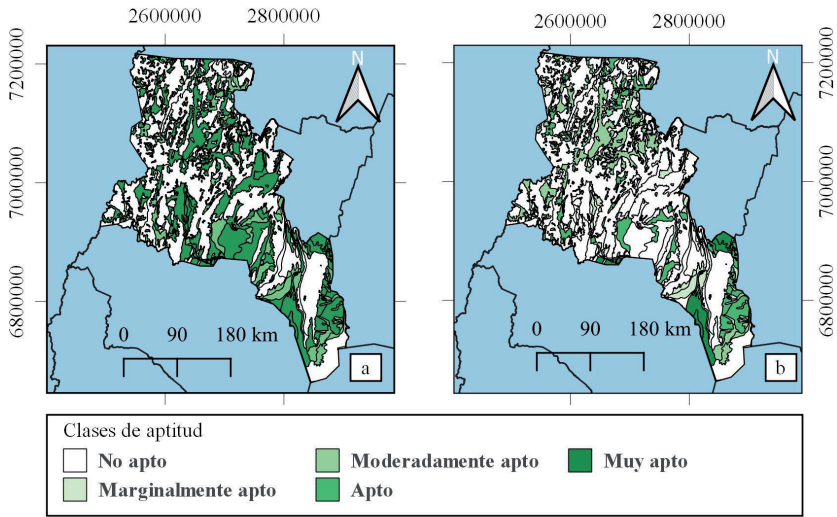
**Cuadro N° 4.** Superficies (km<sup>2</sup>) de cada categoría de aptitud según variables seleccionadas

Categoría	Anegamiento	Profundidad	Rocosisdad	Salinidad	Textura	Drenaje
No apto	42.509,8	54.639,6	57.874,1	59.930,5	68.687,9	57.209,7
Marginalmente apto	381,4	0	14.129,4	25.682,7	3.963,5	30.935,1
Moderadamente apto	555,1	378,8	18.308,0	0	15.534,7	373,8
Apto	2.195,4	11.015,6	1.166,2	0	9.978,6	1.568,1
Muy apto	55.850,0	35.457,7	10.014,0	15.878,5	3.327,0	11.405,0

Fuente: elaboración propia.

Para la variable profundidad (figura 2a) las áreas clasificadas como muy aptas y aptas se distribuyen en planicies, planos aluviales y también en sectores medios, apicales e inferiores de cono (en zonas montañosas); de acuerdo a la información presentada en el cuadro 4 estas categorías suman alrededor de 46.473,3 km<sup>2</sup>, lo cual corresponde al 45,8% de la superficie de la provincia.

**Figura N° 2.** Aptitud de suelos para las variables profundidad (a) y textura (b)



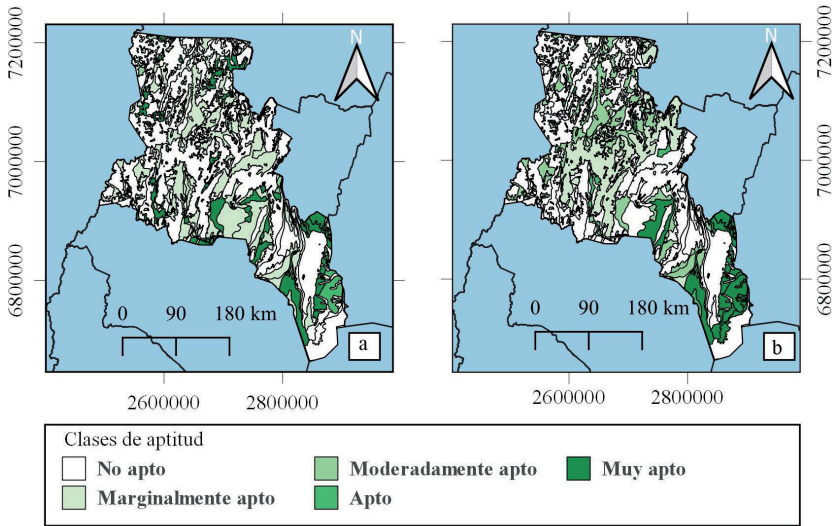
Fuente: elaboración propia.

Con respecto a la variable textura las unidades clasificadas como muy aptas representan una pequeña proporción del total de la superficie de la provincia (en total 3.327 km<sup>2</sup>, ver cuadro N° 4). En la figura 2b se observa que estas unidades se distribuyen hacia el sudeste del área de estudio y corresponden a explanadas y planicies con texturas francas. En cambio, las áreas clasificadas como aptas representan 9.978,6 km<sup>2</sup> (cuadro 4) y se distribuyen en zonas montañosas. Ambas categorías (muy apto y apto) representan un 13,1% de la superficie total provincial. También debe mencionarse que para esta variable se cuenta con un total de 15.534,7 km<sup>2</sup> de tierras clasificadas como moderadamente aptas (cuadro N° 4) distribuidas en zonas montañosas principalmente en unidades con texturas arcillosas.

En cuanto a los factores drenaje y rocosidad (figuras 3a y 3b respectivamente) las unidades clasificadas como muy aptas y aptas, resultan ser aquellas distribuidas en el sudeste de la provincia correspondiendo a explanadas y planicies, sin limitantes de pedregosidad ni de drenaje. Para la variable rocosidad estas categorías suman un total de 11.180,2 km<sup>2</sup>, en cambio para el factor drenaje arrojan un total de 12.973,1 km<sup>2</sup> (cuadro 4); estos valores representan el 11% y el 12,8% de la superficie total provincial respectivamente. Para la variable rocosidad además se cuenta con 18.308 km<sup>2</sup> de áreas clasificadas como moderadamente aptas, distribuyéndose en

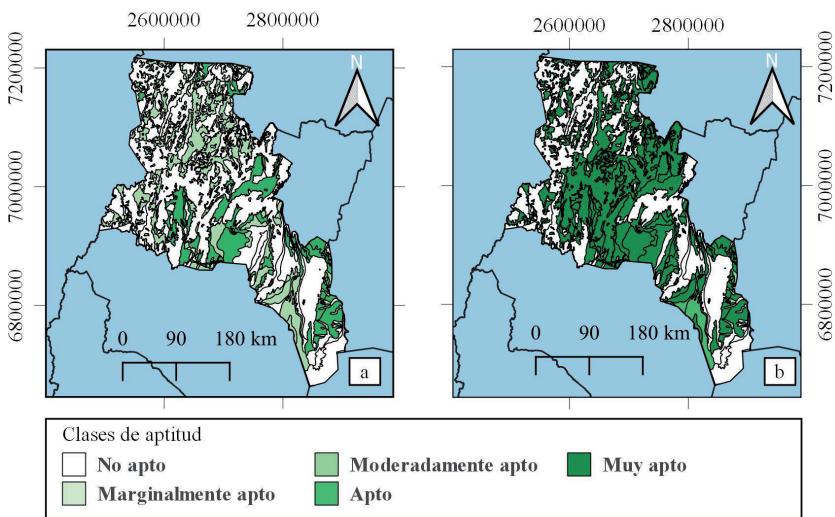
zonas montañosas principalmente en unidades con pedregosidad como limitación primaria.

**Figura N° 3.** Aptitud de suelos para las variables drenaje (a) y rocosidad (b)



Fuente: elaboración propia.

**Figura N° 4.** Aptitud de suelos para las variables salinidad (a) y anegamiento (b)



Fuente: elaboración propia.

Con respecto a la variable salinidad (figura N° 4a) las áreas clasificadas como muy aptas se distribuyen en zonas montañosas (en sectores medios y apicales de conos), y en explanadas y llanuras del sudeste de la provincia. Esta categoría cuenta con una superficie de 15.878,5 km<sup>2</sup> (cuadro N° 4), lo cual representa el 15,6% del total del área de estudio.

La variable anegamiento (figura N° 4b) presenta la mayor proporción de tierras muy aptas (55.850 km<sup>2</sup>, ver cuadro 4) distribuidas en pendientes y zonas montañosas. Si se suman además las áreas clasificadas como aptas (2.195,4 km<sup>2</sup>, cuadro N° 4) se obtiene que el 57,2% de la superficie provincial presenta buena aptitud en función de esta variable.

En relación a las categorías más bajas de aptitud (marginalmente apto y no apto) puede observarse que las variables drenaje, rocosidad y salinidad presentan superficies significativas de unidades clasificadas como marginalmente aptas (cuadro N° 4) principalmente distribuidas en zonas montañosas y laderas empinadas (figuras N° 3a, 3b y 4a). En general para todas las variables las áreas clasificadas como no aptas se distribuyen principalmente en unidades cartográficas compuestas por afloramientos rocosos (en zonas montañosas), salinas y lagunas (estas dos últimas unidades ubicadas en el sudeste de la provincia). Considerando la superficie total del área de estudio la menor proporción de tierras no aptas la presenta la variable anegamiento con 42.509,8 km<sup>2</sup> (44,8%), mientras que la variable textura presenta la mayor proporción para esta categoría con un total de 68.687,9 km<sup>2</sup> (67,7%, ver cuadro N° 4).

## Aptitud de suelos para la producción de nuez pecán

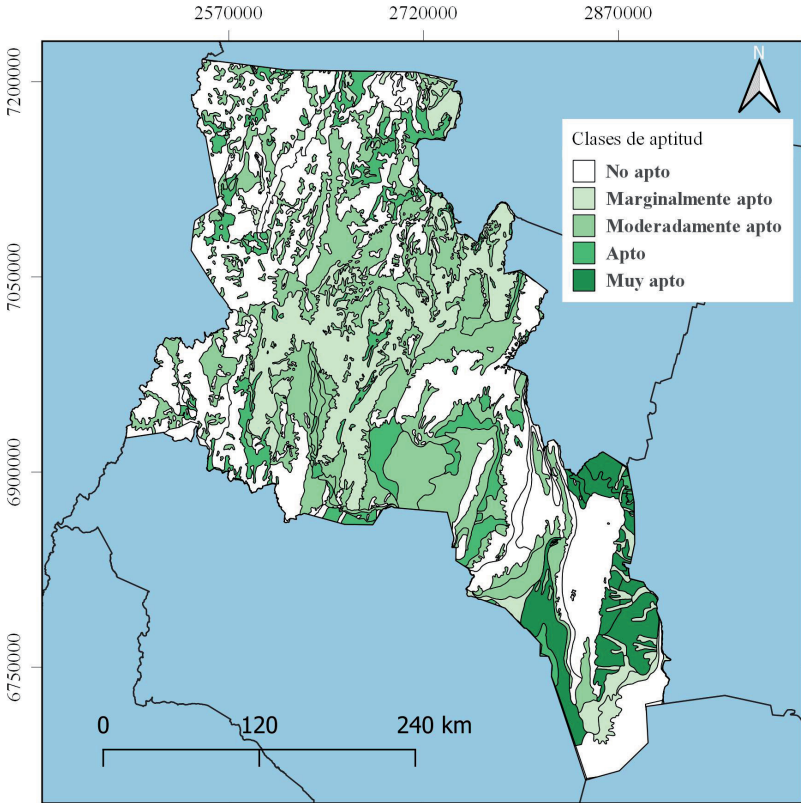
Se presentan a continuación el mapa final de aptitud de suelos obtenido (Figura N° 5) y un resumen de las áreas obtenidas para el mapa final de aptitud de suelos de la provincia de Catamarca en porcentajes y en km<sup>2</sup> (cuadro N° 5).

**Cuadro N° 5.** Superficie (en km<sup>2</sup> y en%) según categoría de aptitud de suelos para la producción de nuez pecán

Categoría	Superficie (km <sup>2</sup> )	Superficie (%)
No apto	40.829,5	40,2
Marginalmente apto	16.743,6	16,5
Moderadamente apto	30.411,0	30,0
Apto	7.607,7	7,5
Muy apto	5.899,9	5,8
<b>Total</b>	<b>101.491,7</b>	<b>100</b>

Fuente: elaboración propia.

**Figura N° 5.** Mapa de aptitud de suelos para la producción de nuez pecán en la provincia de Catamarca



Fuente: elaboración propia.

El mapa de aptitud de suelos estandarizado por PCE (figura N° 5) presenta un 59,8 % de superficie de tierras aptas para la producción de nuez pecán (cuadro N° 5: suma de las categorías muy apto, apto, moderadamente apto y marginalmente apto) distribuidas en zonas de planicies, llanuras extendidas y explanadas ubicadas en el sudeste de la provincia, y en sectores medios y apicales de conos en zonas montañosas. Solamente un 13,3 % de esas tierras corresponden a las categorías más altas de aptitud (muy apto y apto). El resto de las tierras aptas se distribuye en las categorías moderadamente apto (30%) y marginalmente apto (16,5%). Las áreas clasificadas como moderadamente aptas se encuentran distribuidas en sectores medios y apicales de conos con pendientes pronunciadas, baja retención hídrica

y problemas de pedregosidad, mientras que las clasificadas como marginalmente aptas se distribuyen en planicies inundables con limitantes por presencia de salinidad, drenaje deficiente, y texturas gruesas.

El total de tierras clasificadas como no aptas representan el 40,2% de la superficie provincial (cuadro N° 5) y se encuentran distribuidas mayormente en las unidades cartográficas clasificadas como salinas, lagunas y afloramientos rocosos, y en unidades que presentan limitaciones por rocosidad o profundidad efectiva, ubicadas principalmente en zonas montañosas.

## Consideraciones finales

A través de la aplicación desarrollada en este trabajo se determinó que la provincia de Catamarca cuenta con un 59,8 % de superficie de tierras aptas para la producción de nuez pecán. De ese total solamente el 13,3 % corresponde a las categorías muy apto y apto, donde el cultivo podría alcanzar entre el 60 y el 100 % de su rendimiento potencial según la categorización adaptada de FAO (1976). El 46,5 % de las tierras aptas restantes corresponden a las categorías moderadamente apto y marginalmente apto lo cual implica que el cultivo alcanzaría entre 20 a 60 % del rendimiento potencial. Para estas categorías puede considerarse la implementación de prácticas de manejo orientadas a modificar o eliminar las limitaciones edáficas, en función del origen, la naturaleza y la magnitud de las mismas, para mejorar las condiciones de cultivo y lograr incrementos en los rendimientos esperados.

Se determinó además que las tierras no aptas representan el 40,2% del total provincial y se distribuyen principalmente en salinas, lagunas, afloramientos rocosos, y unidades cartográficas con limitaciones por rocosidad o profundidad efectiva en zonas montañosas.

La metodología aplicada en este trabajo permitió cumplir los objetivos planteados, obteniendo la caracterización de la aptitud de los suelos de la provincia de Catamarca para la producción de nuez pecán. Se logró la localización de áreas con distintos grados de aptitud adaptando la metodología propuesta por FAO (1976) y teniendo en cuenta la distribución espacial de los factores edáficos considerados para este estudio.

Finalmente se destaca que los resultados obtenidos constituyen una herramienta para la toma de decisiones en el establecimiento de huertos de nogal pecán en la provincia de Catamarca.

## Referencias bibliográficas

- Akinci, H., Özalp, A. Y., & Turgut, B. (2013). Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. *Computers and Electronics in Agriculture*, 97, 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.07.006>
- Bunruamkaew, K., & Murayam, Y. (2011). Site Suitability Evaluation for Ecotourism Using GIS & AHP: A Case Study of Surat Thani Province, Thailand. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 21, 269–278. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.07.024>
- Buzai, G. (2014). Metodología de evaluación multicriterio en el análisis espacial de la salud. *Geografía de La Salud Sin Fronteras Desde Iberoamerica*, (Diciembre 2014).
- Buzai, G. D. (2017). Evaluación Multicriterio con Sistemas de Información Geográfica. En Moreno Jiménez, A.; Buzai, G.; Fuernalzida, M. (Eds). *Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones en diagnósticos territoriales y decisiones geoambientales*. Madrid, Ra-Ma, pp 385-393.
- Buzai, G. D., y Baxendale, C. A. (2011). *Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica. Perspectiva científica. Temáticas de base raster*. (1st ed.; L. Editorial, Ed.). Buenos Aires.
- Buzai, G. D. y Principi, N. (2017). Identificación de áreas de potencial conflicto entre usos del suelo en la cuenca del Río Luján (Argentina). *Revista Geográfica de América Central*, 59, 91-124.
- Cabrera, A. L. (1971). Fitogeografía de la República Argentina. *Boletín de La Sociedad Argentina de Botánica*, 14, 1-42.
- El Baroudy, A. A. (2016). Mapping and evaluating land suitability using a GIS-based model. *CATENA*, 140, 96-104. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.12.010>
- FAO. (1976). *A framework for land evaluation*. *Soils Bulletin* 32. Roma.
- Gomez, L. A., y Cruzate, G. A. (2007). Aptitud de suelos argentinos para el pecán. *Carya illinoensis* ). In *Produccion de Pecán en Argentina* (pp. 1-9).
- Herrera, E. (1999). *Selecting soil and Site for a Pecan Orchard. Cooperative Extension Service*. College of Agriculture and Home Economics (New & M. S. University., Eds.). New Mexico State University.
- IGN. (2018). Provincias. Retrieved April 15, 2019, from <http://ign.gov.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG>.
- Lanzelotti, S., y Buzai, G. (2015). Modelos de aptitud espacial para la agricultura prehispanica y actual en el valle de Santa María , Catamarca. *Estudios Socioterritoriales. Revista de Geografía*, 18, 139–150.
- Li, B., Zhang, F., Zhang, L. W., Huang, J. F., Jin, Z. F., & Gupta, D. K. (2012). Comprehensive Suitability Evaluation of Tea Crops Using GIS and a Modified Land Ecological Suitability Evaluation Model. *Pedosphere*, 22(1), 122–130. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(11\)60198-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(11)60198-7)
- Malczewski, J. (2006). Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8(4), 270–277. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2006.01.003>
- Mendas, A., & Delali, A. (2012). Integration of MultiCriteria Decision Analysis in GIS to develop land suitability for agriculture: Application to durum wheat cultivation in the region of Mleta in Algeria. *Computers and Electronics in Agriculture*, 83, 117–126. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.02.003>
- Morales Poclava, C., Sobral, R., Nakama, V., Volante, J., y Bianchi, A. (2015). *Evaluación de tierras mediante métodos paramétricos*. S/D
- Núñez Aguilar, F. A., y Alvarez de Toledo, J. M. (2004). *El riego en la Provincia de Catamarca*. S/d
- Panigatti, L. (2010). *Argentina, 200 años, 200 suelos*. Retrieved from <https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-200-suelos.pdf>
- PROSAP-UCAR. (2015) Plan de mejora competitiva. Cluster de la nuez pecán. Disponible en: <https://clusterdelanuezpecan.net/plan-de-mejora-competitiva/>
- Romano, G., Dal Sasso, P., Trisorio Liuzzi, G., & Gentile, F. (2015). Multi-criteria decision analysis for land suitability mapping in a rural area of Southern Italy. *Land Use Policy*, 48, 131–143. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.013>
- SAGyP-INTA. (1990). *Atlas de suelos de la República Argentina* (1a ed.). Buenos Aires: SAGPyA-INTA.



- USDA. (2014). *Claves para la Taxonomía de Suelos Servicio de Conservación de Recursos Naturales*. Retrieved from [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_051546.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf)
- Walke, N., Obi Reddy, G. P., Maji, A. K., & Thayalan, S. (2012). GIS-based multicriteria overlay analysis in soil-suitability evaluation for cotton (*Gossypium* spp.): A case study in the black soil region of Central India. *Computers & Geosciences*, *41*, 108-118. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2011.08.020>
- Zabihi, H., Ahmad, A., Vogeler, I., Said, M. N., Golmohammadi, M., Golein, B., & Nilashi, M. (2015). Land suitability procedure for sustainable citrus planning using the application of the analytical network process approach and GIS. *Computers and Electronics in Agriculture*, *117*, 114-126. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.07.014>
- Zhang, R., Peng, F., y Li, Y. (2015). Pecan production in China. *Scientia Horticulturae*, *197*, 719-727. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.035>
- Zolekar, R. B., & Bhagat, V. S. (2015). Multi-criteria land suitability analysis for agriculture in hilly zone: Remote sensing and GIS approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, *118*, 300-321. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.09.016>