



ÍNDICE DE CALIDAD DE SUELOS DE LA PROVINCIA DE NEUQUÉN

Tesis presentada para optar por el título de: Licenciada en
Saneamiento y Protección Ambiental.

Tesista: Mariana Weber.

Directora de tesis: Ing. Agr. (M.Sc.) Patricia M. Schmid – FACIAS -
FACA - Universidad Nacional Del Comahue

2016

INDICE

RESUMEN	6
ABSTRAC.....	8
INTRODUCCION	10
HIPÓTESIS	14
OBJETIVOS	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos.....	14
ANTECEDENTES	15
MARCO TEÓRICO.....	21
MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
Área de estudio	30
Región Andina	32
Región Extraandina	34
Metodología.....	38
pH	41
Conductividad eléctrica.....	41
Porcentaje de Sodio Intercambiable.....	42
Textura	42
Materia Orgánica.....	43
Profundidad Efectiva.....	43
Clase natural de drenaje	44
Pendiente	44
Pedregosidad.....	45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
pH	48
Conductividad Eléctrica.....	54
Porcentaje de Sodio Intercambiable.....	60
Textura	66
Materia Orgánica.....	73
Profundidad Efectiva.....	79

Clase natural de drenaje	85
Pendiente	92
Pedregosidad.....	97
Índice de Calidad de Suelos – ICS.....	103
CONCLUSIONES	114
RECOMENDACIONES.....	117
BIBLIOGRAFÍA.....	118
ANEXO	126
1.1 Clasificación de Clase Natural de Drenaje.....	126
1.2 Clasificación de Pedregosidad.....	128
1.3 Unidades cartográficas.....	130
1.4 Valores ponderados	135

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Componentes de la calidad del suelo (Doran y Parkin, 1994).....	11
Figura 2: Regiones y Subregiones Naturales de la provincia de Neuquén (Ferrer <i>et al.</i> , 2006).....	31
Figura 3 : Mapa de variación del pH ponderado en la provincia de Neuquén.....	48
Figura 4: Mapa de calidad de pH en la provincia de Neuquén.	51
Figura 5: Distribución de la calidad de pH en la provincia de Neuquén.	53
Figura 6: Mapa de variación de la Ce ponderada en la provincia de Neuquén.	54
Figura 7: Mapa de la variación de la calidad de Ce en la provincia de Neuquén.....	57
Figura 8: Distribución de la calidad de la Ce en la provincia de Neuquén.	59
Figura 9: Mapa de variación de PSI ponderado en la provincia de Neuquén.	60
Figura 10: Mapa de calidad de PSI en la provincia de Neuquén.	63
Figura 11: Distribución de la calidad de PSI en la provincia de Neuquén.	65
Figura 12: Mapa de variación de la Clase Textural ponderada en la provincia de Neuquén.....	66
Figura 13: Mapa de variación de la calidad la Clase Textural en la provincia de Neuquén.	70
Figura 14: Distribución de la calidad de la Clase Textural en la provincia de Neuquén.....	72
Figura 15: Mapa de variación de la Materia Orgánica ponderada de la provincia de Neuquén.	73
Figura 16: Mapa de calidad de Materia Orgánica en la provincia de Neuquén.....	76
Figura 17: Distribución de la calidad de la Materia orgánica en la provincia de Neuquén.....	78
Figura 18: Mapa de variación de Profundidad Efectiva ponderada en la provincia de Neuquén. ...	79
Figura 19: Mapa de variación de la calidad Profundidad Efectiva en la provincia de Neuquén.....	82
Figura 20: Distribución de la calidad de la Profundidad Efectiva en la provincia de Neuquén.	84
Figura 21: Mapa de Clase Natural de Drenaje ponderada en la provincia de Neuquén.....	85
Figura 22: Mapa de calidad de la Clase Natural de Drenaje en la provincia de Neuquén.	89

Figura 23: Distribución de la calidad de la Clase Natural de Drenaje en la provincia de Neuquén. .	91
Figura 24: Mapa de Pendiente ponderada en la provincia de Neuquén.	92
Figura 25: Mapa de calidad de la Pendiente en la provincia de Neuquén.....	95
Figura 26: Distribución de la calidad de la Pendiente en la provincia de Neuquén.....	96
Figura 27: Mapa de Pedregosidad ponderada en la Pprovincia de Neuquén.	97
Figura 28: Mapa de calidad de Pedregosidad categorizada en la provincia de Neuquén.	100
Figura 29: Distribución de la calidad de la Pedregosidad en la provincia de Neuquén.	102
Figura 30: Mapa de Calidad de Suelos.	106
Figura 31: Distribución del ICS en la provincia de Neuquén.	107
Figura 32: Distribución de la calidad de los suelos en las Subregiones Naturales.	108
Figura 33: Distribución de la calidad de los suelos en la Región Andina.....	109
Figura 34: Distribución de la calidad de los suelos en la Región Extra Andina.	109
Figura 35: Distribución de la calidad de los suelos en la Subregión Andina Húmeda Montañosa.	110
Figura 36: Distribución de la calidad de los suelos en la Subregión Andina Subhúmeda Montañosa.	111
Figura 37: Distribución de la calidad de los suelos en la Subregión Subhúmeda de Planicies, Colinas y Serranías.	111
Figura 38: Distribución de la calidad de los suelos en la Subregión Árida Serrana.....	112
Figura 39: Distribución de la calidad de los suelos en la Subregión Árida Mesetiforme.	113

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Escala de categorización de valores de pH.....	49
Tabla 2: Valores ponderados y categorizados de pH.	50
Tabla 3: Escala de categorización de valores de Conductividad Eléctrica.	55
Tabla 4: Valores ponderados y categorizados de Conductividad Eléctrica.....	56
Tabla 5: Escala de categorización de PSI.....	61
Tabla 6: Valores ponderados y categorizados de PSI.....	62
Tabla 7: Escala de categorización de clase textural.	67
Tabla 8: Valores ponderados y categorizados de clase textural.	69
Tabla 9: Escala de categorización de Materia Orgánica.....	74
Tabla 10: Valores ponderados y categorizados de Materia Orgánica.	75
Tabla 11: Escala de categorización de Profundidad Efectiva.	80
Tabla 12: Valores ponderados y categorizados de Profundidad Efectiva.	81
Tabla 13: Escala de categorización de Clase Natural de Drenaje.....	86
Tabla 14: Valores ponderados y categorizados de Clase Natural de Drenaje.	88
Tabla 15: Escala de categorización de Pendiente.	93
Tabla 16: Valores ponderados y categorizados de Pendiente.	94
Tabla 17: Escala de categorización de Pedregosidad.....	98
Tabla 18: Valores ponderados y categorizados de Pedregosidad.....	99

Tabla 19: Valores categorizados de cada indicador y su correspondiente ICS.	104
Tabla 20: Escala de categorización de ICS.	105
Tabla 21: Clasificación de Pedregosidad. Fuente: Soil Taxonomy.	129
Tabla 22: Unidades cartográficas.	134
Tabla 23: Valores ponderados.....	135

RESUMEN

La preocupación por la degradación de los suelos, principalmente por las actividades antropogénicas no es nueva, sino, en las últimas décadas, ha conllevado a tomar conciencia de los impactos negativos sobre este recurso.

En la provincia de Neuquén, las características climáticas y sus diversos modos de producción expone a estos ambientes a procesos de degradación. Por ello, la evaluación de la calidad del suelo resulta esencial para poder determinar la sustentabilidad de los sistemas de manejo de la tierra.

Este trabajo presenta la siguiente hipótesis: "La selección de set mínimo de indicadores del suelo permiten elaborar un Índice de Calidad de Suelos (ICS) confiable para la provincia del Neuquén.". Para validarla se planteó como objetivo general, determinar la calidad de los suelos de la Provincia del Neuquén y representarlos cartográficamente.

Para ello se seleccionaron nueve indicadores: pH, conductividad eléctrica, porcentaje de sodio intercambiable, materia orgánica, clase textural, profundidad efectiva, pendiente, pedregosidad y clase natural de drenaje.

En cada unidad cartográfica se escogieron los suelos dominante/s y subordinado/s; y se realizó un promedio ponderado de los valores de cada indicador de acuerdo al porcentaje que ocupa cada suelo dentro de la misma. Los valores ponderados se categorizaron mediante la construcción de escalas, para ello se establecieron categorías con valores de 4 a 1 para las condiciones de mayor a menor calidad.

Los valores ponderados y categorizados se procesaron en el programa ArcGIS 10.3 y se confeccionaron mapas de calidad para cada indicador. Los indicadores de calidad del suelo permitieron analizar la situación actual identificando las zonas más y menos favorables de la provincia.

Se planteó el Índice de Calidad de Suelos (*ICS*) en base a la sumatoria de los indicadores elegidos, el cual se calculó para cada unidad cartográfica. Para la interpretación del *ICS* se utilizó una escala de transformación en cuatro clases de calidad del suelo, el rango oscila entre la peor condición ($ICS = 9$), considerando cada indicador con valor 1, y la condición óptima ($ICS = 36$), considerando cada indicador con valor 4. Por último, con el software de base se generó el mapa de Calidad de Suelos de la Provincia de Neuquén.

En la provincia de Neuquén el *ICS* presenta una calidad alta en el 72 % de la superficie, muy alta en el 27 % y moderada en el 1 % del área.

La metodología empleada para la determinación del Índice de Calidad de Suelos (*ICS*) resultó adecuada, debido a que el sistema de información geográfica (SIG) utilizado permitió reflejar la variación de los indicadores.

Los resultados de este trabajo permiten afirmar que el Índice de Calidad de Suelos de la provincia de Neuquén puede ser considerado una herramienta para la gestión ambiental, pues permite evaluar la sustentabilidad ecológica de los diversos ecosistemas (regiones naturales).

Palabras claves: Índice, Indicador, Calidad del suelo, Sistema de Información Geográfica (SIG).

ABSTRAC

Concerns about soil degradation, mainly by anthropogenic activities is not new, but in recent decades has led to become aware of the negative impacts on this resource.

In the province of Neuquén, climatic characteristics and its various modes of production environments exposes these degradation processes. Therefore, evaluation of soil quality is essential to determine the sustainability of systems land management.

This paper presents the following hypothesis: "The selection of a minimum set of indicators allow soil develop a Soil Quality Index (ICS) reliable for the province of Neuquén.". To validate was raised as a general objective, determine the quality of the soils of the Province of Neuquén and represent cartographically.

Nine indicators were selected: PH, electrical conductivity, exchangeable sodium percentage, organic matter, textural class, effective depth, slope, stoniness and natural drainage class.

In each mapping unit dominant and subordinate soils were chosen; and a weighted average of the values of each indicator according to the percentage occupied by each soil within the same was performed. The weighted values are categorized by constructing scales for this category 4 values were set to 1 for the conditions of highest to lowest quality.

They categorized and weighted values were processed in ArcGIS 10.3 and quality maps were prepared for each indicator. The soil quality indicators, analyze the current situation allowed identifying the most and least favorable areas of the province.

The Soil Quality Index (*ICS*) was raised based on the sum of the chosen indicators, which were calculated for each mapping unit. a scale transformation was used in four kinds of soil quality for the interpretation of the *ICS*, the range between

the worst condition ($ICS = 9$), considering each indicator value 1, and the optimum condition ($ICS = 36$), considering each indicator value 4. Finally, the software base map of soil quality of the Province of Neuquén was generated.

In the province of Neuquén ICS it has a high quality 72% of the surface, very high in 27% and moderate in 1% of the area.

The methodology for determining the Soil Quality Index (ICS) was adequate, because the geographic information system (GIS) used allowed reflect the variation of indicators.

The results of this study support the conclusion that the Soil Quality Index of the province of Neuquén can be considered a tool for environmental management, allowing assess the ecological sustainability of the various ecosystems (natural regions).

Keywords: Index, Indicator, Soil quality, Geographic Information System (GIS).

INTRODUCCION

La preocupación por la degradación de los suelos, principalmente por las actividades antropogénicas no es nueva, sino, en las últimas décadas, ha conllevado a tomar conciencia de los impactos negativos sobre este recurso. Esta situación ha traído un gran interés por evaluar el estado actual de los suelos, el cual es llamado por algunos autores como "calidad del suelo". La aplicación de dicho concepto es un proceso que está en constante evolución (Sequeda-Navarrete *et al.*, 2011).

Un hito importante fue la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente y el Desarrollo - Río '92 (UNCED) al establecer la necesidad de desarrollar y aplicar diferentes metodologías para determinar el estado del ambiente y monitorear los cambios ocurridos a nivel local, nacional, regional y global. La aplicación del Capítulo 40 de la Agenda 21 condujo al desarrollo de diversas metodologías que determinaron el uso generalizado de indicadores e índices para la evaluación de la calidad ambiental, calidad de suelos, sustentabilidad, desarrollo sustentable, riesgo, vulnerabilidad, planificación territorial, entre otros. El antecedente más importante surgió de la Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD, 1991) cuando publicó un set preliminar de indicadores ambientales. Posteriormente, otras organizaciones han desarrollado programas donde se establecieron listas de indicadores para evaluar la calidad ambiental, tales como FAO, Banco Mundial, UN Development Program, UN Environmental Program (Cantú *et al.*, 2007).

En la ciencia del suelo, Blum y Santelises (1994) describieron el concepto de sustentabilidad y resiliencia del suelo basado en seis funciones ecológicas y humanas: el suelo como productor de biomasa; el suelo como reactor con filtros; el suelo como buffer y como transformador de materia para proteger el ambiente, el agua subterránea y la cadena de alimentos de la contaminación; el suelo como hábitat biológico y reserva genética; el suelo como medio físico y el suelo como fuente de recursos y de herencia cultural. Estos conceptos y los sugeridos por

Warkentin (1996) fueron las bases a partir de las cuales la Soil Science Society of America estableció el concepto de calidad del suelo (Karlen *et al.*, 1996). Doran y Parkin (1994, 1996) establecieron indicadores cuantitativos de calidad del suelo a partir de estos conceptos (Cantú *et al.*, 2007).

El concepto de calidad de suelo según Doran y Parkin (1994) puede definirse como: "la capacidad del suelo para sostener una productividad biológica, funcionando dentro de los límites del ecosistema, manteniendo la calidad del ambiente y promoviendo la salud de las plantas y animales". La habilidad que tiene el suelo de sostener la productividad biológica, soportar la funcionalidad ecosistémica y mantener el balance ambiental biofísico (Figura 1), está íntimamente relacionada con la calidad del suelo (Doran *et al.*, 1994).

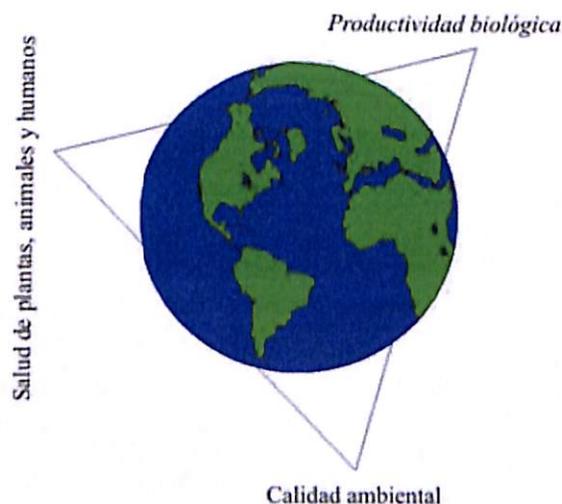


Figura 1: Componentes de la calidad del suelo (Doran y Parkin, 1994).

Para Lal (1993), la calidad del suelo es un indicador de sostenibilidad y es su capacidad de producir bienes y servicios y regular el ambiente.

Según Font *et al.* (2004) la evaluación de la calidad del suelo se debe realizar sobre la base de la función propuesta para el mismo; con el uso de indicadores que reflejen su capacidad de funcionar y deben ser bastantes sensibles para detectar

cambios en el suelo como resultado de su deterioro y ser, además, fácilmente medibles y reproducibles.

Los indicadores son instrumentos de análisis que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos (Adriaanse, 1993). Tales indicadores se aplican en muchos campos del conocimiento (economía, salud, recursos naturales, etc). Los indicadores de calidad del suelo pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas, o procesos que ocurren en él (SQI, 1996).

Hünemeyer *et al.* (1997) establecieron que los indicadores deberían permitir: (a) analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible; (b) analizar los posibles impactos antes de una intervención; (c) monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas; y (d) ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible.

El suelo es un recurso que sostiene, en su concepción más amplia, la vida. Posee propiedades biológicas, químicas y físicas, algunas de las cuales son dinámicas y pueden cambiar en respuesta al manejo del suelo. No sólo resulta interesante tratar de conocer las características morfológicas del sustrato edáfico, sino también reconocer que éste es una parte integral del ecosistema y que, por lo tanto, existen múltiples y complejas interrelaciones e interdependencias que se dan entre el suelo, la vegetación y otros factores ambientales.

La evaluación de la calidad del suelo resulta esencial para poder determinar la sustentabilidad de los sistemas de manejo de la tierra. Para cada situación particular será necesario desarrollar sistemas de manejo diferentes, de acuerdo con las características específicas del suelo y con las diversas condiciones ambientales en que se encuentra.

En la provincia de Neuquén, se presentan distintos modos de producción entre los que se destacan: ganadería, agricultura, forestación y actividades extractivas, junto con las características climáticas propias de la región, que expone

a estos ambientes a procesos de degradación. Los mismos comienzan con la disminución de la cubierta vegetal seguida de alteración en la dinámica del agua en el perfil del suelo, los cuales intensifican los procesos de erosión y acumulación de sales.

A pesar de la importancia para la vida, el suelo no ha recibido de la sociedad la atención que merece. Su degradación es una seria amenaza para el futuro de la humanidad. Por lo tanto, los científicos se enfrentan al triple desafío de intensificar, preservar e incrementar la calidad de la tierra. Para ello, es necesario contar con una sólida concepción de la calidad y con indicadores de calidad o salud de la tierra y de manejo sostenible de la misma, tal como se cuenta para dar seguimiento a variables sociales y económicas.

El propósito fundamental de investigar y determinar la calidad de nuestro suelo no es solamente poder preservar sus propiedades –físicas, físicoquímicas, y químicas- y mejorar su actividad biológica, sino también es proteger y mejorar, a largo plazo, nuestra productividad agrícola, la calidad del agua y, en general, el hábitat de todos los organismos vivos, incluido el hombre.

El tema propuesto pretende aportar conocimientos sobre la calidad del suelo de la provincia de Neuquén, contando con un set mínimo de indicadores, de simple medición y con validez local, que pueda ser utilizado por agencias gubernamentales y responsables del manejo del suelo en la evaluación y seguimiento en el tiempo de la calidad de este recurso.

Además, estos indicadores son una herramienta estratégica para la gestión ambiental, para desarrollar programas/planes de manejo, conservación y/o mejoramiento de los suelos. Nos dan una aproximación de la fragilidad del ambiente y de las posibles intervenciones a realizar. De esta manera, se podrá apoyar, mejorar y hacer más eficaz el proceso de la toma de decisiones y planificación así como incrementar el intercambio, la difusión y la comunicación de la información a nivel de los usuarios y la población involucrada.

HIPÓTESIS

La selección de un set mínimo de indicadores del suelo permite elaborar un Índice de Calidad de Suelos (ICS) confiable para la provincia del Neuquén.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Determinar la calidad de los suelos de la Provincia del Neuquén y representarlos cartográficamente.

Objetivos Específicos

- Seleccionar un conjunto de indicadores que permitan evaluar la calidad del suelo en el área de estudio.
- Establecer un índice de calidad de suelos.
- Presentar mapas temáticos de cada uno de los indicadores de Calidad de Suelos de la Provincia del Neuquén.
- Presentar un mapa de Índice de Calidad del Suelo de la Provincia del Neuquén.

ANTECEDENTES

Los indicadores son una herramienta universal para estimar la calidad de los suelos, pero si es cierto que no existe una lista con indicadores que se pueden aplicar en forma global, ya que éstos varían de acuerdo con las características predominantes del lugar de estudio.

Los estudios sobre la calidad de los suelos mediante el uso de indicadores han sido ampliamente desarrollados. En América Latina y el Caribe, podemos citar al autor mexicano Astier (2002), el cual basándose en el marco conceptual del MESMIS (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad) consideró primeramente los atributos que debería tener un sistema agrícola sustentable (productividad, estabilidad y resiliencia) y con base en ello seleccionó indicadores para sistemas agrícolas en suelos de ladera en la Cuenca del Lago Zirahuén, Michoacán.

Pablo (2012), realizó un trabajo de la calidad de los suelos del Municipio Minero de Natividad, Oaxaca, México; en el cual a partir de la interpretación de un conjunto de propiedades del suelo, tanto obtenidas en campo como en laboratorio, se determinó la calidad del suelo de la Natividad, bajo diferentes usos (forestal, agrícola y urbano). La selección de los indicadores se realizó en base a lo propuesto por Doran y Parkin (1994).

En México, Prieto-Méndez *et al.* (2013), en su trabajo *Indicadores e Índices de calidad de los suelos (ICS) cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México*, establecieron indicadores e índices de calidad para realizar evaluaciones y estimaciones rápidas sobre los mismos. Ocho indicadores fueron categorizados en una escala 0-1 que representan, respectivamente, la peor y mejor condición desde el punto de vista de la calidad.

En Venezuela, Torres *et al.* (2006) realizaron su investigación en un ultisol degradado. Se aplicaron prácticas de conservación de suelos con el fin recuperar sus propiedades y mejorar su calidad. Luego de cuatro años se evaluó el efecto de

estas prácticas sobre diferentes propiedades físicas, químicas e hidrológicas del suelo. Se seleccionaron indicadores e índices de calidad hidrológica y degradación nutricional, determinantes en explicar los cambios, que permitieron clasificar la tierra según las prácticas de conservación empleadas.

Rodríguez *et al.* (2009) en la zona semiárida del estado Falcón, seleccionaron indicadores de calidad de suelo para evaluar el impacto de los principales usos de la tierra en el "Cebollal" Planicie de Coro sobre algunas variables físicas, químicas, biológicas e hidrológicas del suelo, volcando los datos en un programa de estadística. Los usos de la tierra que fueron evaluados son tres; bosque natural, zábila Aloe vera L. bajo riego y un sistema melón-melón (Cucumis melo) con fertilización química y labranzas convencional (TUT-M).

Dávila *et al.* (2009), estudiaron dos sistemas silvopastoriles mediante indicadores de calidad del suelo en el Estado Mérida, Venezuela. Los datos fueron valorados usando un software el cual requiere establecer para el agroecosistema las funciones específicas del suelo. Para ello, se seleccionaron tres funciones relacionadas con la fertilidad: física, química y biológica, a cada función se le establecieron los valores óptimos para cada indicador. Para cada indicador se determinó un índice de valoración entre 0 y 1; siendo 1 el mejor y 0 el peor.

En Cuba los suelos ferralíticos constituyen un gran potencial agrícola, han sido estudiados por diferentes investigadores, como el caso de Febles *et al.* (2008), propusieron un conjunto de indicadores de Presión-Estado-Respuesta, mediante los que se precisó el umbral de sostenibilidad de estos suelos, en cinco establecimientos ganaderos de referencia de la provincia La Habana. El trabajo parte de investigaciones realizadas por más de dos décadas, que revelan la situación actual y la perspectiva de estos espacios rurales y posibilitan valorar los cambios de la cobertura edáfica, con el propósito de lograr sistemas de desarrollo sostenible. Se combinaron los métodos geográfico-comparativo, geofísico, morfoedafológico y genético, con la incorporación de un nuevo método para la Evaluación de la Erosión en las Regiones Cársicas, en el marco de un Sistema de

Información Geográfica. Este permitió evaluar, a mayor escala geográfica, la erosión potencial y actual de los suelos ferralítico rojos y subtipos asociados, así como la influencia de la erosión en la modificación de algunas de sus propiedades.

Sánchez *et al.* (2010), seleccionaron mediante el análisis multivariado, indicadores de calidad para los suelos ferralíticos rojos de la región central de Cuba y, para luego, elaborar a partir de estos, un diagrama de calidad.

George (2006) comparó indicadores de calidad de suelo a nivel biológico, químico y físico en veinticuatro fincas de café orgánico y convencional bajo sombra diversificada, y en tres fincas de café en pleno sol y en tres bosques. El objetivo de su estudio fue la identificación de variables físicas, químicas y especies claves del suelo que podrían ser usadas como indicadores de la calidad de los suelos de los cafetales de Turrialba, Costa Rica.

En Colombia se desarrolló un Sistema Georreferenciado de Indicadores de Calidad del Suelo (GEOSOIL) desarrollado para los Llanos Orientales, estudio de caso municipio de Puerto López. El aspecto más importante considerado en el diseño y desarrollo de GEOSOIL, está relacionado con el logro del objetivo específico de la investigación: generar un sistema georreferenciado de datos del suelo, a partir del cual se puedan derivar evaluaciones interpretativas de calidad de suelos, factores limitantes de la capacidad de uso y aptitud general de la tierra para usos específicos (Rubiano *et al.*, 2005).

Brito (2005) realizó una investigación en la cual el objetivo general de este proyecto fue el estudio de la materia orgánica y la agregación del suelo en relación con las diferentes prácticas de manejo y cobertura vegetal, para contribuir al desarrollo de estrategias de uso sostenible de la tierra en la región agrícola de Río de Janeiro. Otro trabajo en este país es el de *Evaluación de la calidad del suelo en las zonas de cacao cabruca, mata y el policultivo en Bahía sur*, de Fernandes (2008).

Pulido-Fernández *et al.* (2013) han realizado la evaluación de la calidad del suelo en dehesas y pastizales del suroeste de España, utilizando en forma diferenciada indicadores de calidad del suelo e indicadores de degradación del suelo. Otro autor, que ha estudiado estos suelos, es Cervera-Añón, (2007) centrándose en los suelos del municipio de Vitoria-Gasteiz.

En Argentina, el pionero de este tipo de investigaciones es Mario Cantú, el cual ha desarrollado varios trabajos. El primero de ellos, *Indicadores e Índices de degradación de suelos en la región central templada húmeda a subhúmeda de la República Argentina*, (Cantú *et al.*, 2001). Otro trabajo realizado por Cantú *et al.*, (2003) *Aplicación del modelo Presión Estado y Respuesta (PSR) para evaluar la calidad ambiental en la región central de Argentina*. En el año 2007, Cantú y colaboradores realizaron un trabajo que tuvo como objetivo desarrollar y aplicar un set mínimo de indicadores de estado del recurso suelo para evaluar su calidad en agroecosistemas con Molisoles de bajo a moderado desarrollo. La metodología se probó en una unidad ambiental homogénea, con Hapludoles típicos, bajo diferentes sistemas de uso y manejo, en una cuenca pedemontana del SO de la provincia de Córdoba. A las propiedades medidas (carbono orgánico, pH, saturación de bases, agregados estables en agua, velocidad de infiltración, densidad aparente y el espesor horizonte A) se le establecieron rangos de calidad a partir de los cuales se categorizaron los indicadores. Los indicadores seleccionados son un número mínimo de variables con alto grado de agregación, fáciles de medir y repetibles, representando las condiciones locales.

En el 2008, publicó *Evaluación del impacto del cambio de uso y manejo de la tierra mediante indicadores de calidad de suelo, Córdoba, Argentina*, (Cantú *et al.*, 2008). Un estudio con objetivos similares realizaron Campitelli *et al.* (2010), en el cual se determinaron los indicadores que mejor representaron la calidad de un suelo del área central de la provincia de Córdoba.

La Región Pampeana fue estudiada por Urricariet *et al.* (1999), estableciendo indicadores de deterioro para esta región. También fue analizada por Civeira *et al.* (2003), éstos seleccionaron Indicadores de calidad sensibles al manejo en distintas

series de suelos de la Región Pampeana. Evaluaron diversas propiedades físicas y químicas a campo y en laboratorio en tres situaciones de uso: cuasi prístina, mixta y agricultura continua.

En la Mesopotamia, específicamente Corrientes y Misiones, Humberto Dalurzo, ha presentado distintos trabajos, entre los que se destacan, *Indicadores de calidad de suelos del sur de la provincia de Misiones*, Dalurzo et al. (2011) y *Estimación de parámetros químicos y biológicos en oxisoles con uso citrícola*, Dalurzo et al. (2005).

En lo que respecta a la Patagonia, Holzmann (2010) publicó *Desarrollo y evaluación de un índice de calidad de suelo en montes de pera manejados bajo dos sistemas de producción, convencional y orgánico, en el Alto Valle de Río Negro*. En esta investigación se seleccionaron un conjunto de indicadores de sustentabilidad de suelos para, luego integrarlos en un índice de calidad de suelos para la producción de peras bajo riego del Alto Valle de Río Negro. Se utilizó este índice como predictor de sustentabilidad para comparar dos situaciones de manejo: convencional y orgánico.

Azpilicueta et al. (2011) presentaron un estudio en el cual el objetivo fue evaluar sitios con diferente historial de fertilización, labranza y aplicación de herbicidas utilizando el análisis de grupos tróficos y los índices de la comunidad de nemátodos en huertos frutícolas. El estudio se realizó en el Alto Valle de Río Negro, en suelos de textura media. La interpretación de los parámetros estudiados en esta investigación, puede proporcionar información útil sobre el estado nutricional y salud del suelo en huertos frutícolas. Debido a que el comportamiento de poblaciones de nemátodos como bioindicadores de las alteraciones del suelo bajo distintas prácticas agrícolas, resalta el potencial que tienen estos animales para reflejar la situación en un agrosistema.

Aruani et al. (2013) evaluaron el comportamiento estacional de las propiedades físico-químicas, actividad biológica y enzimática en horizontes superficiales de

suelos del Alto Valle de Río Negro, implantados con pera (*Pyrus communis*) cv. Williams. Se realizó durante tres ciclos productivos, en tres huertos comerciales, en el cual se estudiaron suelos del orden Entisol y Aridisol. Se utilizaron los siguientes parámetros: textura, pH, conductividad eléctrica (CE), porcentaje de sodio de intercambio (PSI), carbono orgánico total (COT), potasio de intercambio, carbono de la biomasa (C-BM), respiración (RE), deshidrogenasa (Dh-asa), índice de mineralización (IM) y la relación nematodos-fungívoros a bacteriófagos (F/B).

Schmid *et al.* (2013) realizaron una investigación utilizando indicadores e índices para determinar el estado de conservación de humedales "mallines" en la provincia del Neuquén. Se adoptó, con modificaciones, el modelo de organización de indicadores de FAO (Índice de Calidad de Tierras). Los mallines se agruparon en regiones naturales homogéneas. Se determinaron sus funciones más relevantes para la producción ganadera y los procesos que las, caracterizan y los indicadores más adecuados para representar el proceso. Se categorizaron los indicadores utilizando una escala 0-1 que representa, respectivamente la peor y mejor condición desde el punto de vista de la calidad.

MARCO TEÓRICO

La fuerte presión ejercida por la creciente población humana sobre los recursos naturales en los últimos 200 años, está provocando la desertificación de millones de hectáreas en el mundo, lo que se manifiesta principalmente por la erosión del suelo. Según estimaciones hechas por la FAO, debido a la desertificación, cada año dejan de ser productivas de seis a siete millones de hectáreas en el mundo, y a este ritmo, en menos de 200 años el hombre habrá agotado todas las tierras productivas del planeta (Duarte, 1990).

De acuerdo con Scarascia (1996), para enfrentar la problemática del deterioro ambiental, hay que normar las actividades del hombre según los lineamientos del desarrollo sustentable, instrumento conceptual definido como "el desarrollo en el cual se satisfacen las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades" (Nuestro Futuro Común; citado por De Graaff, 1993).

"El principio de sustentabilidad emerge en el contexto de la globalización como la marca de un límite y el signo que reorienta el proceso civilizatorio de la humanidad. La crisis ambiental vino a cuestionar la racionalidad y los paradigmas teóricos que han impulsado y legitimado el crecimiento económico, negando a la naturaleza. El concepto de sustentabilidad emerge así del reconocimiento de la función que cumple la naturaleza como soporte, condición y potencial del proceso de producción" (Leff, 2002).

El discurso del desarrollo sostenible se fue legitimando, oficializando y difundiendo ampliamente a raíz de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro en 1992. Sin embargo, la conciencia ambiental emerge en los años sesenta con la Primavera Silenciosa de Rachel Carson, y se expande en los años setenta, luego de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, celebrada en Estocolmo en

1972. Es en ese momento cuando se señalan los límites de la racionalidad económica y los desafíos que genera la degradación ambiental al proyecto civilizatorio de la modernidad (Leff, op.cit).

En la percepción de esta crisis ecológica, se fue configurando un concepto de ambiente. El ambiente emerge como un saber reintegrador de la diversidad, de nuevos valores éticos y estéticos, de los potenciales sinérgicos que genera la articulación de procesos ecológicos, tecnológicos y culturales (Leff, op.cit).

“La degradación ambiental se manifiesta así como síntoma de una crisis de civilización, marcada por el modelo de modernidad regido bajo el predominio del desarrollo de la razón tecnológica por encima de la organización de la naturaleza. En este proceso de reconstrucción se elaboraron las estrategias del ecodesarrollo, postulando la necesidad de fundar nuevos modos de producción y estilos de vida en las condiciones y potencialidades ecológicas de cada región, así como en la diversidad étnica y la autoconfianza de las poblaciones para la gestión participativa de los recursos” (Leff, op.cit).

A una década de la Conferencia de Estocolmo, los países del Tercer Mundo, y de América Latina en particular, se vieron atrapados en la crisis de la deuda, cayendo en graves procesos de inflación y recesión. La recuperación económica apareció entonces como una prioridad y razón de fuerza mayor de las políticas gubernamentales. En este proceso se configuraron los programas neoliberales de diferentes países, al tiempo que avanzaban y se complejizaban los problemas ambientales del orbe. En ese momento empieza a caer en desuso el discurso del ecodesarrollo y a ser suplantado por el discurso del “desarrollo sostenible”. A solicitud del Secretario General de las Naciones Unidas, en 1984 se constituyó la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo para evaluar los avances de los procesos de degradación ambiental y la eficacia de las políticas ambientales para enfrentarlos. Luego de tres años de estudios, deliberaciones y audiencias públicas, la Comisión publicó sus conclusiones en un documento titulado Nuestro

Futuro Común (CMMAD, 1988), conocido también como el Informe Bruntland (Leff, op.cit).

Nuestro Futuro Común reconoce las disparidades entre naciones y la forma como se acentúan con la crisis de la deuda de los países del Tercer Mundo. Así empezó a configurarse una estrategia política para la sustentabilidad ecológica, concepto que otorga el marco teórico de esta tesis. El Informe Bruntland ofrece una perspectiva renovada a la discusión de la problemática ambiental y del desarrollo. Con base en él se convocó a todos los jefes de Estado del planeta a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro en junio de 1992. Allí fue elaborado y aprobado un programa global (conocido como Agenda 21) para normar el proceso de desarrollo con base en los principios de la sostenibilidad (Leff, op.cit).

“El discurso de la sostenibilidad busca así reconciliar a los contrarios de la dialéctica del desarrollo: el medio ambiente y el crecimiento económico. Este mecanismo ideológico no sólo significa una vuelta de tuerca más de la racionalidad económica, sino que opera un vuelco y un torcimiento de la razón; su móvil no es internalizar las condiciones ecológicas de la producción, sino proclamar el crecimiento económico como un proceso sostenible, sustentado en los mecanismos del libre mercado como medio eficaz para asegurar el equilibrio ecológico y la igualdad social” (Leff, op.cit).

Adentrándonos ahora en el terreno económico-social, tal vez lo primero que debamos decir sobre el desarrollo sostenible es que éste no es un modelo acabado y generalizable a cualquier ámbito. Es, más bien, un proceso dinámico de construcción de un modelo. Ello significa que sabemos mucho más lo que no es sostenible que lo que lo es y que, hoy por hoy, podemos simplemente avanzar en algunos criterios, identificar algunas características de la sustentabilidad, proyectos y prácticas que se aproximan a ella (Novo, 2003).

Consecuentemente, el reconocimiento de que estamos en esa búsqueda nos lleva a la aceptación de que nunca llegaremos a definir de una manera cerrada y acabada los criterios de sustentabilidad. Tal vez lo único que sabemos es que no se trata de una meta a alcanzar, sino de una forma de viajar. Y que el viaje se asienta sobre el respeto a la diversidad, se concreta de maneras diferentes en el uso de recursos y supone trayectorias culturales y sociales bien diferenciadas según cada comunidad, aunque puedan enunciarse algunos criterios inspiradores comunes. Así mismo, es preciso considerar que, si bien la necesidad de alcanzar un desarrollo sostenible es global (es el planeta entero el que necesita situarse en condiciones de sustentabilidad), las propuestas no deben alcanzar solamente a la economía mundial, sino también, y muy fundamentalmente, a las economías y las culturas regionales y locales, por lo que se requieren soluciones contextualizadas y articuladas (Novo, op.cit).

El punto de partida para el desarrollo sustentable es la productividad de la naturaleza, con sus limitados recursos y capacidad para absorber los impactos negativos. Para que una tierra sea productiva, se requiere, entre otros aspectos, de dos recursos básicos: agua y suelo, los cuales constituyen la interfase entre la litosfera y la atmósfera en la cual se desarrolla la vida sobre el planeta. Para enfatizar sobre la importancia del suelo y de su conservación productiva, cabe mencionar que sus funciones principales son: (a) producción agrícola y forestal, base, entre otras cosas, para la obtención de alimentos; (b) reserva genética, componente básico para la estabilidad de los ecosistemas; (c) filtración, amortiguación y transformación de diversas sustancias, lo que confiere al suelo un papel primordial en la lucha contra la contaminación ambiental (Blum *et.al.*, 1994).

Con estas funciones, Río de Janeiro en junio de 1992. Allí fue elaborado y aprobado un programa global (conocido como Agenda 21) para normar el proceso de desarrollo con base en los principios de la sostenibilidad y sin ella no puede haber desarrollo sustentable, es decir, el mantenimiento de la calidad del suelo es crítico para un ambiente sustentable. Los índices de calidad del suelo dependen considerablemente del ecosistema, por lo cual es de suma importancia determinar

las principales características de los suelos que sirven como indicadores para lograr la sustentabilidad.

Los indicadores son instrumentos de análisis que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos (Adriaanse, 1993). Tales indicadores se aplican en muchos campos del conocimiento (economía, salud, recursos naturales, etc). Los indicadores de calidad del suelo pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas, o procesos que ocurren en él (SQI, 1996).

Para que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo sean consideradas indicadores de calidad deben cubrir las siguientes condiciones:

a) describir los procesos del ecosistema; b) integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; c) reflejar los atributos de sostenibilidad que se quieren medir; d) ser sensitivas a variaciones de clima y manejo; e) ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo; f) ser reproducibles; g) ser fáciles de entender; h) ser sensitivas a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica; i) y, cuando sea posible, ser componentes de una base de datos del suelo ya existente (Doran *et al.*, 1994).

En virtud de que existen muchas propiedades alternativas para evaluar la calidad del suelo, Larson y Pierce (1991); Doran y Parkin (1994); y Seybold, *et al.* (1997) plantearon un conjunto mínimo de propiedades del suelo para ser usadas como indicadores para evaluar los cambios que ocurren en el suelo con respecto al tiempo.

Indicadores Físicos de la Calidad del Suelo

Son necesarios en la evaluación de la calidad del suelo porque no se pueden mejorar fácilmente. Estos indicadores que se han empleado en las evaluaciones de la calidad del suelo están relacionados por un lado, con propiedades que reflejen cómo el suelo acepta, retiene y proporciona agua a las plantas y por otro lado, a las condiciones que limitan el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas,

la infiltración y el movimiento del agua dentro del perfil y promover el intercambio óptimo de gases (Etchevers *et al.*, 2009).

Existe una amplia variedad de indicadores físicos de la calidad del suelo, éstos varían de acuerdo con las características predominantes del lugar en estudio. Doran y Parkin (1994), seleccionaron como indicadores la textura, profundidad, conductividad hidráulica, densidad aparente y capacidad de retención de agua. Por otra parte Nortcliff (2002), sugirió la textura, porosidad, densidad aparente y profundidad del suelo.

Indicadores Químicos de la Calidad del Suelo

Entre las propiedades químicas propuestas como indicadores, se señalan aquellas que inciden en la relación suelo-planta como: la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo y la disponibilidad de nutrimentos para las plantas, entre otros (Etchevers *et al.*, 2009). Propiedades químicas como la capacidad de intercambio catiónico (CIC) reducen la presencia de cambios drásticos en el pH y la disminución en la disponibilidad de nutrimentos en el suelo (Astier-Calderón *et al.*, 2002).

Doran y Parkin (1994), propusieron como indicadores químicos el contenido de materia orgánica (MO), carbono y nitrógeno orgánico, pH, conductividad eléctrica (CE), y N, P y K, disponibles. Los indicadores que reflejan estándares de fertilidad (pH, MO, N, P y K) son importantes en términos de producción de cultivos. Por su parte Nortcliff (2002), propuso al pH, la conductividad eléctrica, el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y las concentraciones de elementos potencialmente tóxicos como el Al y Mn. Es importante considerar que uno de los problemas que presenta la utilización de las propiedades químicas como indicadores de la calidad del suelo es su alta variabilidad estacional.

Indicadores Biológicos de la Calidad del Suelo

La importancia de la evaluación de las propiedades biológicas del suelo, se relaciona estrechamente con la descomposición de la materia orgánica derivada de los residuos vegetales y animales, así como del reciclaje de la misma, ya que los subproductos de su acción influyen de forma directa en las propiedades físicas y químicas de los suelos (Astier-Calderón *et al.*, 2002). Generalmente se refieren a la abundancia y subproductos de los organismos, incluidos bacterias, hongos, nematodos, lombrices, anélidos y artrópodos.

Para Lal (1993), la calidad del suelo es un indicador de sostenibilidad y es su capacidad de producir bienes y servicios y regular el ambiente.

En esta concepción de un desarrollo sostenible, surge la imperiosa necesidad de un profundo conocimiento de la información medioambiental por parte de los organismos responsables de los procesos de toma de decisiones. "La organización del flujo de la información se presenta entonces como imperativa para conducir las actividades de desarrollo" (Basterra *et al.*, 2005).

Las "ilimitadas" posibilidades abiertas por el mundo digital no quedan exentas de paradojas, pues en escasas ocasiones se consigue la efectiva y real adquisición de la tan mencionada información. Así pues, mientras la sociedad-red facilita el acceso a datos (hechos, cifras, detalles, etc), éstos no siempre son sinónimo de información, o lo que es lo mismo, de conocimiento. Si bien los datos son los elementos constitutivos de la información, sólo se convierten en ésta cuando transmiten conocimiento, ideas o conclusiones (Rodríguez, 2002).

En este contexto de plena eclosión informática, surgen los que genéricamente se han denominado Sistemas de Información y, como subproducto de éstos, los Sistemas de Información Geográfica (SIG), el Centro Nacional de Información y Análisis de EE. UU. (NCGIA) presenta a los SIG como:

“Sistemas compuestos por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelizar y representar datos georreferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación” (Goodchild y Kemp, 1990: I, 1-3).

Lo que caracteriza y diferencia a esta nueva herramienta de trabajo es su innovadora capacidad en generar información a partir de la colección de una serie de datos, que pueden ser visualizados a través de mapas (Rodríguez, 2002).

El objetivo que vincula a las distintas aplicaciones bióticas desarrolladas con tecnología SIG no es otro que el de resolver situaciones complejas en cuanto a la toma de decisiones, convirtiendo a la planificación en un proceso racional que busca ante todo optimizar los respectivos recursos. Este objetivo pasa, necesariamente, por la consideración conjunta de toda la información que, de una u otra forma, participa en la descripción de los recursos específicos. Si bien la gestión de una rica base de datos es una constante que se repite en todas las aplicaciones SIGs, en la gestión de recursos naturales cobra un especial protagonismo dada la extremada complejidad y elevado volumen de datos que involucra dicha gestión (Rodríguez, 2002).

Los SIG, por definición, se presentan como modelos interdisciplinarios capaces de resolver cuestiones tanto explicativas de la realidad como orientaciones de futuras actuaciones de agentes públicos y privados. En la temática del medio ambiente, un Sistema de Información Geográfica es lo más próximo a ese ideal de la interrelación multidisciplinaria que los procesos ecológicos y el análisis de los fenómenos medioambientales requiere (Rodríguez, 2002).

El SIG se encuentra integrado por tres módulos interactuantes, que cumplen las siguientes funciones:

1. Ingreso de información.
2. Manejo y tratamiento de la información: análisis y consulta.

3. Visualización de resultados.

1. Ingreso de información: las variables ambientales, dependiendo del formato (alfanumérico o gráfico) ingresan al sistema, con diferentes métodos:

- ✓ Alfanumérica; mediante procesador de texto, planilla de cálculo y base de datos. Su ingreso puede ser realizado desde otro software específico.
- ✓ Gráfica: mediante escaneo, dispositivos específicos (cámaras digitales, videos) o digitalización en pantalla o mesa digitalizadora.

2. Manejo y tratamiento de información: el SIG, se encuentra destinado a analizar e interrelacionar información con el objetivo de:

- ✓ Generar información medioambiental.
- ✓ Detectar carencias de información
- ✓ Organizar información existente.
- ✓ Realizar el monitoreo y seguimiento de las variables ambientales permanentes y actuales.
- ✓ Analizar factores de riesgo e incertidumbre ambientales.
- ✓ Integrar la información proveniente de diferentes disciplinas involucradas en la temática ambiental a fin de encarar un enfoque holístico de los problemas.
- ✓ Establecer un conocimiento técnico –científico amplio e integrado de los impactos e incidencias ambientales producidas por acciones humanas.
- ✓ Identificar anticipadamente los efectos ambientales negativos y positivos de acciones humanas a efectos de diseñar en forma oportuna acciones que los compensen.
- ✓ Permitir a la autoridad competente ejercer un debido control sobre la dimensión ambiental de las acciones, a fin de garantizar que ellas no perjudiquen el bienestar y salud de la población.

3. Visualización de resultados.

MATERIALES Y MÉTODOS

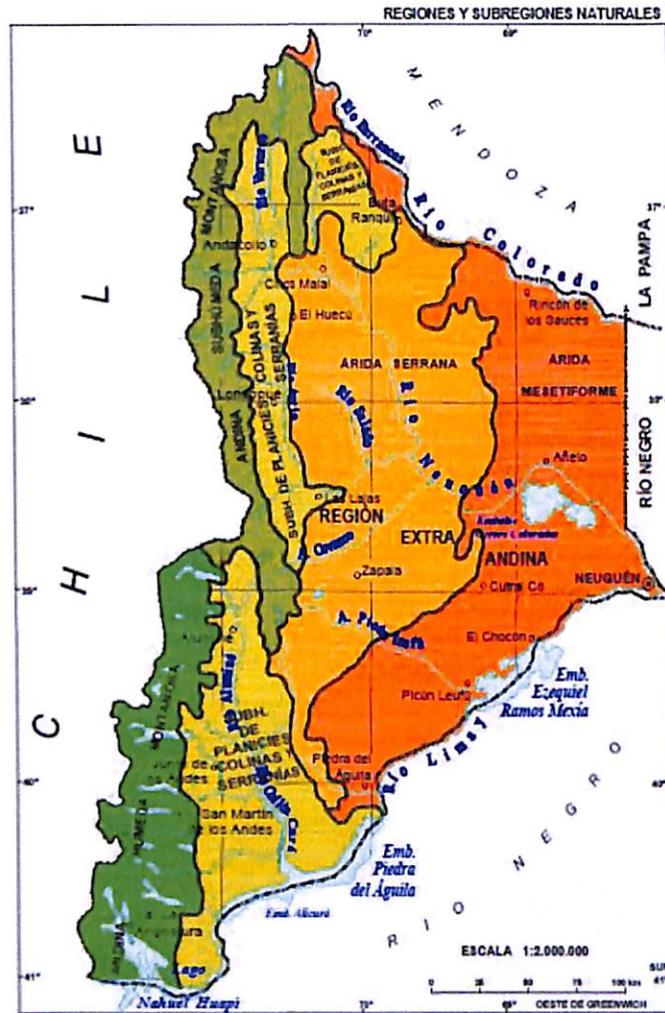
Área de estudio

La provincia de Neuquén se ubica en el extremo noroeste de la Patagonia, entre 36° 39' y 41° 01' de latitud Sur y 68° y 71° 58' de longitud Oeste, República Argentina. Limita al norte con la provincia de Mendoza, al este con La Pampa y Río Negro, al sur con Río Negro y al oeste con la República de Chile.

El clima que presenta es de tipo continental en general. En la región de la Cordillera de los Andes el clima es frío y húmedo, con temperaturas que oscilan entre los 8 y los 11 grados centígrados y precipitaciones que alcanzan los 3.000 mm. anuales. En la zona montañosa, al norte del lago Aluminé, las temperaturas oscilan entre los 10 y 12 grados centígrados, con precipitaciones entre los 2000 y 7500 mm anuales. En el resto de la provincia es frío, seco, ventoso y con lluvias inferiores a 130 mm anuales.

Posee una superficie de 94.078 km² y presenta dos paisajes bien marcados, el de la Cordillera de Los Andes –situado en la zona occidental - y el de la meseta –en la zona oriental.

El área de estudio abarca la totalidad de la Provincia del Neuquén, la cual posee dos regiones naturales (ver Figura 2): Andina (zona occidental) y Extraandina (zona oriental) desagregadas en dos y tres subregiones respectivamente: Húmeda montañosa y Subhúmeda montañosa, en la Región Andina; Subhúmeda de planicies, colinas y serranías, Árida serrana y Árida mesetiforme en la Región Extrandina. (Ferrer *et al.*, 1990).



CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA ATMOSFÉRICO, RÉGIMEN HIDROTÉRMICO DE LOS SUELOS Y VEGETACIÓN

REGIÓN	SUB-REGIÓN	Temperatura media anual	Amplitud media anual	Temp. máx. media anual	Temp. mín. media anual	Período libre de heladas (en días)	Lluvias (en mm)	Déficit hídrico anual (en mm)	Exceso de agua anual (en mm)	Tipo de clima e Índice Hídrico	Régimen de humedad del suelo	Régimen de temperatura del suelo	VEGETACIÓN
1	1.1 HÚMEDA MONTAÑOSA	< 8 - 10	≤ 13	15 - 17	< 3	< 90	3000-1000	< 100	> 2000-500	Perihúmedos a Húmedos > 100 - 20	ÚDICO	MÉSICO Y CRÍICO	Bosque denso
	1.2 SUBHÚMEDA MONTAÑOSA	10 - 11	< 13 - 14	19 - 20	< 3	< 90	2000-750	< 300	500-0	Húmedos a Subhúmedos > 20 - 0	XÉRICO	MÉSICO	Estepa herbácea, Bosque aislado y ralo
2	2.1 SUBHÚMEDA DE PLANICIES, COLINAS Y SERRANIAS	10 - 12	< 13 - 14	16 - 22	3 - 5	< 90	1000-200	100-400	300-0	Subhúmedos secos a semiáridos 20 - (-20)	XÉRICO	MÉSICO	Estepa herbácea - arbustiva
	2.2 ÁRIDA SERRANA	12 - 13	14 - 16	20 - 22	4 - ≥ 6	90 - ≥ 150	300 ≤ 130	400-550	0	Semiáridos a Áridos < (-40)	ARÍDICO	MÉSICO Y TIBIO	Estepa arbustiva
2.3 ÁRIDA MESETIFORME	14	> 16	20 - 23	> 6	150 - 180	< 130	500 - ≥ 600	0	Áridos << (-40)	ARÍDICO	TIBIO Y MÉSICO	Estepa arbustiva	

Figura 2: Regiones y Subregiones Naturales de la Provincia de Neuquén (Ferrer et al., 2006).

Región Andina

Se encuentra localizada en el extremo occidental de la provincia. Se caracteriza por un relieve montañoso modelado por la acción glacial, hallándose en sus tramos más elevados formas erosivas como circos y horns. En los valles es común la presencia de arcos morénicos y planicies proglaciarias. Dominan las rocas plutónicas y metamórficas, pero son las cenizas volcánicas postglaciales los materiales originarios de la mayoría de los suelos.

En la región andina, la conjunción de una elevada oferta pluvio-nival y la presencia de tefras holocenas no consolidadas resultan en el predominio del Orden Andisoles. Dado el relieve montañoso, las lluvias orográficas disminuyen altitudinalmente de W a E lo que origina una zonificación vertical de la vegetación y del proceso de andosolización. Es decir, las propiedades ándicas (alta retención hídrica, alta retención de fosfatos, alto tenor de cargas variables) se atenúan desde el poniente por disminución progresiva de las sustancias amorfas (alofano e imogolita) y la aparición de haloisita con el inicio del dominio de los Molisoles.

La presencia de amorfos derivados de la alteración de cenizas volcánicas es responsable de un ambiente edáfico bien drenado, con humedad permanente por encima de pF 4,2. La elevada porosidad de los piroclastos determina una baja densidad aparente (menos de $0,85 \text{ Mg/m}^3$) y un medio lixivianante bien aireado. La Subregión Húmeda Montañosa, es la que exhibe los suelos con pH más bajos (4,5 - 5,5), frecuentemente desaturados (apenas por encima del 50%), altos valores del CIC, a menudo con presencia de mantillo forestales (horizontes O) elevada relación C/N y altos tenores de MO (hasta 8% en horizontes minerales) (Ferrer *et al.*, 2006).

Subregión húmeda montañosa

Se extiende desde el Lago Aluminé hasta el Lago Nahuel Huapi.

Las precipitaciones varían entre 1000 y 3000 mm con un fuerte gradiente creciente en sentido Este-Oeste. Las condiciones climáticas determinan para los suelos un régimen de humedad údico y de temperatura méxico y críico.

Si se exceptúan las cumbres y el fondo de los valles, la vegetación dominante es el bosque denso en el Oeste, con sectores de especies perennifolias y semidenso a abierto en el Este, perteneciente a la Provincia Fitogeográfica Subantártica. En las altas cumbres, la vegetación está caracterizada por elementos del Distrito Austral de la Provincia Altoandina. En el fondo de los valles, la vegetación característica está integrada por diversas especies de *Stipa*, *Poa*, *Festuca*, etc, que, en conjunto, constituyen una estepa herbácea.

En esta subregión predominan los suelos Dystrandepes típicos, Vitrandepes típicos, y en los sectores con drenaje restringido los Andacueptes típicos, Humacueptes típicos, y excepcionalmente, Medifibristes típicos, estos últimos representantes de suelos orgánicos (Histosoles).

Subregión subhúmeda montañosa

Abarca el sector cordillerano comprendido desde el extremo septentrional de la provincia hasta las inmediaciones del lago Aluminé.

Las precipitaciones varían entre 750 mm al Este y 2000 mm en las vecindades del límite internacional. Las condiciones climáticas determinan para los suelos un régimen de humedad xérico y de temperatura méxico.

La vegetación está caracterizada por bosques muy restringidos, aislados y ralos y un neto predominio de una estepa herbácea.

Aunque los depósitos de cenizas no son tan importantes como en la subregión Húmeda Montañosa, tienen influencia en los suelos, por lo que los Vitrandepes, típicos y mólicos son los que dominan junto a las Haploxeroles enticos, estos últimos son propiedades ándicas muy atenuadas.

Región Extraandina

Esta región es muy extensa, abarca el 85% del territorio de la provincia de Neuquén y se caracteriza por un déficit hídrico que se acentúa en dirección O-E.

En su extremo occidental prevalece un paisaje de planicies, serranías y colinas mientras que en su porción centro-oriental predominan extensas mesetas. Dominan las rocas sedimentarias, a las que se subordinan las vulcanitas.

En la Subregión Subhúmeda de Planicies, Colinas y Serranías Montañosas, con régimen xérico (inviernos húmedos y veranos secos) se producen cambios en la vegetación con predominio de una estepa herbácea-arbustiva y escasa porciones de bosque muy ralo. En este ambiente los suelos con cenizas volcánicas tienen propiedades ándicas muy atenuadas y en presencia de rocas cristalinas dominan los Molisoles con y sin horizonte argílico.

En esta franja de transición, los suelos carecen de horizontes orgánicos, la MO varía entre 3 y 6%, y el cociente C/N entre 14 y 10, se hallan levemente desaturados (80%) con plena saturación en la parte media inferior del solum, el pH tiene un rango entre 6 (superficial) hasta levemente alcalino en casos con acumulaciones calcáreas no cementadas. Principalmente en presencia de rocas cristalinas, los suelos poseen un horizonte argílico, con evidentes rasgos de argiluvación.

Al oriente de la faja con régimen xérico se extienden en el ámbito de la Región Extrandina, las Subregiones Árida Serrana y Árida Mesetiforme. Ambas poseen un déficit hídrico acentuado (arídico) y una vegetación rala de estepa arbustiva, condiciones responsables del escaso contenido de MO (del 1%) y por ende, la virtual ausencia del proceso de melanización con predominio de horizontes superficiales ócricos. El balance hídrico negativo impide la lixiviación de los constituyentes solubles, generando horizontes cálcicos y petrocálcicos, gypsicos, petrogypsicos y sálicos, o bien acumulaciones de sales solubles sin constituir horizontes diagnósticos. Los suelos poseen un complejo de intercambio plenamente saturado desde la superficie y acorde con ello un pH neutro a francamente alcalino.

La principal diferencia entre ambas subregiones estriba en que la Árida Serrana posee un predominio de Entisoles respecto de Aridisoles, relación que se invierte en la Árida Mesetiforme. Esta distinción puede atribuirse al estilo morfoestructural de cada Subregión. Así, en la Árida Serrana prevalece un paisaje complejo de estructuras plegadas casi aflorantes, más la presencia de «crestas» y «espinazos» con pendientes abruptas que favorecen la morfogénesis en detrimento de la pedogénesis dando lugar a suelos someros con escaso desarrollo, que se interrumpen lateralmente («rúpticos»), alternando con asomos de sedimentitas. En contraposición la Subregión Árida Mesetiforme, con una estructura geológica subhorizontal y donde la oferta pluvial es escasa, se presentan suelos con mayor grado de desarrollo en los que es frecuente la presencia de horizontes diagnósticos calcáreos y yesosos, tanto cementados como no consolidados. (Ferrer *et al.*, 2006).

Subregión subhúmeda de planicies, serranías y colinas.

Su límite occidental es la subregión Subhúmeda montañosa y su límite oriental coincide con el meridiano del río Agrio. Este tramo está caracterizado por un paisaje de planicies basálticas, conformando una rampa con inclinación hacia el Este, mientras que en el otro, predominan formas topográficas de lomas, serranías y colinas, con sustrato de rocas volcánicas o cristalinas.

Los valores más elevados de precipitación se hallan próximos a los 800 mm en el meridiano de Junín de los Andes, coincidiendo con la presencia de una estepa gramínea de especies *Stipa*, *Poa* y *Festuca*; hacia al Este, las lluvias alcanzan valores ligeramente por encima de los 200 mm y está presente una estepa herbácea-arbustiva con *Mulinum spinosum*, *Trevoa patagónica* y *Colliguaya integerrima*. Las condiciones climáticas determinan para los suelos un régimen de humedad xérico y de temperatura mésico.

La mayor parte de los materiales originarios son depósito de escaso transporte, que hay originado Haploxeroles énticos y Xerortentes típicos; otros materiales, más subordinados arealmente, provenientes de la alteración de tobas, tufitas y granitos

han originado suelos con horizontes argílicos (Haploxeralfes y Argixeroles y en menor medida Haploxerertes típicos).

Subregión árida serrana

Esta subregión ocupa la zona central de la provincia, extendiéndose desde Tricao Malal al Norte hasta las proximidades de Las Coloradas al Sur. En sentido Oeste-Este, se difunde desde el meridiano del río Agrío hasta el correspondiente Paso de los Indios.

En su periferia, es frecuente la presencia de estructuras homoclinales, acompañadas de crestas y espinazos, que se manifiesta en encadenamiento de sierras alargadas y a su vez de perfil escalonado. Pero en la mayor parte de esta subregión, prevalecen las estructuras plegadas y por ende, los valles anticlinales y sinclinales son los rasgos sobresalientes. Se destacan también valles pequeños, valles interserranos y las planicies aluviales pedemontanas.

Las precipitaciones son bajas y varían entre 300 y 130 mm anuales, lo que determina la presencia de una estepa arbustiva con elementos florísticos de la Provincia de Monte. Las condiciones climáticas determinan para los suelos un régimen de humedad arídico y de temperatura mésico y térmico.

En esta subregión se hallan, en los sectores más estabilizados Haplocalcides típicos, Haplargides xerólicos, Haploxeralfes cálcicos arídicos y en los valles interserranos, Torriortentes, Torripsamientos típicos y Torrifluventes típicos.

Subregión árida mesetiforme

Se encuentra localizada en la franja norte-sur-oriental de la provincia de Neuquén. El rasgo más característico de su relieve es la presencia de amplias mesetas discontinuas, cuyas superficies cuspidales son marcadamente planas. Es frecuente la presencia de cerros mesa y otras geoformas entre las que se destacan: pedimentos, bajadas y conos aluviales, así como planicies aluviales, de los ríos

Neuquén y Limay y sus principales tributarios. En menor medida, se manifiestan "montones de arena" o dunas enanas como consecuencia de fenómenos asociados a la actividad eólica.

Esta subregión es la más árida de la provincia, ya que las precipitaciones anuales son inferiores a 130 mm, siendo a su vez la más cálida. Las condiciones climáticas determinan para los suelos un régimen de humedad arídico y de temperatura térmico y mésico. Está caracterizada por una estepa arbustiva, baja y rala, con un neto predominio de elementos florísticos de la Provincia de Monte.

Predominan Subgrupos de Aridisoles, principalmente Haplocalcides, Petrocalcides y Haplogipsides típicos y varios Subgrupos de Entisoles, así como su fase somera.

En la provincia de Neuquén acorde con el sistema de Taxonomía de suelos, a nivel Categoría superior –Orden- y dispuestos los suelos por su importancia areal decreciente se destaca la siguiente sucesión:

Entisoles > Aridisoles > Andisoles > Molisoles > Alfisoles > Vertisoles > Inceptisoles > Histosoles.

Los tres primeros Órdenes ocupan casi el 80 % de la superficie provincial, resultando la superficie de los Entisoles arídicos equivalente a más del 35% del territorio, mientras que los Aridisoles y Andisoles participan con superficies casi equivalentes, con una leve superioridad por parte de los primeros. Los suelos muy ricos en arcillas expandibles (Vertisoles), los de muy escaso desarrollo en zonas húmedas (Inceptisoles) y los suelos orgánicos (Histosoles) son los que poseen las superficies más exiguas, totalizando en conjunto un 1% de todo el territorio (Ferrer *et al.*, 2006).

Si se realiza una transecta perpendicular a las Regiones, es decir en dirección y sentido SO – NE, desde la Subregión Húmeda Montañosa hacia la Árida Mesetiforme, se aprecia un conjunto de variaciones en los suelos, las que en síntesis se manifiestan en una disminución de los tenores de materia orgánica y la atenuación de la melanización en su expresión y espesor; al mismo tiempo el

complejo de intercambio se exhibe progresivamente más saturado y el pH adquiere paulatinamente valores más elevados, como consecuencia del incremento de concentraciones salinas, yesosas y calcáreas, acorde con un régimen hídrico cada vez más deficitario (Ferrer *et al.*, 2006).

Metodología

La evaluación de la calidad del suelo resulta esencial para poder determinar la sustentabilidad de los sistemas de manejo de la tierra. La evaluación de la sustentabilidad implica una cuantificación y análisis del agroecosistema, para ello se utilizaron diferentes indicadores.

Los indicadores que se seleccionaron responden a la dimensión Ecológica, esto implica que no nos da en sí mismo una evaluación de la Sustentabilidad del agroecosistema, sino que nos permite observar cuanto está aportando la dimensión Ecológica a la sustentabilidad del mismo.

Se consideró necesario el establecimiento unificado de criterios generales para evaluar la calidad del suelo y sus cambios, en el cual dichos indicadores no fueron un grupo seleccionado *ad hoc* para cada situación particular, sino que se seleccionaron los mismos en todos los casos.

La metodología de indicadores en el presente trabajo tuvo como condición esencial apoyarse en una base cartográfica para facilitar el análisis en el espacio. En este caso la cartografía de base fue el mapa de Suelos del “*Estudio Regional de Suelos de la Provincia de Neuquén*” (Ferrer *et al.*, 1990) con la distribución de sus Regiones Naturales.

Se realizó una búsqueda intensiva de los datos obtenidos en los perfiles de suelos del “*Estudio Regional de Suelos de la Provincia de Neuquén*” (Ferrer *et al.*, 1990), los cuales se complementaron con información de estudios realizados en distintas áreas, como el área de Michihuao, “*Anteproyecto preliminar para el desarrollo del área de riego de Michihuao*” (Ferrer y Ourracariet, 1989); el

departamento Minas, *“Los suelos del departamento de Minas”*, (Irisarri y López Cepero, 1980); la Comarca Moquehue, *“Relevamiento de suelos de la Comarca Moquehue”* (Irisarri et al., 1978) y el estudio de los Ríos Neuquén y Colorado, *“Estudio de Suelos a nivel de reconocimiento con fines de riego en 43 áreas preseleccionadas”* (Laya et al., 1981).

Se seleccionarán los indicadores más apropiados para el trabajo en base a diferentes investigaciones, tomando como base las propuestas de Doran y Parkin (1994) y trabajos relacionados a la temática realizados en la provincia del Neuquén, entre los cuales se encuentran: *“Estado de desertificación del Área Natural Protegida Ecosistema del Monte frente al crecimiento urbano”*, (Schmid et al., 2008); *“Indicadores e Índices para determinar el estado de conservación de humedales “mallines” en la Provincia del Neuquén”* (Schmid et al., 2013); *“Indicadores del proceso de hidromorfismo en toposecuencias de la Provincia del Neuquén”*, (Schmid et al., 2014); *“La biodiversidad como indicador de sustentabilidad en humedales “mallines” de la provincia de Neuquén”*, (Fernández et al., 2012); *“Efectos de la variación ambiental de la flora, vegetación y productividad de los humedales (mallines) de la Provincia de Neuquén, Argentina”* (Gandullo et al., 2013); *Aspectos metodológicos de la percepción de fenómenos geoecológicos de la desertificación mediante métodos de teledetección (Eiden G., 1995) en: Lucha contra la desertificación en la Patagonia a través de un Sistema de Monitoreo Ecológico Proyecto INTA – GTZ. Pág. 56 a 64, entre otros.*

Se seleccionaron cuatro indicadores químicos: pH, contenido de materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (Ce), porcentaje de sodio intercambiable (PSI); y cinco indicadores físicos: textura, clase natural de drenaje, pendiente, profundidad y pedregosidad.

Luego, se escogieron los suelos dominante/s y subordinado/s de cada unidad cartográfica, utilizando 148 calicatas. Para cada perfil de suelo se consideró el valor de cada indicador en los primeros 18 cm de profundidad. De esta manera se compararon los suelos en relación al horizonte de diagnóstico superficial, el

epipedón. En caso de que el mencionado espesor comprenda dos o más horizontes, se realizó un promedio ponderando del valor del indicador de cada horizonte.

En cada unidad cartográfica también se realizó un promedio ponderado de los valores de cada indicador de acuerdo al porcentaje que ocupa cada suelo dentro de la misma. En las unidades cartográficas que no se obtuvieron los datos de los porcentajes del área se tomó como criterio, que el suelo dominante ocupa un 60% de la superficie y el subordinado un 40%. En el caso de las unidades que contaron con inclusiones hasta el muy subordinado, dicho porcentaje se repartió entre la superficie del dominante y del subordinado.

Para facilitar la interpretación de los resultados -pues cada indicador se expresa en unidades diferentes- se categorizaron los valores mediante la construcción de escalas, siguiendo los criterios establecidos por Soil Survey Staff, 1993. Se establecieron categorías con valores de 4 a 1 para las condiciones de mayor a menor calidad. Las escalas se categorizaron teniendo en cuenta la media y la dispersión de los valores de las variables.

Los criterios de selección de los indicadores se fundamentan a continuación:

pH

Como indicador químico esencial, se seleccionó el pH del suelo debido a que mide la acidez o alcalinidad de un suelo y afecta la disponibilidad de los nutrientes, la actividad de microorganismos y la solubilidad de minerales del suelo. Factores importantes que afectan el pH edáfico son temperatura y precipitaciones, que controlan la intensidad del lixiviado y la meteorización de los minerales del suelo. La acidez por lo general está asociada con suelos lixiviados; la alcalinidad mayormente aparece en regiones más secas. Sin embargo, prácticas agrícolas, tales como el encalado o el agregado de fertilizantes de amonio, pueden alterar el pH (Luthers *et al.*, 2000).

Conductividad eléctrica

Se seleccionó la conductividad eléctrica (Ce) en el extracto de saturación del suelo ya que indica la cantidad de sales presentes en el suelo, las cuales son esenciales para el crecimiento de las plantas, pero en exceso inhiben su crecimiento al afectar el equilibrio suelo-agua. Suelos con exceso de sales aparecen en condiciones naturales y también como resultado del uso y manejo del suelo. Los suelos afectados por sales se encuentran particularmente en el este árido y semiárido de la provincia del Neuquén, donde la precipitación anual es baja, permitiendo la acumulación de sales en el perfil del suelo. Cuanto mayor es la cantidad de aniones o cationes tanto mayor es la lectura de la conductividad eléctrica (Luthers *et al.*, 2000).

La elevada concentración de sales en el suelo origina un gradiente osmótico que dificulta la absorción de agua por las raíces de la planta, lo que tiene como consecuencia un descenso de la productividad. El pH de los suelos salinos es 8.5 o menor. Se puede ver una capa blanca en la superficie del suelo debida a la acumulación de sales por medio de la elevación capilar.

Porcentaje de Sodio Intercambiable

El PSI (porcentaje de sodio intercambiable), el cual se toma como referencia en esta investigación, se define como la cantidad de sodio adsorbido por las partículas del suelo expresado en porcentaje de la CIC (capacidad de intercambio catiónico).

En los suelos sódicos, el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es superior al 15 %. Esto favorece la dispersión de las arcillas y la alcalinización del perfil y esta provoca intensa alteración mineral. El perfil queda bien diferenciado desde el punto de vista morfológico. El valor de pH oscila entre 8.5 y 10.0.

Se debe tener en cuenta la estrecha relación que existe entre el PSI y las concentraciones de sales, los suelos con altas concentraciones de sales y bajos valores relativos de sodio (PSI) pueden considerarse como indicadores de buenas propiedades físicas del suelo, mientras que bajas concentraciones de sales y proporciones relativamente altas de sodio, afectan negativamente la permeabilidad de los suelos. Se considera que un suelo puede sufrir problemas de sodificación y dispersión de su fracción arcilla cuando el PSI es superior a 15 % y el contenido de sales es bajo.

Textura

La textura del suelo se refiere a la distribución de las partículas minerales de arena, limo y arcilla en el suelo. La textura es uno de los atributos más estables del suelo pudiendo sólo ser modificada ligeramente por algunas prácticas que causan la mezcla de las diferentes capas del suelo.

Además se debe tener en cuenta que el valor de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) total varía según la textura y el contenido de materia orgánica del suelo, entre < de 10 meq/100g en suelos arenosos hasta > de 40 meq/100g en suelos arcillosos con mucha materia orgánica.

Materia Orgánica

Conjunto complejo de sustancias constituidas por restos vegetales y organismos que están sometidos a un constante proceso de transformación y síntesis, de importancia en la génesis y fertilidad del suelo. Por lo tanto, la materia orgánica nos permite evaluar el estado de fertilidad del suelo.

La materia orgánica confiere al suelo su color oscuro, da lugar a una buena estructura, estable, de elevada porosidad, lo que implica que la permeabilidad del suelo sea mayor. Aumenta la capacidad de retención de agua lo que facilita el asentamiento de la vegetación, dificultando la acción de los agentes erosivos. La materia orgánica protege al suelo de la contaminación pues adsorbe plaguicidas y otros contaminantes y evita que estos percolen hacia los acuíferos. Las propiedades coloidales de las sustancias húmicas fijan iones de la solución del suelo, que al estar débilmente retenidos, en posición de cambio, evita pérdidas de nutrientes. Su capacidad de cambio, de 3 a 5 veces superior a la de las arcillas, es una buena reserva de nutrientes.

Produce compuestos orgánicos que tienden a acidificar el suelo. Influye en el pH y en el estado de dispersión/floculación del suelo. Por su carácter ácido es un agente de alteración, descompone los minerales. Es una importante fuente de energía y aporte de nutrientes a los microorganismos.

Profundidad Efectiva

La profundidad efectiva de un suelo es el espacio en el que las raíces de las plantas pueden penetrar sin mayores obstáculos, con vistas a conseguir el agua y los nutrientes indispensables. Tal información resulta ser de suma importancia para el crecimiento vegetal. La mayoría de las raíces pueden penetrar más de un metro, si las condiciones del suelo lo permiten.

En un suelo profundo las plantas resisten mejor los extremos climáticos, ya que a mayor profundidad de suelo habrá mayor volumen de agua disponible. De

igual manera, la planta puede usar los nutrientes almacenados en los horizontes profundos del subsuelo, si éstos están al alcance de las raíces.

La profundidad efectiva de un suelo se determina en función de la presencia de la roca o un horizonte endurecido (fragipan o duripan), la altura de la freática y la profundidad de la grava, como su porcentaje en el perfil del suelo.

Clase natural de drenaje

El drenaje, como una condición del suelo, se refiere a la frecuencia y duración de los períodos en los cuales el suelo está libre de saturación con agua. Desde el punto de vista dinámico, el drenaje se refiere a la rapidez y facilidad con que los excedentes de agua desaparecen del suelo, en especial por escurrimiento superficial y percolación a través del perfil (Barberis, 1982). También la evaporación y la transpiración contribuyen a la eliminación del agua del suelo.

El concepto de drenaje es amplio, siendo necesario diferenciar tres aspectos:
-Escurrecimiento superficial-Permeabilidad-Drenaje interno.

En función del comportamiento hidrológico de los suelos se han establecidos siete categorías o Clases Naturales de Drenaje (ver ANEXO 1.1) denominadas: muy pobremente drenado, pobremente drenado, imperfectamente drenado, moderadamente bien drenado, bien drenado, algo excesivamente drenado y excesivamente drenado (López, 2006). Estas se evaluaron considerando ya sea su exceso o defecto de agua en el perfil del suelo.

Pendiente

Se refiere a la inclinación de la superficie del suelo en estudio y se define en función de su gradiente, forma y longitud (Barberis, 1982).

Este indicador es de gran importancia, pues está relacionado con la factibilidad de uso de maquinarias, con la susceptibilidad a la erosión y con el escurrimiento superficial.

Se considera específicamente a la pendiente del terreno en las inmediaciones de la calicata o lugar donde se describe el perfil. Es un elemento importante en la caracterización del paisaje. Tiene una expresión cuantitativa dada en grados o porcentajes, midiendo el ángulo e inclinación del segmento del paisaje considerado. Los términos utilizados son los siguientes: plano o casi plano, suavemente inclinado, inclinado, moderadamente escarpado, escarpado, muy escarpado (López, 2006).

Pedregosidad

La presencia de fragmentos gruesos en la superficie del suelo define la pedregosidad ya sea superficial o en el interior del suelo, que dificulta el laboreo del terreno. Cuando los fragmentos gruesos se encuentran en el perfil del suelo tienen un efecto negativo al disminuir la capacidad de retención de agua y nutrientes para un determinado volumen e influyendo también sobre la profundidad efectiva del suelo.

La pedregosidad según Barberis (1982) se clasifica en función del porcentaje desde ligeramente a muy pedregoso. También se puede clasificar de forma adjetiva o sustantiva según el tamaño de los fragmentos gruesos y su porcentaje, estos son los criterios presentados de acuerdo a Soil Taxonomy. Ambas clasificaciones se presentan en el ANEXO 1.2. Como los datos provenientes de las distintas calicatas de la región explicitan distintos adjetivos (diferentes escalas) todo se llevó a la escala de Soil Taxonomy.

Los datos utilizados en el presente proyecto, se encuadran en técnicas de geo-procesamiento: disciplina del conocimiento que utiliza técnicas matemáticas y computacionales para el tratamiento de información geográfica siendo el Sistema de Información Geográfica (SIG) el instrumento computacional que lo materializa. Los datos, en formato alfanumérico se ingresaron al sistema mediante un procesador de texto, planilla de cálculo y base de datos.

Luego del procesamiento de los datos ponderados y categorizados se confeccionaron mapas de calidad para cada indicador con su correspondiente capa o shapefile generada en el programa ArcGIS, versión 10.3.

Finalmente se planteó el índice de calidad de suelos (*ICS*) en base a la sumatoria de los indicadores elegidos, el cual se calculó para cada unidad cartográfica. El cálculo se realizó en el software de Sistema de Información Geográfica (ArcGIS 10.3).

Para la interpretación del *ICS* se utilizó una escala de transformación en cuatro clases de calidad del suelo, el rango oscila entre la peor condición ($ICS=9$), considerando cada indicador con valor 1 y la condición óptima ($ICS=36$), considerando cada indicador con valor 4.

Por último, con el software de base se generó el mapa de Calidad de Suelos de la Provincia de Neuquén.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se organizaron de la siguiente manera:

La base de datos ordenados por unidad cartográfica se presenta en el ANEXO 1.3, la misma contiene el valor de los indicadores seleccionados, para sus suelos dominantes y subordinados.

A partir de la base de datos se confeccionó, para cada indicador una nueva tabla donde se muestran los valores ponderados y categorizados de cada unidad cartográfica con sus respectivos mapas; y la escala de categorización o calidad específica.

Para cada indicador de calidad se muestra la distribución de los valores categorizados en la provincia de Neuquén.

Por último, se muestra el Índice de Calidad de Suelos (ICS), la escala de calidad propuesta para dicho índice, el mapa correspondiente y su distribución por región natural.

pH

La Figura 3 muestra los valores ponderados del indicador pH y su distribución en la provincia del Neuquén.

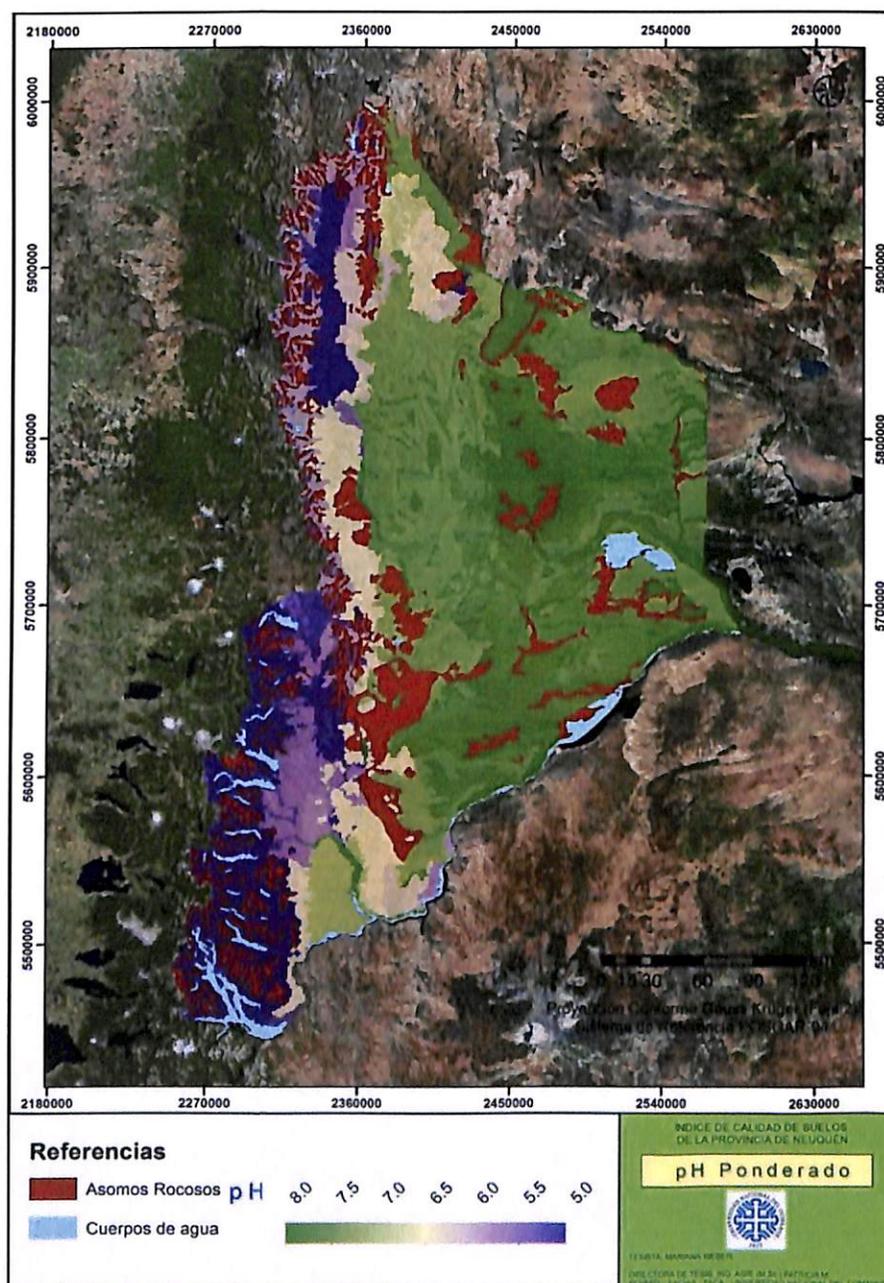


Figura 3 : Mapa de variación del pH ponderado en la provincia de Neuquén.

Como es de esperar los valores más bajos de pH se encuentran al oeste de la provincia de Neuquén relacionados a las altas precipitaciones. A medida que avanzamos hacia el este, donde la intensidad de la lluvia disminuye, los valores de pH aumentan, siendo máximos en las unidades cartográficas correspondientes a los grandes bajos y cuencas endorreicas, con acumulación de sales.

Los valores ponderados de pH se categorizaron en base a la siguiente escala de calidad:

pH	
Escala de Calidad	Rangos
Baja (1)	< 5,1
Moderada (2)	5,2-5,5
Alta (3)	5,6-6,5
Muy Alta (4)	6,6-7,3
Alta (3)	7,4-7,8
Moderada (2)	7,9-8,9
Baja (1)	>9

Tabla 1: Escala de categorización de valores de pH.

Los rangos de valores de pH utilizados en la escala de calidad se obtuvieron de acuerdo a la propuesta del Soil Survey Manual (1993) con algunas modificaciones. La escala propuesta ha considerado el rango neutro de pH 6,6 – 7,3 como el valor correspondiente al de más alta calidad (4). A partir de este rango la calidad va disminuyendo a medida que aumenta la acidez y/o la alcalinidad.

En la Tabla 2 se presentan los valores ponderados de pH para cada unidad cartográfica y su relación con los valores de calidad (categorizados). Las unidades cartográficas N° 8, 34, 35, 68, 69 y 70 pertenecen a afloramientos rocosos.

Unidad Cartográfica	pH (valor ponderado)	pH (valor categorizado)	Unidad Cartográfica	pH (valor ponderado)	pH (valor categorizado)
1	5.20	2	36	7.15	4
2	5.15	2	37	7.32	4
3	5.00	1	38	7.45	3
4	5.08	1	39	7.25	4
5	5.15	2	40	7.40	4
6	5.39	2	41	7.44	3
7	5.39	2	42	7.35	4
8			43	7.29	4
9	5.34	2	44	7.62	3
10	5.34	2	45	7.62	3
11	5.90	3	46	7.58	3
12	5.37	2	47	7.66	3
13	5.09	1	48	7.33	4
14	6.40	3	49	7.63	3
15	6.40	3	50	7.40	3
16	6.20	3	51	7.43	3
17	5.25	2	52	7.90	2
18	6.33	3	53	7.43	3
19	5.81	3	54	7.31	4
20	5.18	2	55	7.39	4
21	5.67	3	56	7.37	4
22	6.21	3	57	7.66	3
23	5.75	3	58	7.79	3
24	6.27	3	59	7.66	3
25	6.75	4	60	7.85	3
26	6.40	3	61	7.75	3
27	6.40	3	62	7.98	2
28	7.00	4	63	7.95	2
29	7.00	4	64	7.33	4
30	6.07	3	65	7.40	3
31	6.40	3	66	7.76	3
32	6.27	3	67	7.84	3
33	5.75	3	68		
34			69		
35			70		

Tabla 2: Valores ponderados y categorizados de pH.

El siguiente mapa representa la variación de la calidad del pH en la provincia del Neuquén, a partir de los valores categorizados:

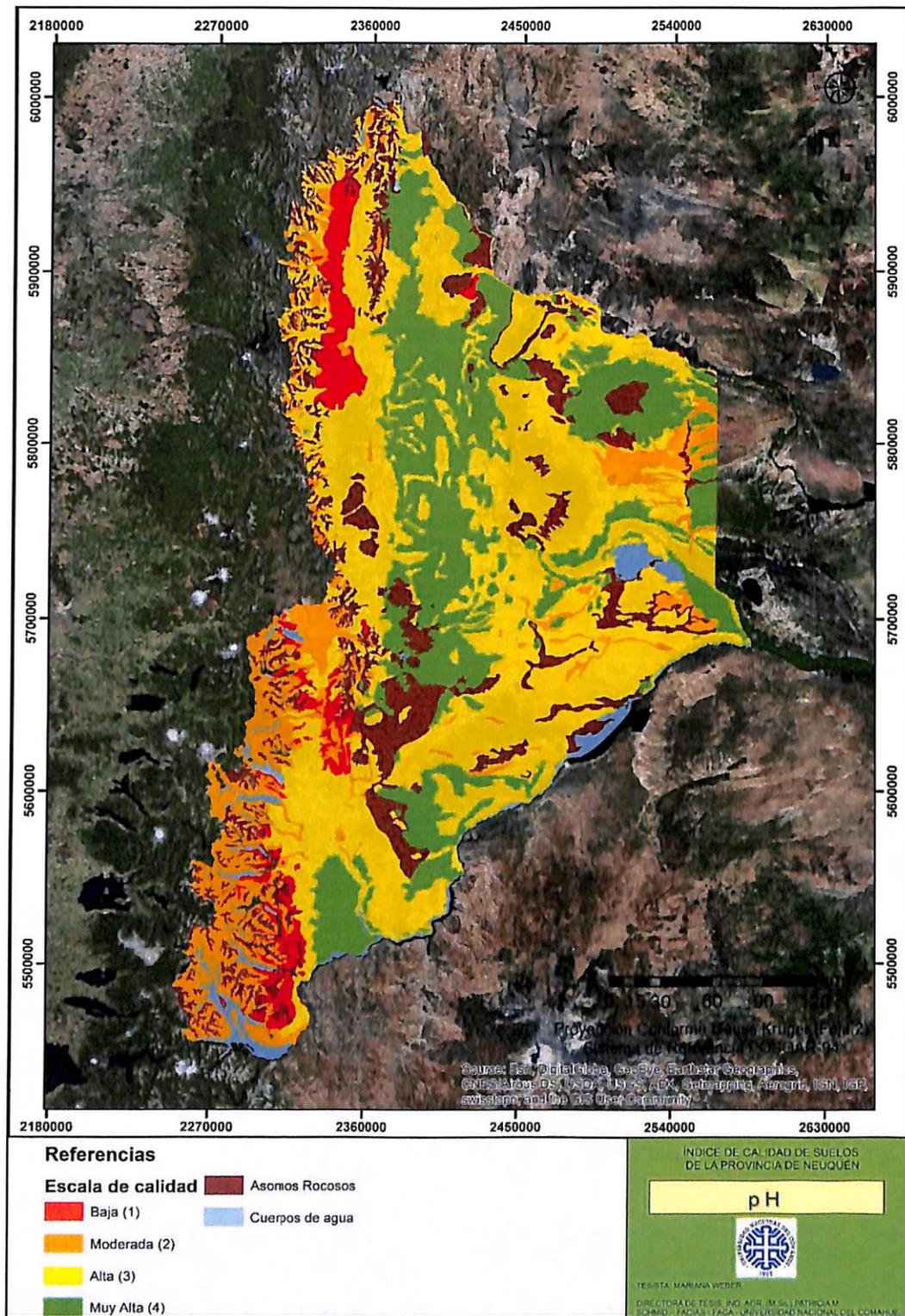


Figura 4: Mapa de calidad de pH en la provincia de Neuquén.

La Figura 4 muestra la variación de la calidad del pH en la provincia de Neuquén, de baja a muy alta.

La calidad muy alta abarca 14.320 km², con pH comprendidos entre 6,6 y 7,3, correspondientes a las unidades N° 25, 28, 29 -caracterizadas por suelos con déficit hídrico estival (edafoclima xérico)- y las unidades N° 36, 37, 39, 42, 43, 48, 54, 55, 56 y 64 caracterizadas por suelos con déficit hídrico anual (edafoclima arídico) y estepa arbustiva rala.

Podemos afirmar que el pH neutro en su sentido más amplio corresponde a la calidad muy alta y se distribuye mayoritariamente en la Región Extra Andina, Subregión de Planicies, Sierras y Colinas. Son suelos con alta saturación con bases y una equilibrada distribución de bases de cambio.

La calidad alta se corresponde con una superficie de 40.822 km², correspondiéndoles las unidades N° 11, 14, 15, 16, 18, 19, 21, 2, 23, 24, 26, 27, 30, 31, 32, 33, 38 con valores de pH entre 5,6 y 6,5; y las unidades N° 41, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 53, 57, 58, 59, 60, 61, 65, 66 y 67 con valores entre 7,4 y 7,8 de pH. Estas unidades están uniformemente distribuidas en toda la provincia.

La calidad moderada abarca 11.066 km² y comprende:

- Al oeste las unidades N° 1, 2, 5, 6, 7 que pertenecen a la Región Andina, Subregión Húmeda Montañosa correspondientes a suelos con nulo a escaso déficit hídrico (edafoclima údico) y paisaje montañoso modelado principalmente por la acción glacial. También abarca las unidades N° 9, 10, 12, 17, 20 que pertenecen a la Región Andina, Subregión Subúmeda Montañosa correspondientes a suelos con déficit hídrico estival (edafoclima xérico). Las unidades mencionadas presentan valores de pH entre 5,2 y 5,6.
- Al este las unidades N° 52, 62 y 63 caracterizadas por suelos con déficit hídrico anual (edafoclima arídico) y estepa arbustiva rala, con valores de pH entre 7,8 y 8,9.

La calidad baja con 4.389 km² abarca las unidades cartográficas N° 3, 4 y 13, con valores de pH menores a 5,1. Las primeras dos unidades corresponden a suelos con edafoclima údico y paisaje modelado por la acción glacial; la unidad N°13 corresponde a suelos con déficit hídrico estival (edafoclima xérico).

El siguiente gráfico muestra la distribución de la calidad del pH:

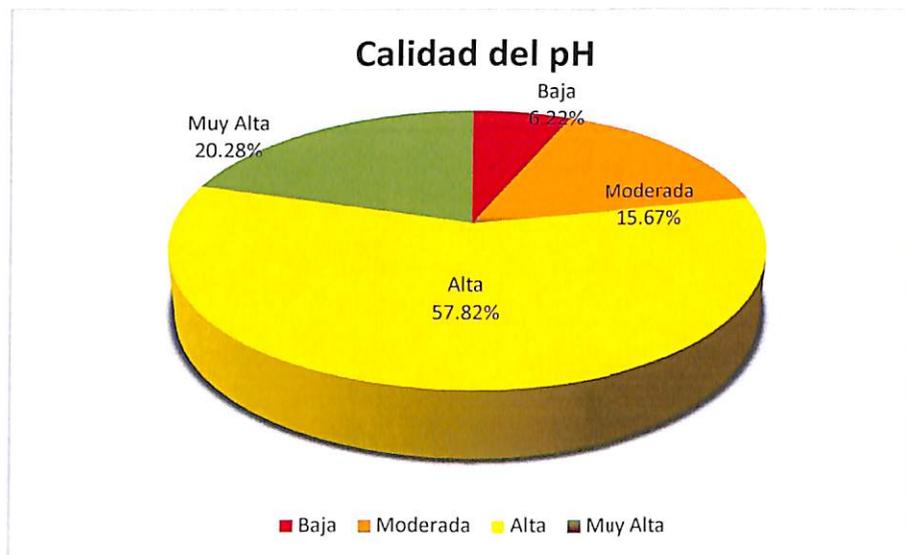


Figura 5: Distribución de la calidad de pH en la provincia de Neuquén.

Obsérvese que las clases alta y muy alta de calidad de pH ocupan el 78,1% del territorio neuquino. Mientras que la calidad baja es prácticamente imperceptible siendo el 6,22 %.

Conductividad Eléctrica

Los valores –ponderados- de conductividad eléctrica de cada unidad cartográfica se observan en la Figura 6:

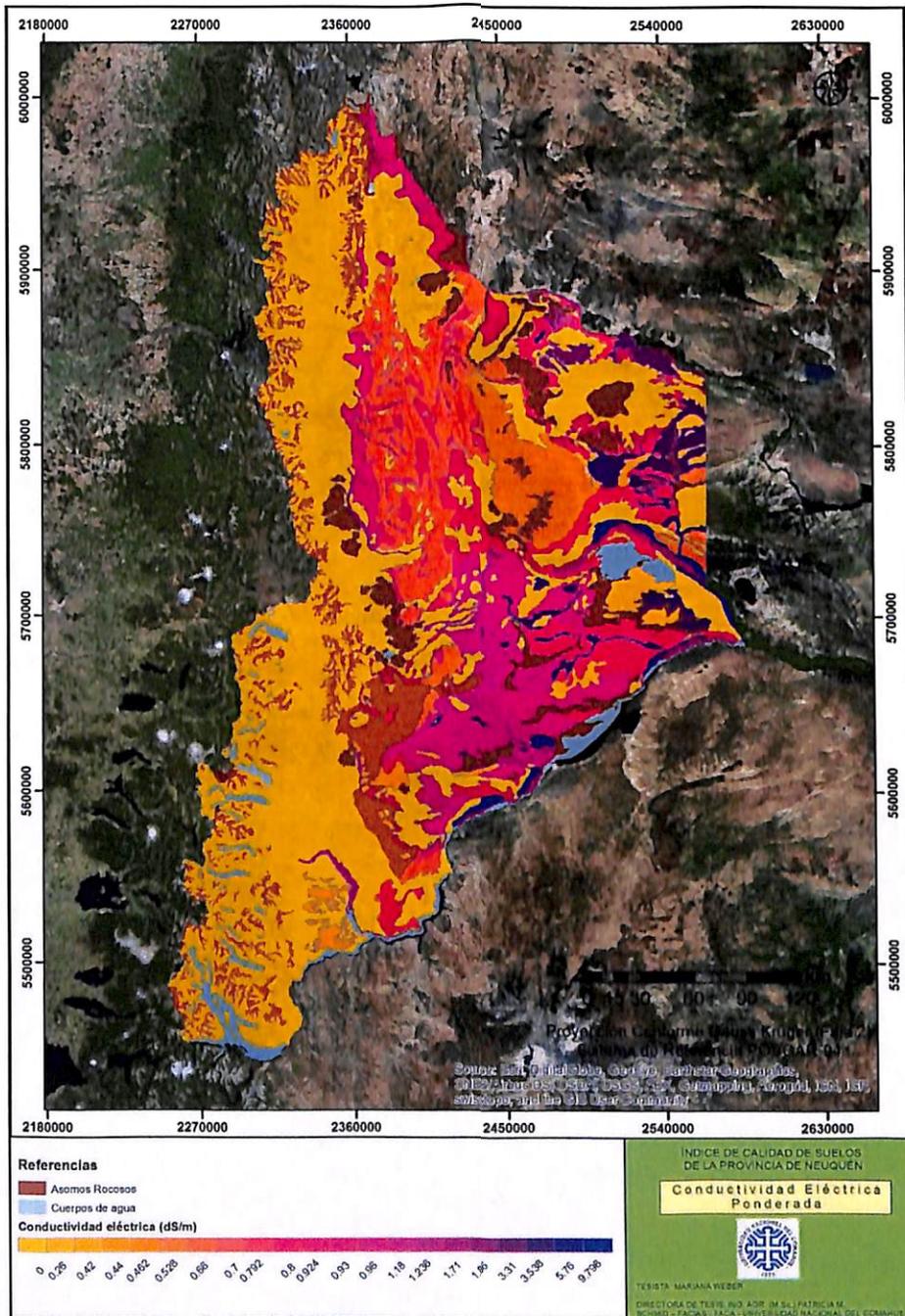


Figura 6: Mapa de variación de la Ce ponderada en la provincia de Neuquén.

Los suelos del oeste bajo régimen principalmente údico al sur y xérico al norte no presentan valores altos de conductividad; éstos aumentan hacia el este bajo régimen arídico y se potencian en las zonas de relieve plano cóncavo.

Los valores ponderados se categorizaron en base a la siguiente escala de calidad:

Conductividad Eléctrica	
Escala de calidad	Rango (dS/m)
Muy Alta (4)	< 2
Alta (3)	2 - 4
Moderada (2)	4- 8
Baja (1)	>8

Tabla 3: Escala de categorización de valores de Conductividad Eléctrica.

La escala de conductividad eléctrica utilizada para determinar la calidad de los suelos en base a este indicador, fue extraída de la propuesta presentada por el Soil Survey Manual (1993). A medida que aumenta el valor de conductividad eléctrica, aumenta el contenido de sales en el suelo, aumenta la presión osmótica de la solución del suelo y por consiguiente dificulta la absorción de agua por parte del vegetal.

En la Tabla 4 se presentan los valores ponderados de conductividad eléctrica para cada unidad cartográfica y su relación con los valores de calidad (categorizados):

Unidad Cartográfica	Ce (valor ponderado)	Ce (valor categorizado)	Unidad Cartográfica	Ce (valor ponderado)	Ce (valor categorizado)
1	0.00	4	36	0.00	4
2	0.00	4	37	0.80	4
3	0.00	4	38	3.31	3
4	0.00	4	39	0.00	4
5	0.00	4	40	0.92	4
6	0.00	4	41	0.96	4
7	0.00	4	42	0.00	4
8			43	0.53	4
9	0.00	4	44	0.79	4
10	0.00	4	45	0.00	4
11	0.00	4	46	0.00	4
12	0.00	4	47	0.79	4
13	0.00	4	48	0.66	4
14	0.00	4	49	1.18	4
15	0.00	4	50	0.26	4
16	0.00	4	51	0.53	4
17	0.00	4	52	3.54	3
18	0.00	4	53	0.00	4
19	0.00	4	54	0.00	4
20	0.00	4	55	0.00	4
21	0.00	4	56	1.86	4
22	0.00	4	57	0.79	4
23	0.00	4	58	1.24	4
24	0.00	4	59	0.79	4
25	0.70	4	60	9.80	1
26	0.00	4	61	1.71	4
27	0.00	4	62	5.76	2
28	0.44	4	63	0.42	4
29	0.44	4	64	0.66	4
30	0.00	4	65	0.93	4
31	0.00	4	66	0.46	4
32	0.00	4	67	0.00	4
33	0.00	4	68		
34			69		
35			70		

Tabla 4: Valores ponderados y categorizados de Conductividad Eléctrica.

El siguiente mapa representa la variación de la calidad de la conductividad eléctrica en la provincia del Neuquén, a partir de los valores categorizados:

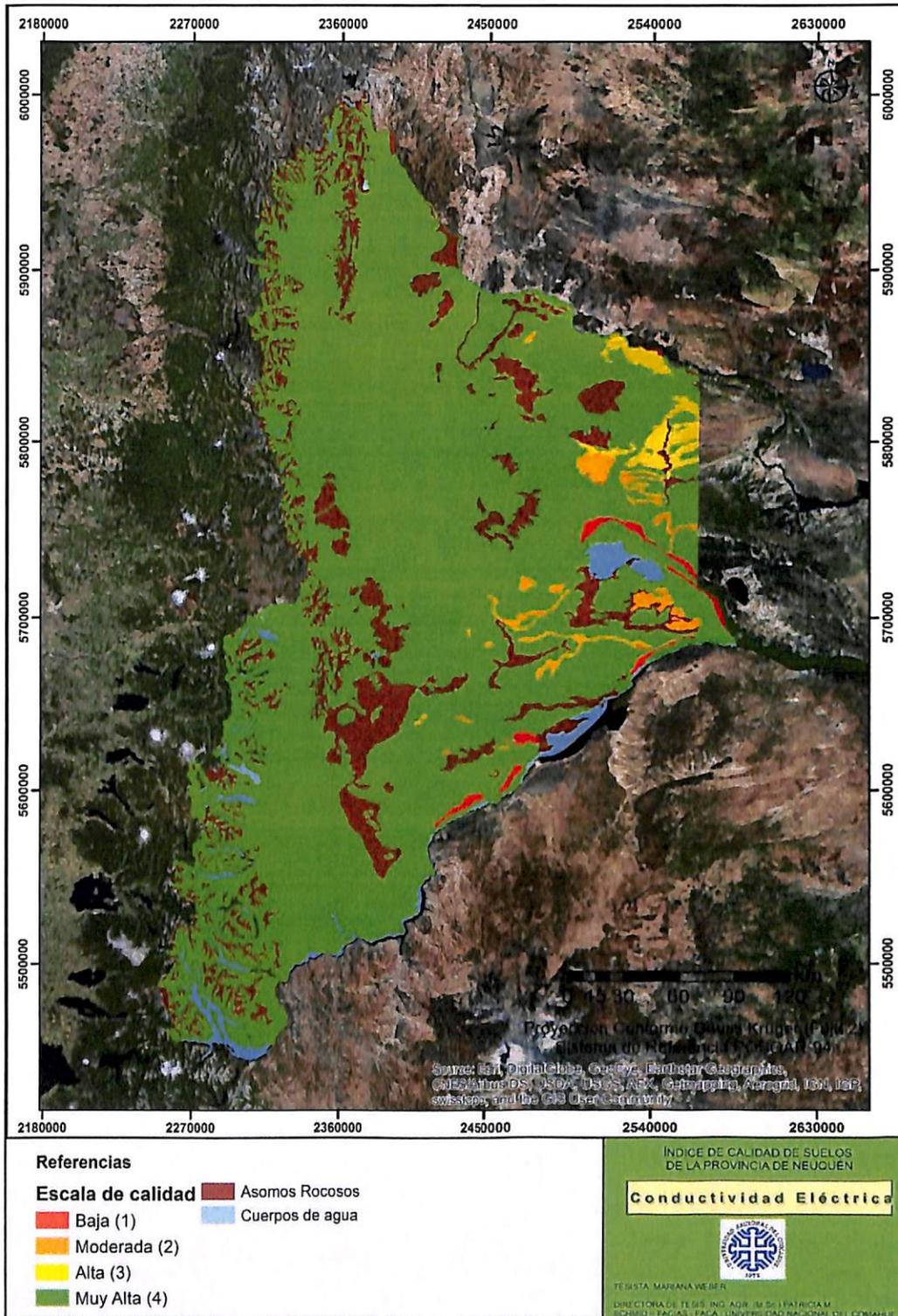


Figura 7: Mapa de la variación de la calidad de Ce en la provincia de Neuquén.

En la Figura 7 se muestra la variación de la calidad de la conductividad eléctrica en la provincia de Neuquén. Los valores calculados indican una calidad de baja a muy alta.

Los suelos de baja calidad abarcan una superficie de 707 km² y pertenecen a la unidad cartográfica N° 60, con una conductividad de 9,51 dS/m. Corresponden a terrazas bajas y planicies de inundación (pendientes < 5%) con Torriortentes típicos, gravillosos y franco gruesos, como suelos dominantes y su fase salino - sódica como subordinada.

Los suelos de moderada calidad comprenden 1.424 km² y pertenecen a la unidad N° 62, con valores de 5,76 dS/m. Ubicados en cuencas endorreicas y tributarios temporarios o efímeros, esta unidad se caracteriza por una fase salina de Torrifuventes típicos dominante, como subordinado presenta Haplosalides típicos y como muy subordinado se presentan Torriortentes vérticos.

Los suelos de alta calidad pertenecen a las unidades N° 38 y 52, con valores entre 2 y 4 dS/m y abarcan 1.190 km² de superficie.

En la unidad N° 38 ubicada sobre planicies basálticas y campos volcánicos, dominan la Fase plana de Torriortentes típicos y los Petrogypsides típicos. Como muy subordinados se encuentran los Haplogypsides típicos.

La unidad N° 52 presenta Torriortentes vérticos y Torrifuventes típicos como suelos dominantes y Natrargides y Haplosalides típicos como subordinados. La geomorfología presente es de planicies estructurales arrasadas; relieve controlado por disposición horizontal del manto rocoso subyacente.

Las unidades cartográficas anteriormente explicitadas pertenecen a la Región Extrandina, Subregión Árida Mesetiforme, con suelos con déficit hídrico anual (edafoclima arídico) y estepa arbustiva rala.

En el resto de la provincia con una superficie de 70.309 km², la conductividad presenta valores de calidad muy altos lo cual puede visualizarse en la Figura 8. Es

importante recalcar que el criterio de evaluación abarca solo el epipedón (primeros 18 cm).

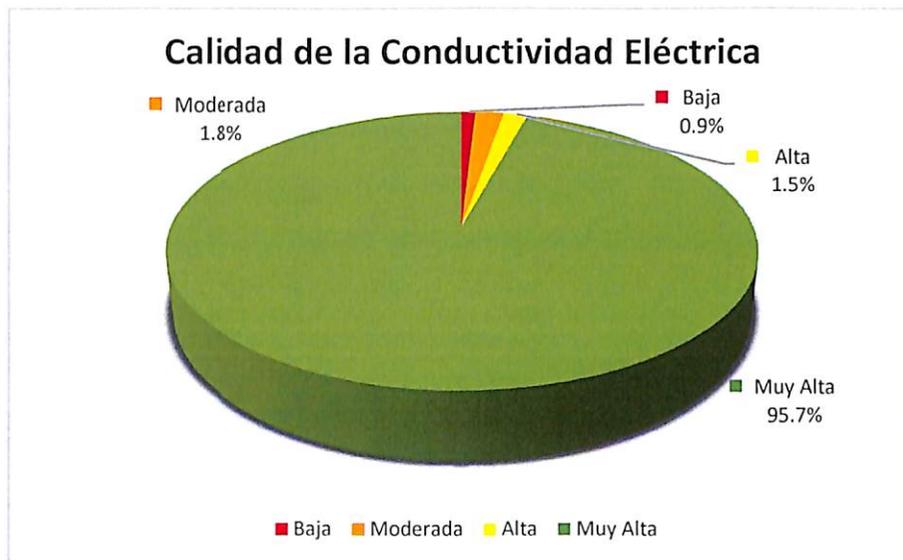


Figura 8: Distribución de la calidad de la Ce en la provincia de Neuquén.

Si bien es muy importante el porcentaje de suelos con alta calidad respecto a este indicador, no debemos dejar de recordar que los suelos representativos en el mapa a escala 1:500.000 son fundamentalmente zonales (exceptuando los Entisoles) donde los suelos intrazonales en muchos casos ocupan una superficie tan pequeña que no son cuantificables a esta escala.

Porcentaje de Sodio Intercambiable

En el siguiente mapa se presentan los valores ponderados de porcentaje de sodio intercambiable (PSI):

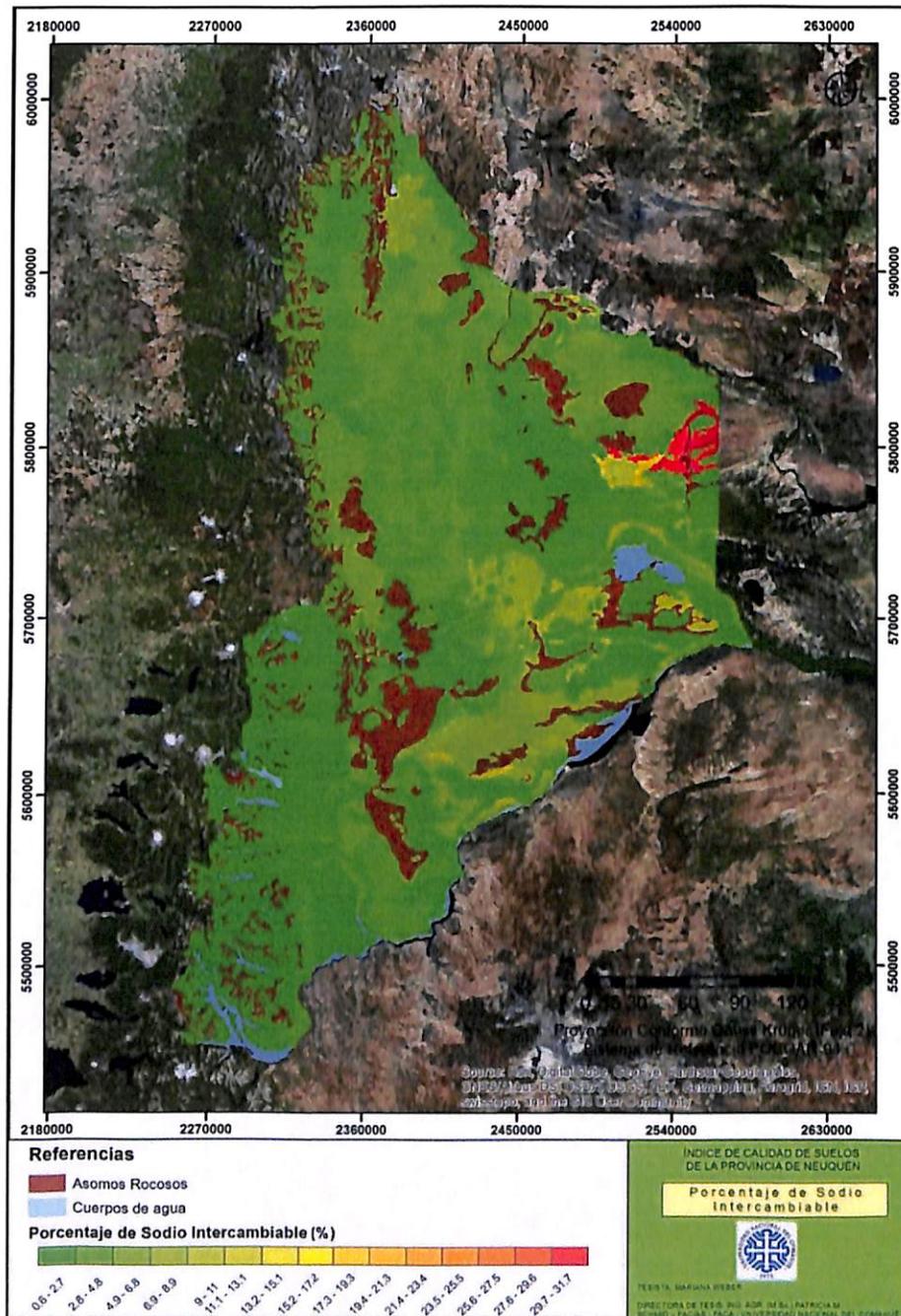


Figura 9: Mapa de variación de PSI ponderado en la provincia de Neuquén.

Los valores de sodio de intercambio se incrementan hacia el este de la provincia, donde disminuye el lavado climático y el balance hídrico se torna negativo (edafoclima arídico). Esta situación se magnifica en las zonas bajas, de relieve plano o plano cóncavo y drenaje impedido, sitios muy ligados también al aumento de la salinidad.

Los valores ponderados de PSI % se categorizaron en base a la siguiente escala de calidad:

PSI	
Escala de Calidad	Rango (%)
Muy Alta (4)	< 5 %
Alta (3)	5 – 10 %
Moderada (2)	10 – 15 %
Baja (1)	> 15 %

Tabla 5: Escala de categorización de PSI.

El diagnóstico de condiciones sódicas en suelos se basa en el contenido de sodio de intercambio, y se estableció el límite de 15% para separar los suelos sódicos de los no sódicos. A partir de éste valor la calidad del suelo en relación a este indicador sería baja.

En la Tabla 6 se presentan los valores ponderados y categorizados del PSI para cada unidad cartográfica:

Unidad Cartográfica	PSI % (valor ponderado)	PSI (valor categorizado)	Unidad Cartográfica	PSI % (valor ponderado)	PSI (valor categorizado)
1	1.83	4	36	2.50	4
2	0.64	4	37	4.06	4
3	1.93	4	38	1.14	4
4	1.07	4	39	5.99	3
5	1.11	4	40	2.60	4
6	0.85	4	41	2.30	4
7	0.81	4	42	2.50	4
8			43	2.33	4
9	1.45	4	44	2.52	4
10	1.45	4	45	5.21	3
11	2.94	4	46	6.01	3
12	3.00	4	47	2.31	4
13	1.63	4	48	2.79	4
14	6.28	3	49	8.90	3
15	6.28	3	50	2.16	4
16	1.45	4	51	2.31	4
17	0.91	4	52	31.66	1
18	3.04	4	53	2.04	4
19	0.93	4	54	2.39	4
20	2.07	4	55	2.60	4
21	1.69	4	56	6.00	3
22	3.66	4	57	2.31	4
23	1.83	4	58	4.44	4
24	3.89	4	59	2.31	4
25	7.64	3	60	9.52	3
26	6.28	3	61	5.15	3
27	4.36	4	62	9.67	3
28	2.37	4	63	15.82	1
29	2.37	4	64	2.79	4
30	1.83	4	65	3.03	4
31	4.36	4	66	1.96	4
32	3.89	4	67	2.04	4
33	2.05	4	68		
34			69		
35			70		

Tabla 6: Valores ponderados y categorizados de PSI.

La variación del PSI en la provincia del Neuquén a partir de los valores categorizados se representa en el siguiente mapa:

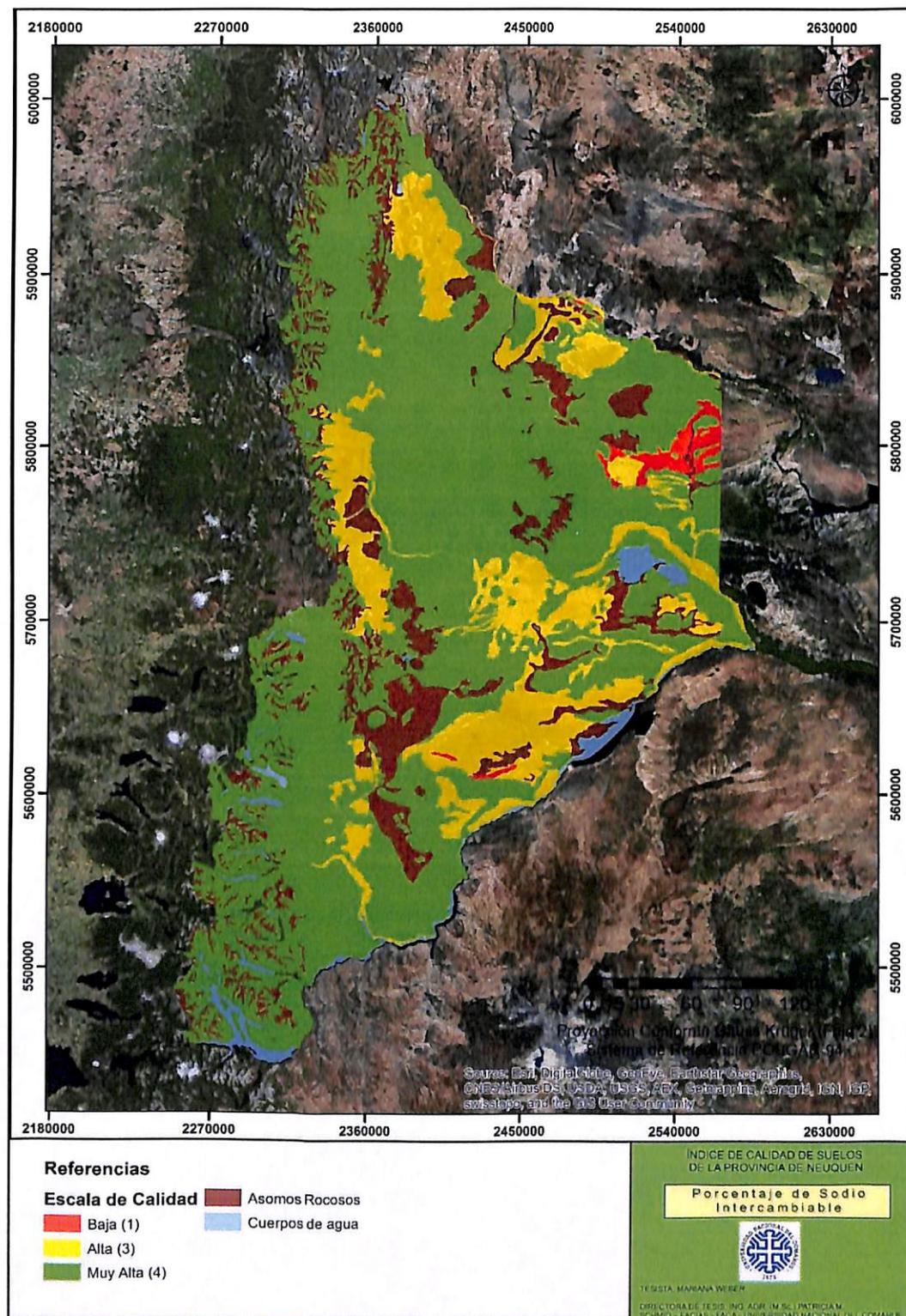


Figura 10: Mapa de calidad de PSI en la provincia de Neuquén.

En la Figura 10 se muestra la variación del indicador de calidad PSI en la provincia de Neuquén. Los valores categorizados indican una calidad baja, alta y muy alta.

Los suelos de baja calidad abarcan una superficie de 1.176 km² y se encuentran las unidades N ° 52 y 63, correspondiente a una PSI mayor al 15 % clasificando como suelos sódicos. Estas unidades corresponden a suelos con déficit hídrico anual (edafoclima arídico) y estepa arbustiva rala.

La unidad N ° 52 con un PSI ponderado de 31,66 %, le corresponde una geomorfología de planicies estructurales arrasadas; relieve controlado por disposición horizontal del manto rocoso subyacente. Esta unidad tiene como suelos dominantes a los Torriortentes vérticos y Torrifluentes típicos y como subordinado a los Natrargides típicos y Haplosalides típicos.

La unidad N ° 63 con suelos dominantes como los Torripsamentos típicos y como subordinado una fase ligeramente salina de Torriortentes típicas; presenta un PSI ponderado de 15,81 % encontrándose en campo de médanos.

Una superficie de 15.713 km² corresponde a una calidad alta con un PSI normalizado entre el 5-10%, entre las que se encuentran las unidades N°14, 15, 25, 26, 39, 45, 46, 49, 56, 60, 61, 62.

El resto de las unidades cartográficas se encuentran en una calidad muy alta, correspondiéndole un área de 60.741 km² con valores menores al 5 % de porcentaje de sodio intercambiable.

El siguiente gráfico muestra la distribución del PSI en la provincia de Neuquén:

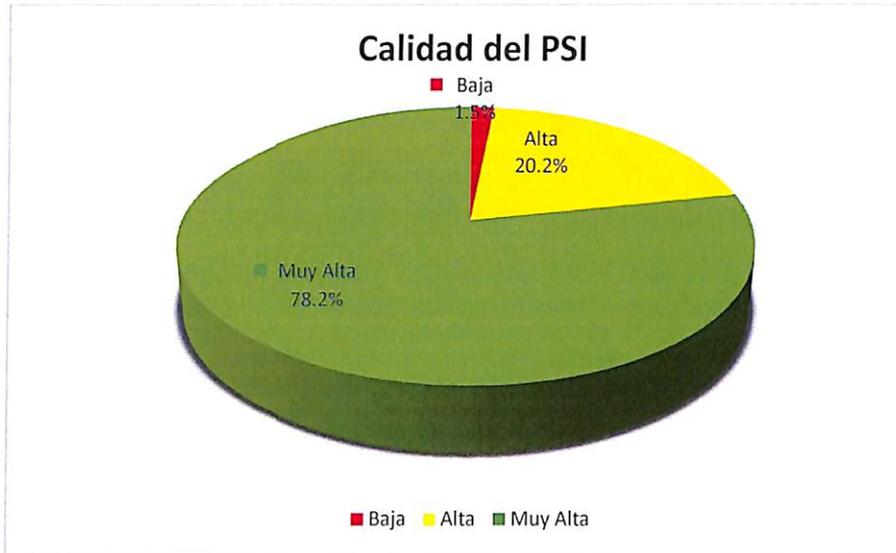


Figura 11: Distribución de la calidad de PSI en la provincia de Neuquén.

Nótese que el 98,4 % del área se corresponde con una calidad alta a muy alta de PSI; el 1,6 % restante corresponde a una calidad baja, son suelos con alto porcentaje de arcilla expandible ubicados en lugares planos. A esta escala no se presentaron valores abarcando una calidad moderada (10 - 15 % PSI).

Textura

Los valores –ponderados- de textura en cada unidad cartográfica, quedan representados en el siguiente mapa:

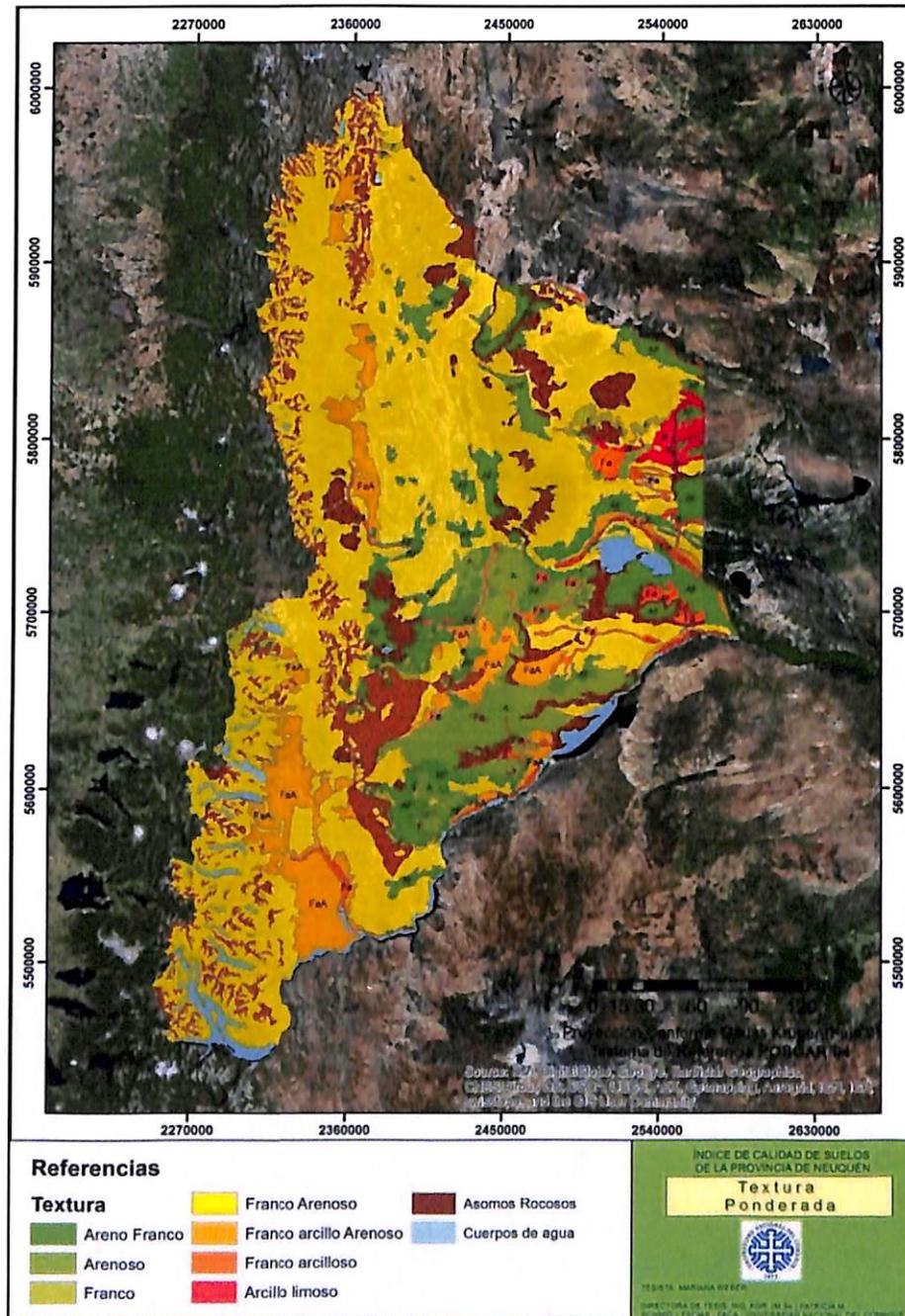


Figura 12: Mapa de variación de la Clase Textural ponderada en la provincia de Neuquén.

En el oeste de la provincia -Región Andina con paisaje modelado por la acción glacial- la diversidad litológica (Rocas plutónicas, principalmente basálticas y metamórficas) virtualmente no ha participado en la diversidad de los suelos pues, son las cenizas volcánicas posglaciales (capas de lapilli o depósitos de origen glacial contaminados con arenas y cenizas volcánicas), los materiales originarios de la mayoría de los suelos. Estas características han unificado su clase textural (franco a franco arenosa).

La Subregión de Planicies, Colinas y Serranías todavía posee vestigios de cenizas volcánicas presentando suelos con textura mayoritariamente más finas (franco arcillo arenoso)

Hacia el este, en la Región Extrandina, se van acrecentando los depósitos arenosos y areno franco, con texturas muy finas en los bajos endorreicos.

Los valores ponderados de la Clase textural se categorizaron en base a la siguiente escala de calidad:

Clase textural	
Escala de calidad	Rango
Muy Alta (4)	Franco (f)
Alta (3)	Franco limoso (fl)
	Franco Arenoso (fA)
	Franco Arcilloso (fa)
	Franco arcillo Arenoso (faA)
	Franco arcillo limoso (fal)
Moderada (2)	Areno franco (Af)
	Arcillo Arenoso (aA)
	Arcillo limoso (al)
Baja (1)	Arenoso (A)
	Limoso (l)
	Arcilloso (a)

Tabla 7: Escala de categorización de clase textural.

Se determinó la escala de calidad textural tomando como criterio que los extremos del triángulo textural, correspondiendo a las clases arenosas, limosas y arcillosas, califican como suelos de baja calidad mientras que los de mejor calidad textural son los suelos francos, cuya composición cuantitativa está en proporciones óptimas.

Los suelos arenosos son pobres, permiten una gran aireación, y si bien absorben bien el agua, no tienen capacidad para retenerla, por tanto tampoco conservan los nutrientes, los cuales por lixiviación son arrastrados hacia el subsuelo.

Los suelos arcillosos poseen una elevada retención de agua y nutrientes, lo cual compite con la planta; no obstante posee una baja macroporosidad y por lo tanto, baja capacidad de aireación.

Los suelos limosos dadas sus características presentan una gran tendencia al encostramiento superficial y a la densificación.

La Tabla 14 presenta los valores ponderados y categorizados de clase textural para cada unidad cartográfica:

Unidad Cartográfica	Textura (ponderada)	Textura (categorizada)	Unidad Cartográfica	Textura (ponderada)	Textura (normalizada)
1	franco arenoso	3	36	areno franco	2
2	franco	4	37	franco	4
3	franco arenoso	3	38	areno franco	2
4	franco arenoso	3	39	franco arenoso	3
5	franco arenoso	3	40	franco arenoso	3
6	franco arenoso	3	41	franco arenoso	3
7	franco arenoso	3	42	areno franco	2
8			43	franco arenoso	3
9	franco arenoso	3	44	franco arenoso	3
10	franco arenoso	3	45	areno franco	2
11	franco arenoso	3	46	franco arenoso	3
12	franco arenoso	3	47	franco arenoso	3
13	franco arenoso	3	48	franco arenoso	3
14	franco arenoso	3	49	arenoso	1
15	franco arenoso	3	50	areno franco	2
16	areno franco	2	51	franco arenoso	3
17	franco arenoso	3	52	arcillo limoso	2
18	franco arenoso	3	53	franco arenoso	3
19	franco arenoso	3	54	areno franco	2
20	franco arenoso	3	55	areno franco	2
21	franco arcillo arenoso	3	56	franco arenoso	3
22	franco arenoso	3	57	franco arenoso	3
23	franco arcillo arenoso	3	58	franco arcillo arenoso	3
24	franco arenoso	3	59	franco arenoso	3
25	franco arenoso	3	60	franco arcillo arenoso	3
26	franco arenoso	3	61	franco arcilloso	3
27	franco arenoso	3	62	franco arcilloso	3
28	franco arcillo arenoso	3	63	arenoso	1
29	franco arcillo arenoso	3	64	franco arenoso	3
30	franco arenoso	3	65	franco arcillo arenoso	3
31	franco arenoso	3	66	franco arenoso	3
32	franco arenoso	3	67	areno franco	2
33	franco arenoso	3	68		
34			69		
35			70		

Tabla 8: Valores ponderados y categorizados de clase textural.

El siguiente mapa muestra la variación de la Clase textural en la provincia del Neuquén, a partir de los valores categorizados.

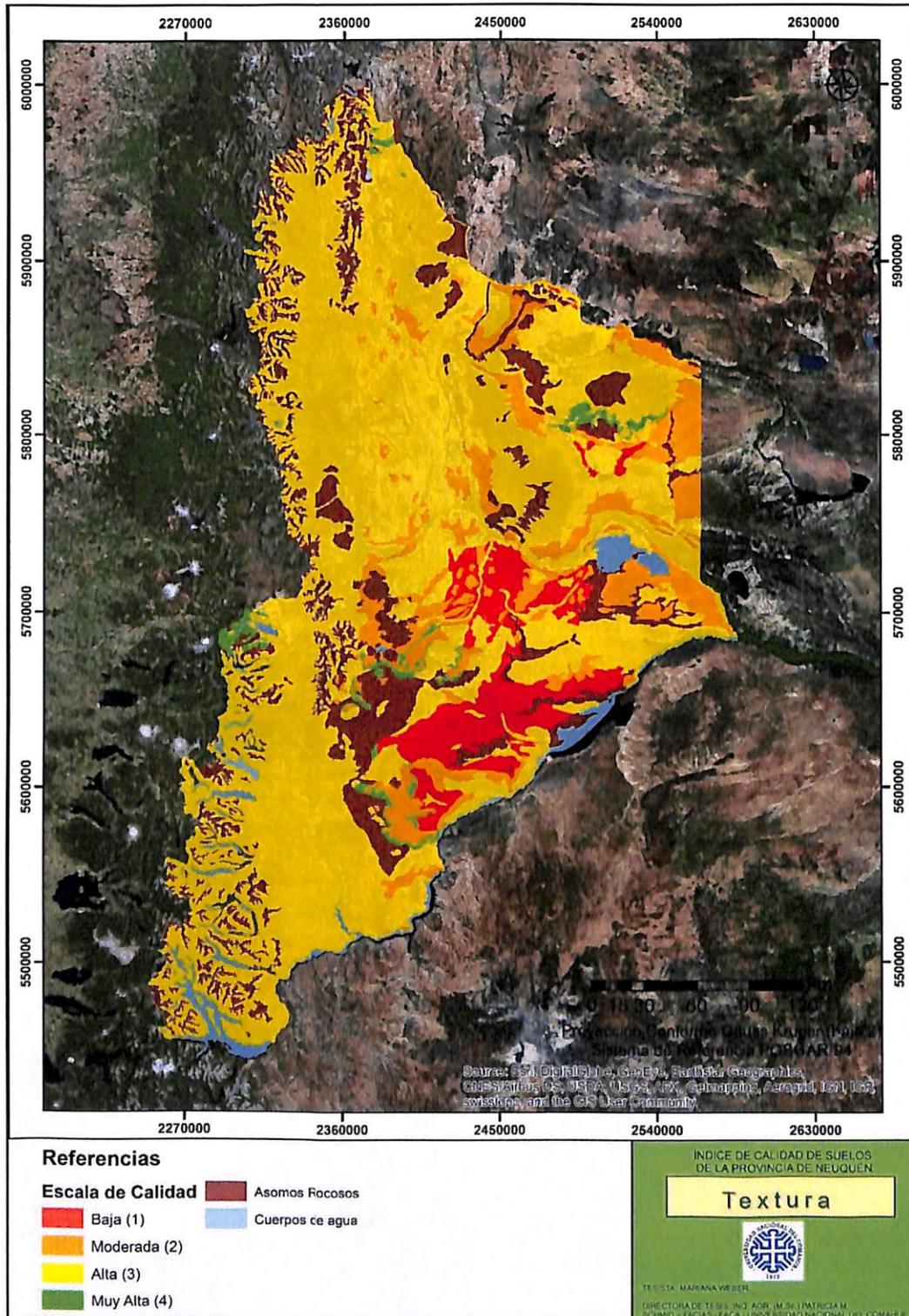


Figura 13: Mapa de variación de la calidad la Clase Textural en la provincia de Neuquén.

La calidad de la clase textural en la provincia de Neuquén varía desde baja a muy alta.

La calidad muy alta con una superficie de 1.313 km², se corresponde con las unidades N° 2 y 37, de suelos francos. La unidad N° 2 presenta suelos con nulo a escaso déficit hídrico (edafoclima údico); paisaje montañoso modelado principalmente por la acción glacial. Domina una fase escarpada de Hapludandes vítricos y una fase subordinada de Fulvudandes típicos, con materiales volcánicos gruesos (lapilli).

La unidad N° 37 pertenece a suelos de planicies basálticas y campos volcánicos con déficit hídrico anual (edafoclima arídico) y estepa arbustiva rala. Son suelos en los que domina una fase pedregosa de Torriortentes típicos, someros y una fase subordinada de Haplacuentes típicos y asomos rocosos (zona de asentamiento).

La calidad alta abarca una superficie de 59.870 km² y corresponde a suelos franco arenosos, franco arcillo arenosos y franco arcillosos.

La calidad moderada abarca 10.450 km² y comprende las unidades cartográficas N° 36, 38, 42, 45, 50, 52, 54, 55 y 67. Todas estas unidades presentan una textura areno franco, a excepción de la unidad N° 52 que se clasificó como arcillo limoso.

La calidad muy baja con 5.997 km² abarca las unidades cartográficas N° 49 y 63, con suelos arenosos. A la unidad N° 49 le corresponden planicies estructurales arrasadas con un relieve controlado por disposición horizontal del manto rocoso subyacente. Dominan los Petrocalcides típicos y Haplocalcides típicos, como subordinado se presentan los Petroargides típicos y Torriortentes típicos, fase somera. La unidad N° 63 se encuentra en campo de médanos, donde dominan los Torripsamientos típicos y se presenta en forma subordinada una fase ligeramente salina de Torriortentes típicos. Ambas unidades pertenecen a suelos con déficit hídrico anual (edafoclima arídico) y estepa arbustiva rala.

El siguiente gráfico muestra la distribución de la calidad de la Clase Textural en la provincia del Neuquén:



Figura 14: Distribución de la calidad de la Clase Textural en la provincia de Neuquén.

Obsérvese que la mayoría de los suelos se corresponden a clases texturales de calidad alta. La calidad muy alta es prácticamente insignificante, y las clases moderada y baja no llegan al 22 % de la superficie de la provincia.

Materia Orgánica

Los valores ponderados de materia orgánica quedan representados en el siguiente mapa:

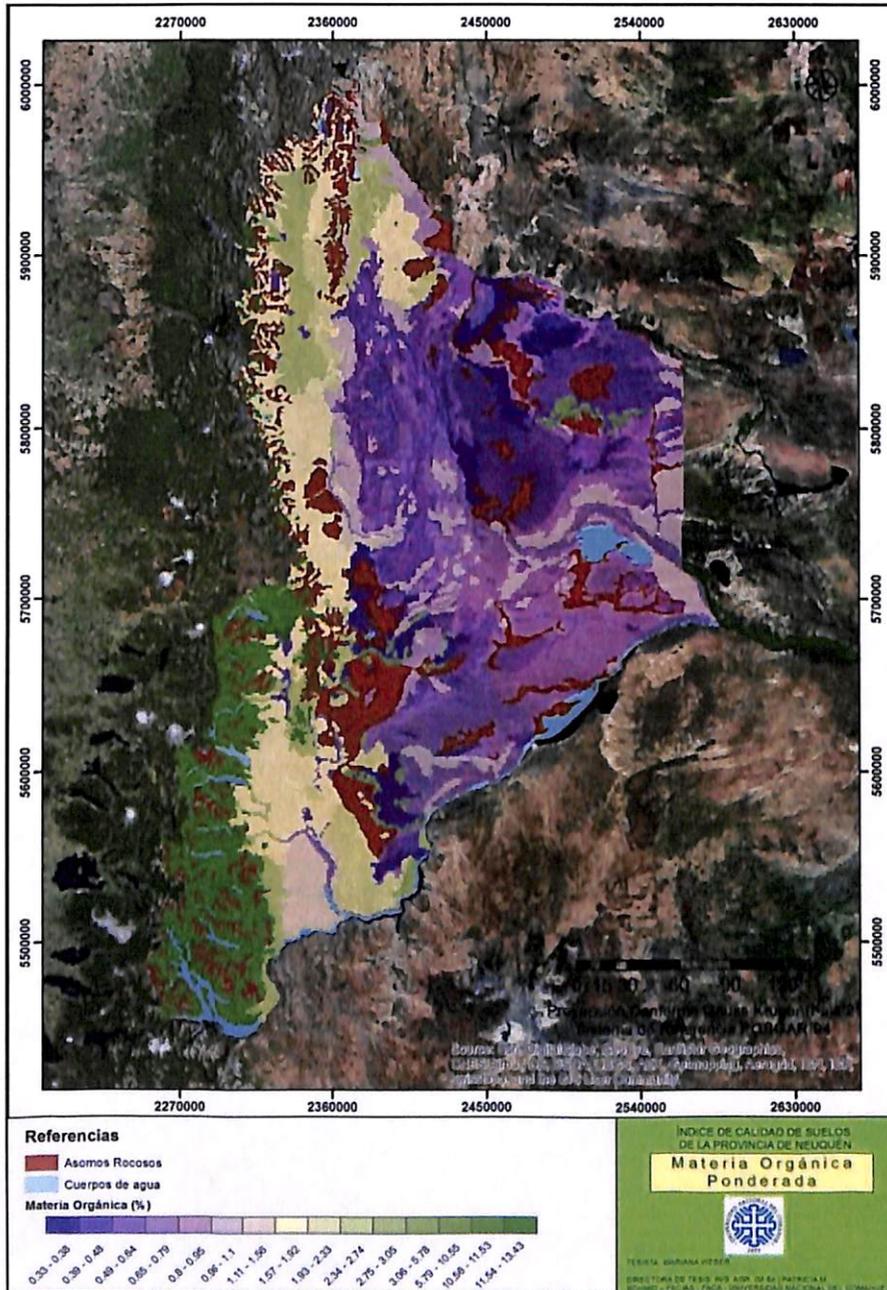


Figura 15: Mapa de variación de la Materia Orgánica ponderada de la provincia de Neuquén.

Como es de esperar, en relación a las características del clima y la vegetación, el contenido de materia orgánica es mayor en la zona oeste de la provincia, con valores de 13% a 3% bajo edafoclima údico y vegetación de bosques densos en los faldeos. Hacia el noroeste y bordeando la región cordillerana, bajo edafoclima xérico y vegetación de estepa gramínea con bosques ralos, el contenido de materia orgánica desciende de 3% a 1%. Hacia el este, región caracterizada por edafoclima arídico y vegetación de estepa rala y monte, el contenido de materia orgánica es menor a 1%.

Los valores ponderados de materia orgánica se categorizaron en base a la siguiente escala de calidad:

Materia Orgánica	
Escala de calidad	Rango
Baja (1)	< 1
Moderada (2)	1 -3
Alta (3)	3 -6
Muy Alta (4)	> 6

Tabla 9: Escala de categorización de Materia Orgánica.

El rango de valores seleccionados en la escala de calidad propuesta corresponden a las recomendaciones del Soil Survey Manual (1993) con adaptaciones locales.

La Tabla 10 presenta los valores ponderados y categorizados de materia orgánica para cada unidad cartográfica

Unidad Cartográfica	% MO (valor ponderado)	MO (valor categorizado)	Unidad Cartográfica	% MO (valor ponderado)	MO (valor categorizado)
1	9.78	4	36	0.48	1
2	10.44	4	37	3.09	3
3	5.80	3	38	0.55	1
4	8.20	4	39	0.61	1
5	10.56	4	40	0.88	1
6	12.27	4	41	1.03	2
7	13.43	4	42	1.03	2
8			43	0.84	1
9	11.49	4	44	0.69	1
10	11.49	4	45	0.38	1
11	1.72	2	46	0.39	1
12	2.60	2	47	0.73	1
13	2.53	2	48	0.63	1
14	1.59	2	49	0.66	1
15	1.59	2	50	0.73	1
16	2.12	2	51	1.02	2
17	12.38	4	52	0.53	1
18	2.36	2	53	1.12	2
19	1.84	2	54	0.98	1
20	0.62	1	55	1.07	2
21	1.84	2	56	0.37	1
22	2.28	2	57	0.73	1
23	1.92	2	58	0.61	1
24	2.21	2	59	0.73	1
25	2.53	2	60	0.73	1
26	1.59	2	61	0.79	1
27	2.09	2	62	0.54	1
28	1.45	2	63	0.43	1
29	1.45	2	64	0.63	1
30	2.68	2	65	1.06	2
31	2.09	2	66	0.62	1
32	2.22	2	67	0.33	1
33	2.75	2	68		
34			69		
35			70		

Tabla 10: Valores ponderados y categorizados de Materia Orgánica.

La variación de la materia orgánica en la provincia del Neuquén a partir de los valores categorizados se representa en el siguiente mapa:

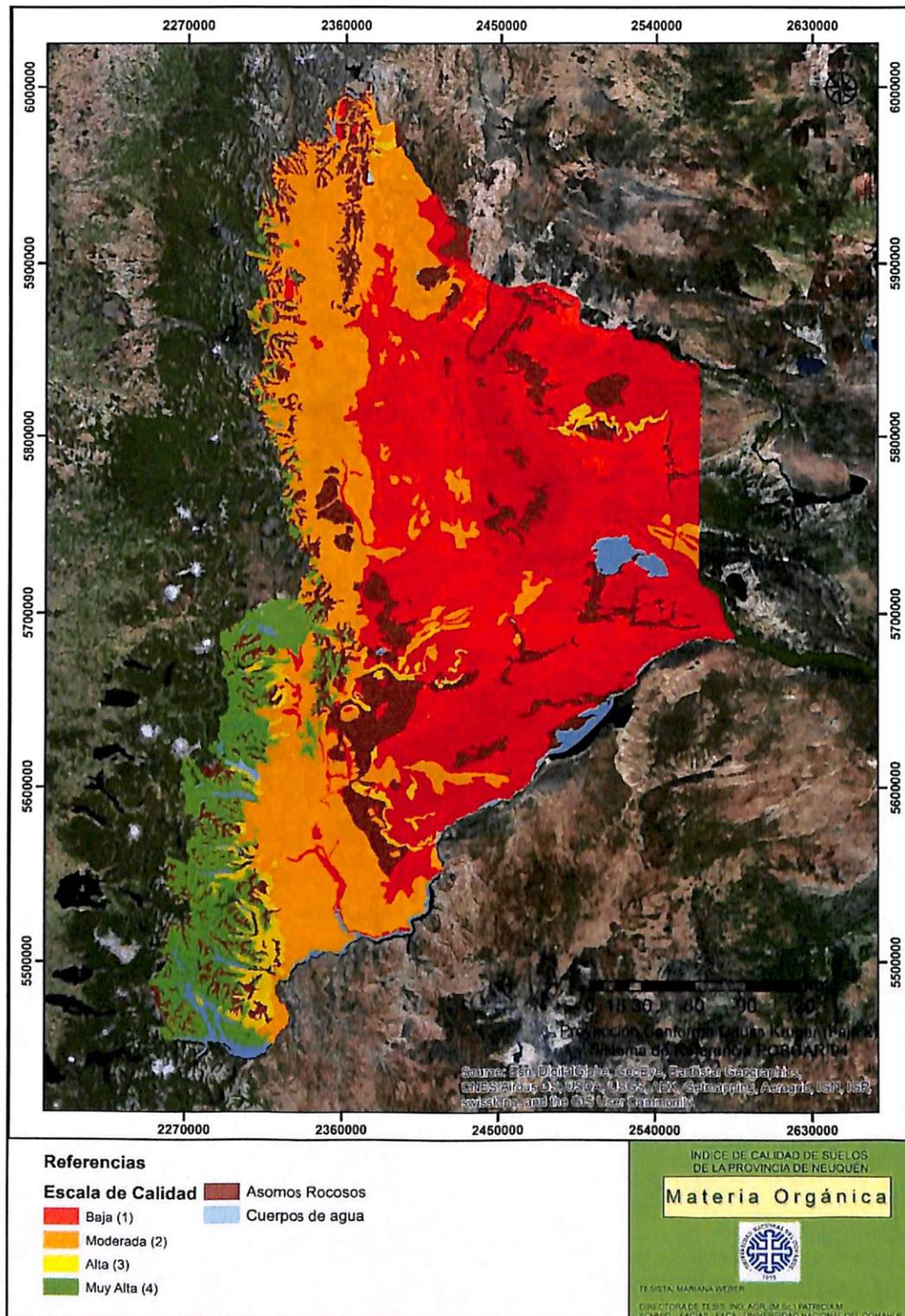


Figura 16: Mapa de calidad de Materia Orgánica en la provincia de Neuquén.

La Figura 16 muestra que calidad de la materia orgánica en la provincia de Neuquén varía desde baja a muy alta.

La calidad muy alta, con valores de materia orgánica mayor al 6% abarcan una superficie de 7.355 km². Presentándose al oeste las unidades N° 1, 2, 4, 5, 6, 7, los cuales pertenecen a la Región Andina, Subregión Húmeda Montañosa correspondientes a suelos con nulo a escaso déficit hídrico (edafoclima údico) y paisaje montañoso modelado principalmente por la acción glacial. También comprende las unidades N° 9, 10 y 17 ubicados en la Región Andina, Subregión Subhúmeda Montañosa correspondientes a suelos con déficit hídrico estival (edafoclima xérico). Estos altos valores se deben a la afinidad de materia orgánica con las cenizas volcánicas.

Hacia el centro de la provincia de Neuquén nos encontramos con valores de calidad moderada y alta de materia orgánica. La Subregión de Planicies, Colinas y Serranías todavía posee vestigios de cenizas volcánicas, a diferencia de las subregiones áridas ubicadas hacia el Este, por lo tanto, podríamos afirmar que la Subregión de Planicies, Colinas y Serranías actúa como un buffer entre la Región Andina y las Subregiones Áridas.

La calidad alta ocupa una superficie de 2.610 km², correspondiéndole la unidad N° 3 presentando una fase dominante de Udivitrandes típicos, como subordinado Udivitrandes tápticos y como muy subordinado Hapludandes vítricos. En la unidad N° 37 también se presentan suelos con un porcentaje de materia orgánica comprendido entre 3-6%, la misma posee una geomorfología de planicies basálticas y campos volcánicos, son suelos con una fase dominante pedregosa de Torriortentes típicos, someros y una fase subordinada de Haplacuentes típicos y asomos rocosos.

La calidad moderada abarca una superficie de 24.880 km² y la calidad baja ocupa un área de 42.785 km².

En las Subregiones Áridas se presentan los valores más bajos de materia orgánica, inferiores al 1%.

El siguiente gráfico muestra la distribución de la materia orgánica en la provincia de Neuquén:



Figura 17: Distribución de la calidad de la Materia orgánica en la provincia de Neuquén.

Nótese que el 13 % de la superficie provincial posee alta a muy alta calidad de materia orgánica. El 32 % con porcentajes de materia orgánica comprendido entre el 3-6 %, y el mayor porcentaje de 55 % corresponde a suelos con menos de 1% de materia orgánica.

Profundidad Efectiva

En el siguiente mapa se observan los valores ponderados de profundidad efectiva en los suelos de la provincia de Neuquén:

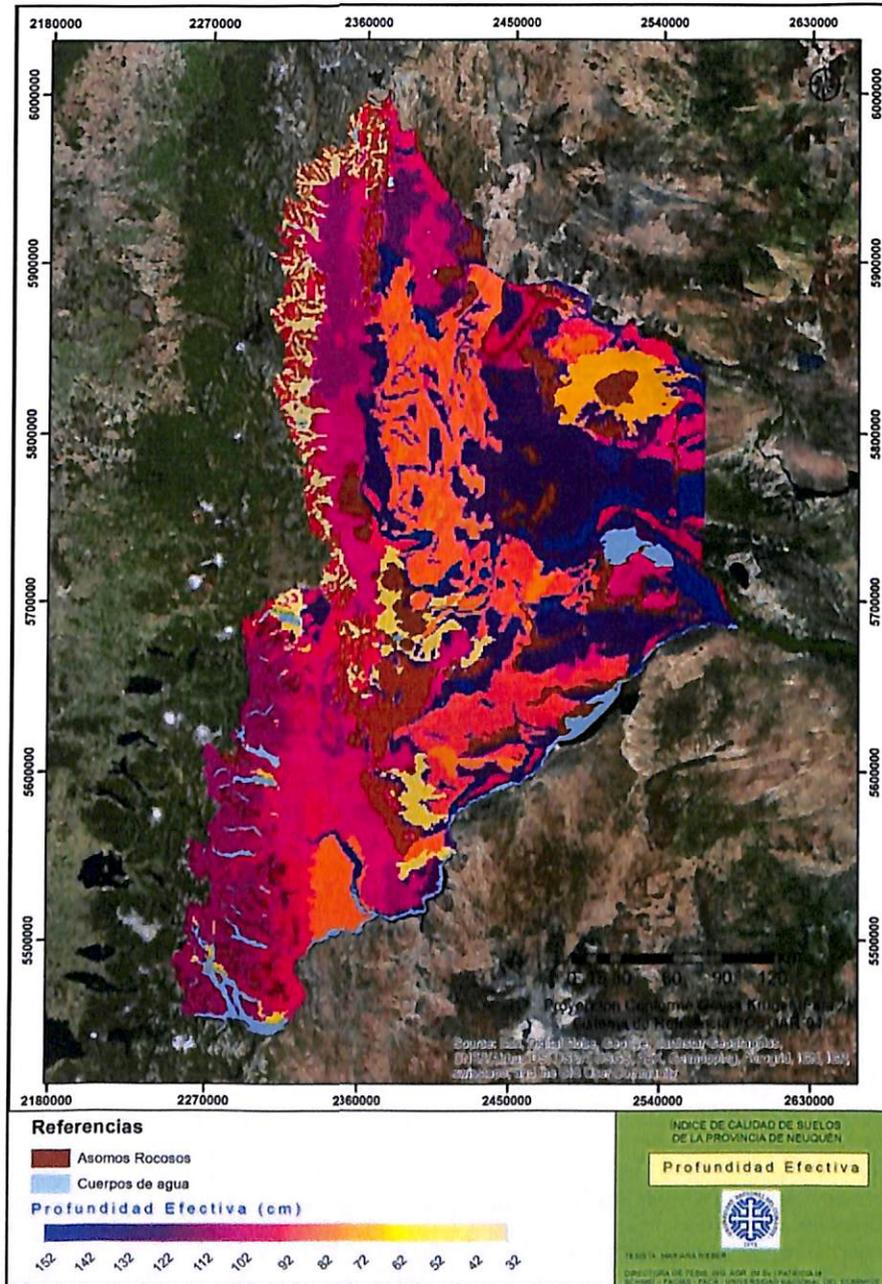


Figura 18: Mapa de variación de Profundidad Efectiva ponderada en la Provincia de Neuquén.

Los menores valores de profundidad efectiva del suelo se encuentran alrededor de los asomos rocosos, en regiones de edafoclima xérico. Sitios generalmente altos, con pendientes pronunciadas, clima frío y elevada amplitud térmica. Bajo estas condiciones la roca sufre el proceso de intemperismo físico y los suelos son someros y muy pedregosos. Hacia el este, son mayormente las planicies basálticas quienes limitan la profundidad del suelo mientras que en la región de edafoclima arídico la profundidad del suelo se ve limitada en paisajes complejos, con estructura geológica de plegamientos expuestos, "crestas", "espinazos" y "cuestas". Al avanzar hacia el este, es notoria la influencia –en la profundidad del suelo- de las planicies estructurales, controladas por la disposición horizontal de un manto rocoso como así también en los relieves plano o plano-cóncavos con presencia de la freática cercana a la superficie.

Al sur del Lago Aluminé, la región montañosa con edafoclima údico presenta los suelos más profundos, pues los depósitos de cenizas volcánicas han "rellenado el paisaje" y posibilitado la colonización del bosque.

Los valores ponderados se categorizaron en base a la siguiente escala de calidad:

Profundidad Efectiva	
Escala	Rango (cm)
Baja (1)	< 25
Moderada (2)	25 - 50
Alta (3)	50 - 100
Muy Alta (4)	>100

Tabla 11: Escala de categorización de Profundidad Efectiva.

La escala de profundidad efectiva sigue los lineamientos propuestos por el Soil Survey Manual (1993) en cuanto a las restricciones de la profundidad del suelo para el crecimiento radicular. Se basa en que a mayor profundidad del suelo aumenta la exploración radicular y la posibilidad de que el sitio sea colonizado por plantas de mayor porte.

La Tabla 12 presenta los valores ponderados y categorizados de Profundidad efectiva para cada unidad cartográfica:

Unidad Cartográfica	Profundidad Efectiva (cm) Valor ponderado	Profundidad Efectiva Valor categorizado	Unidad Cartográfica	Profundidad Efectiva (cm) Valor ponderado	Profundidad Efectiva Valor categorizado
1	109.50	4	36	45.10	2
2	93.50	3	37	131.00	4
3	93.20	3	38	90.00	3
4	50.20	3	39	70.50	3
5	112.60	4	40	117.90	4
6	55.00	3	41	97.45	3
7	37.00	2	42	78.00	3
8			43	100.80	4
9	92.00	3	44	127.00	4
10	92.00	3	45	94.20	3
11	32.00	2	46	89.00	3
12	103.20	4	47	135.00	4
13	111.80	4	48	83.00	3
14	102.00	4	49	86.30	3
15	102.00	4	50		1
16	124.60	4	51	96.80	3
17	125.00	4	52	99.90	3
18	91.20	3	53	88.80	3
19	90.00	3	54	152.00	4
20	92.40	3	55	78.00	3
21	98.60	3	56	78.00	3
22	108.60	4	57	135.00	4
23	108.50	4	58	135.00	4
24	106.40	4	59	135.00	4
25	118.00	4	60	92.30	3
26	102.00	4	61	142.50	4
27	102.00	4	62	140.60	4
28	81.50	3	63	122.10	4
29	81.50	3	64	83.00	3
30	144.70	4	65	137.10	4
31	102.00	4	66	135.00	4
32	106.40	4	67	128.50	4
33	124.00	4	68		
34			69		
35			70		

Tabla 12: Valores ponderados y categorizados de Profundidad Efectiva.

La variación de la profundidad efectiva en la provincia del Neuquén a partir de los valores categorizados se representa en el siguiente mapa:

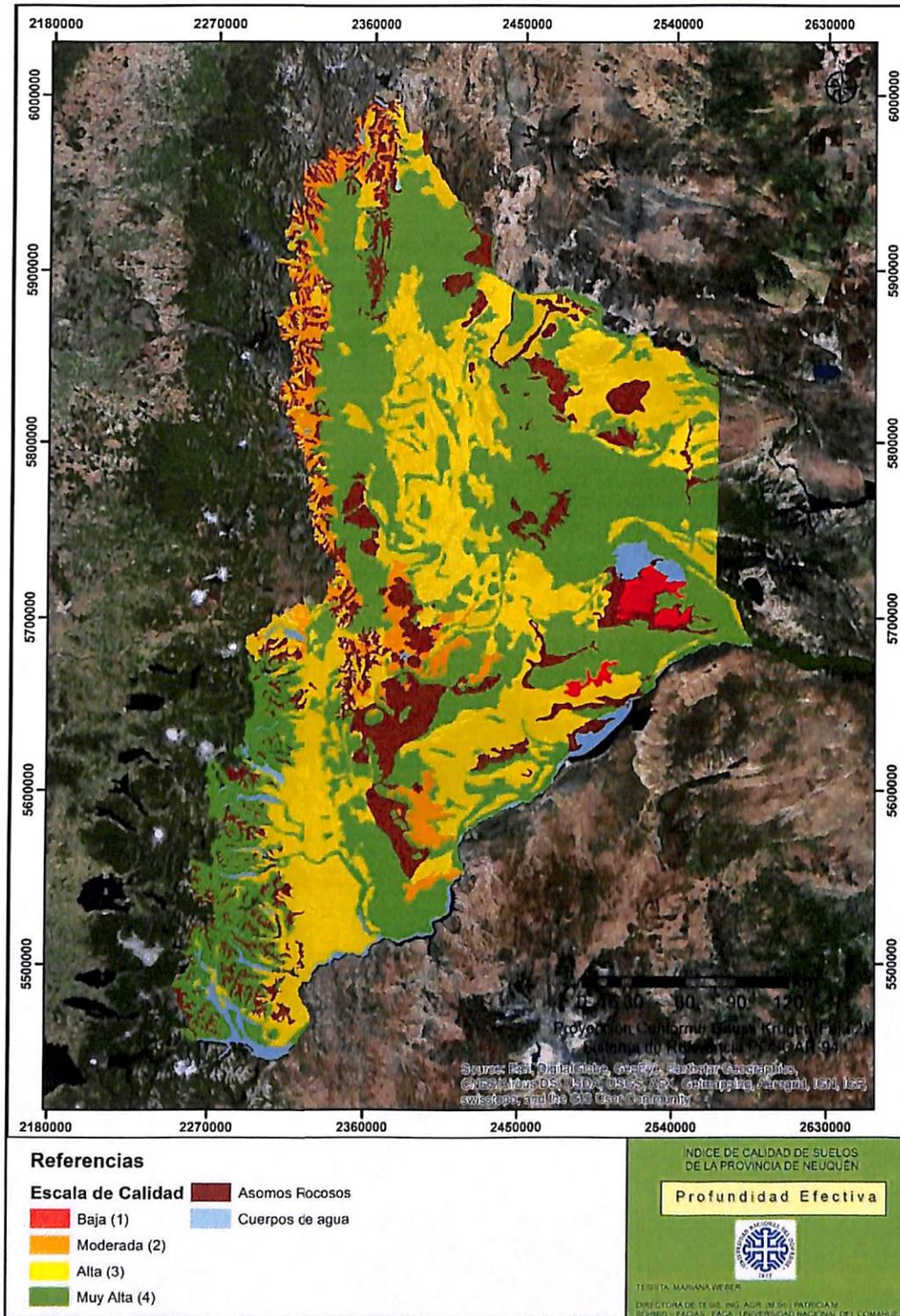


Figura 19: Mapa de variación de la calidad Profundidad Efectiva en la provincia de Neuquén.

La calidad de profundidad efectiva en la provincia de Neuquén varía desde baja a muy alta. Una superficie de 931 km² corresponde a una baja calidad, 4.866 km² a una calidad moderada, 30.935 km² a una calidad alta y un área de 40.898 km² a calidad muy alta.

La mayoría de las unidades cartográficas se corresponden a una calidad alta y muy alta.

Los suelos de baja calidad con profundidad menor a 25 centímetros se encuentran en el este de la provincia de Neuquén, correspondiente a la unidad cartográfica N° 50. Son suelos con déficit hídrico anual (edafoclima árido) y estepa arbustiva rala. Posee una geomorfología de planicies estructurales arrasadas; relieve controlado por disposición horizontal del manto rocoso subyacente. Estos suelos poseen una fase dominante disectada de Petrocalcides típicos, como subordinados presentan Torriortentes típicos y Haplocalcides típicos y como muy subordinado asomos rocosos.

Hacia el oeste se encuentran en las unidades N° 7, 11 y 36 suelos de calidad moderada, con una profundidad comprendida entre los 25 y 50 cm. Las características de las unidades mencionadas son las siguientes:

- Unidad N°36: son suelos con déficit hídrico anual (edafoclima árido) y con una estepa arbustiva rala. La geomorfología predominante son planicies basálticas y campos volcánicos. Poseen una fase dominante plana de torriortentes líticos y como subordinado presenta petrocalcides típicos.
- Unidad N°11: son suelos con déficit hídrico estival (edafoclima xérico). La geomorfología predominante son faldeos bajos y fondo de valles; modelado glacial; estepa gramínea; relieve plano a moderadamente inclinado. Los suelos dominantes son los vitrixerandes mólicos, como subordinado los vitrixerandes típicos y como muy subordinado los humacueptes típicos.
- Unidad N°7: son suelos con nulo a escaso déficit hídrico (edafoclima údico), paisaje montañoso modelado principalmente por la acción glacial. La geomorfología predominante son arcos morénicos; estepa gramínea;

cenizas volcánicas; incluye transición údico-xérico. Estos suelos poseen una fase dominante suavemente ondulada de Udivitrandes tápticos, como subordinado presenta Udivitrandes típicos con materiales volcánicos gruesos (lapilli).

El siguiente gráfico muestra la distribución de la profundidad efectiva en la provincia de Neuquén:



Figura 20: Distribución de la calidad de la Profundidad Efectiva en la provincia de Neuquén.

Nótese que el 93 % de la superficie provincial posee alta a muy alta calidad en cuanto a su profundidad efectiva. El 40 % con profundidades entre 50 cm y 1 metro y el 53 % con profundidades mayores al metro.

Clase natural de drenaje

En el siguiente mapa se observan los valores ponderados clase natural de drenaje en los suelos de la provincia de Neuquén:

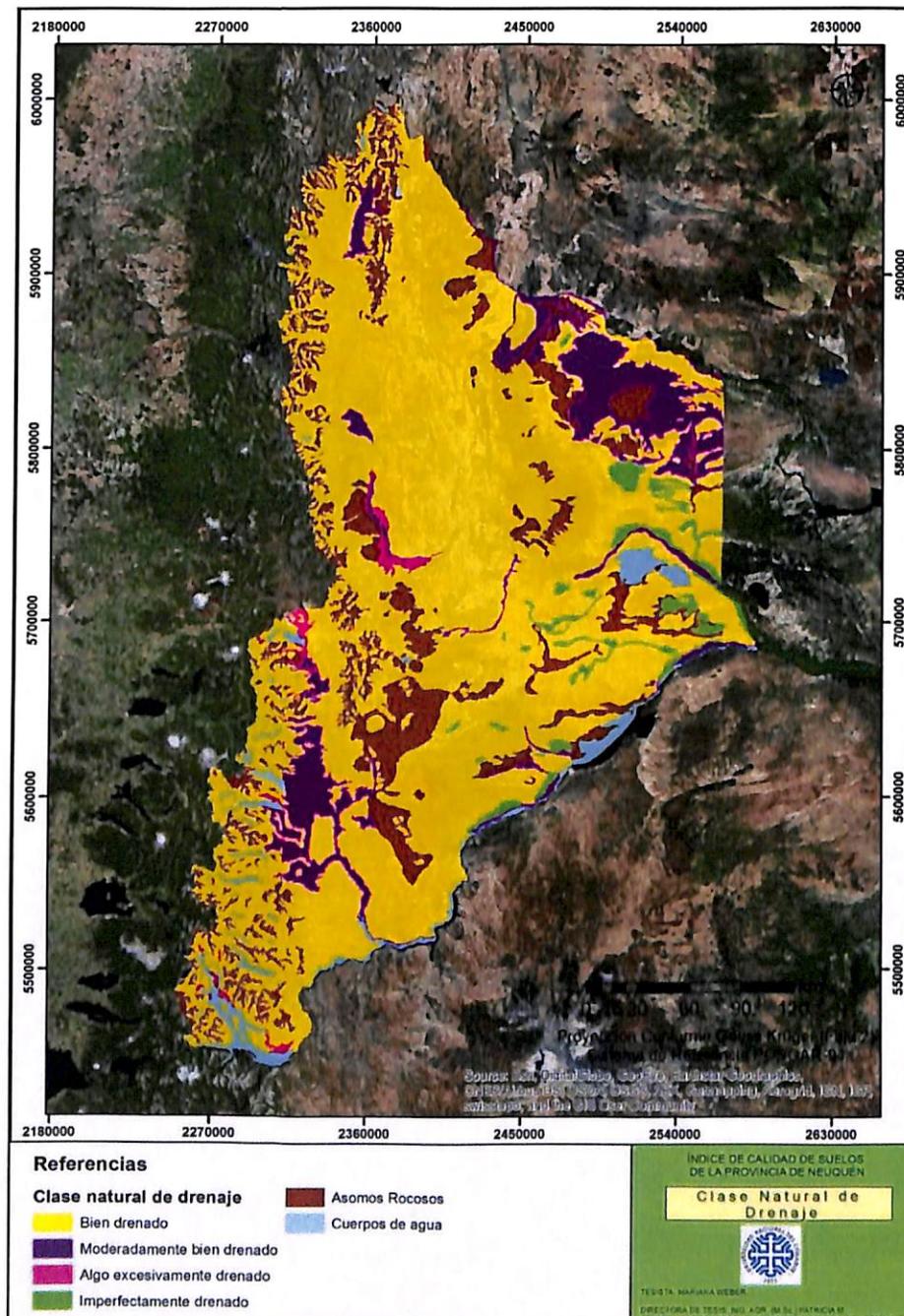


Figura 21: Mapa de Clase Natural de Drenaje ponderada en la Provincia de Neuquén.

La mayoría de los suelos de las unidades cartográficas de Neuquén se presentan bien drenados, como es de esperar para los suelos zonales de la región, representados a escala -1:500.000- de reconocimiento.

Unidades como el campo volcánico del Auca Mahuida, rico en horizontes yesosos o carbonato de calcio cementado a los 40 cm de profundidad como algunos sectores de las planicies basálticas, cuyo espesor es de 40 cm, limitando abruptamente con el manto rocoso subyacente, se presentan moderadamente bien drenadas. De la misma manera en paisajes serranos muy heterogéneos, donde dominan argixeroles vérticos y pelloxerertes crómicos se encuentran como subordinados, el alto contenido de arcillas expandibles califican la unidad cartográfica de suelo como moderadamente bien drenada.

Los suelos algo excesivamente drenados se caracterizan por ser de textura arenosa (psamentes) o por estar ubicados en paisajes montañosos, sobre arcos morénicos de relieves suavemente ondulados.

Los sectores muy planos o deprimidos del paisaje, con presencia de la freática cerca de la superficie, presentan suelos imperfectamente drenados.

Los valores ponderados se categorizaron en base a la siguiente escala de calidad:

Clase natural de drenaje	
Escala	Rango
Baja (1)	Muy pobremente drenado Pobremente drenado
Moderada (2)	Imperfectamente drenado
Alta (3)	Moderadamente bien drenado
Muy Alta (4)	Bien drenado
Alta (3)	Algo excesivamente drenado
Moderada (2)	Excesivamente drenado

Tabla 13: Escala de categorización de Clase Natural de Drenaje.

La escala propuesta se basa en función del comportamiento hidrológico de los suelos para lo cual se han establecidos siete categorías o Clases Naturales de Drenaje denominadas: muy pobremente drenado, pobremente drenado, imperfectamente drenado, moderadamente bien drenado, bien drenado, algo excesivamente drenado y excesivamente drenado (López, J.A.,2006). Estas se consideraron ya sea por su exceso o defecto de agua en el perfil del suelo.

En la Tabla 14 se presentan los valores ponderados y categorizados de clase natural de drenaje para cada unidad cartográfica:

Unidad Cartográfica	Clase natural de drenaje (ponderado)	Clase natural de drenaje (categorizado)	Unidad Cartográfica	Clase natural de drenaje (ponderado)	Clase natural de drenaje (categorizado)
1	Bien drenado	4	36	Bien drenado	4
2	Bien drenado	4	37	Bien drenado	4
3	Bien drenado	4	38	Bien drenado	4
4	Bien drenado	4	39	Moderadamente bien drenado	3
5	Bien drenado	4	40	Bien drenado	4
6	Algo excesivamente drenado	3	41	Bien drenado	4
7	Algo excesivamente drenado	3	42	Bien drenado	4
8			43	Bien drenado	4
9	Bien drenado	4	44	Bien drenado	4
10	Bien drenado	4	45	Moderadamente bien drenado	3
11	Bien drenado	4	46	Moderadamente bien drenado	3
12	Bien drenado	4	47	Bien drenado	4
13	Bien drenado	4	48	Bien drenado	4
14	Bien drenado	4	49	Bien drenado	4
15	Bien drenado	4	50	Bien drenado	4
16	Bien drenado	4	51	Bien drenado	4
17	Bien drenado	4	52	Moderadamente bien drenado	3
18	Bien drenado	4	53	Algo excesivamente drenado	3
19	Bien drenado	4	54	Bien drenado	4
20	Bien drenado	4	55	Bien drenado	4
21	Moderadamente bien drenado	3	56	Moderadamente bien drenado	3
22	Bien drenado	4	57	Bien drenado	4
23	Moderadamente bien drenado	3	58	Bien drenado	4
24	Bien drenado	4	59	Bien drenado	4
25	Bien drenado	4	60	Imperfectamente drenado	2
26	Bien drenado	4	61	Moderadamente bien drenado	3
27	Bien drenado	4	62	Imperfectamente drenado	2
28	Bien drenado	4	63	Bien drenado	4
29	Bien drenado	4	64	Bien drenado	4
30	Bien drenado	4	65	Bien drenado	4
31	Bien drenado	4	66	Bien drenado	4
32	Bien drenado	4	67	Bien drenado	4
33	Bien drenado	4	68		
34			69		
35			70		

Tabla 14: Valores ponderados y categorizados de Clase Natural de Drenaje.

La variación de la clase natural de drenaje en la provincia del Neuquén a partir de los valores categorizados se representa en el siguiente mapa:

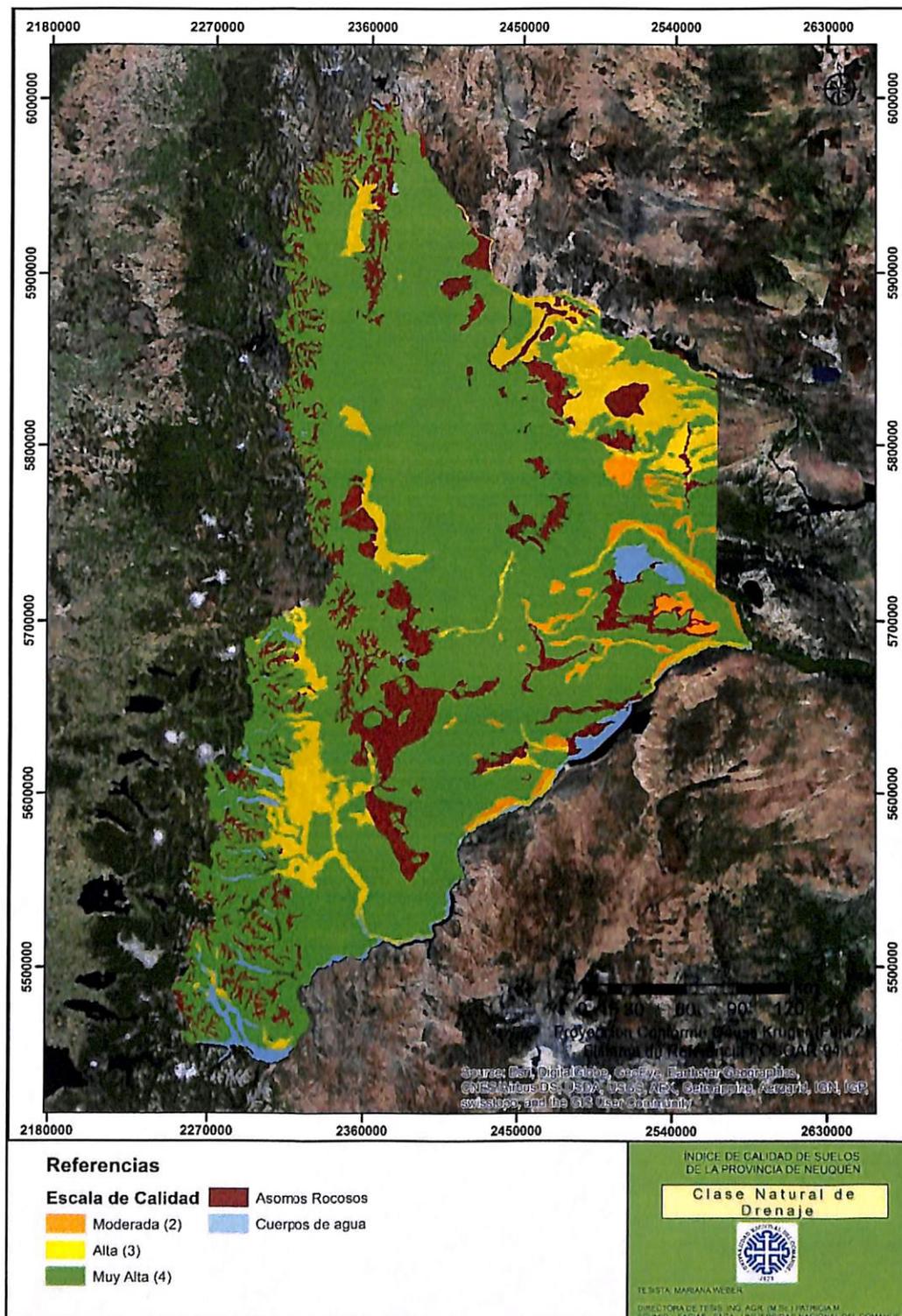


Figura 22: Mapa de calidad de la Clase Natural de Drenaje en la provincia de Neuquén.

La calidad de clase natural de drenaje en la provincia de Neuquén varía desde moderada a muy alta.

La mayoría de las unidades cartográficas poseen una calidad muy alta (65.969 km²), ver Figura 23. Es coherente ya que la mayoría de las unidades se corresponden a suelos zonales (bien drenados).

La calidad alta se corresponde con una superficie de 9.530 km² incluyendo una clase natural de drenaje ya sea moderadamente bien drenado o algo excesivamente bien drenado.

La calidad moderada abarca una superficie de 2.131 km², con una clase natural de drenaje imperfectamente drenado. Se corresponden con las unidades cartográficas N° 60 y 62. Ambas unidades se caracterizan por pertenecer a suelos con déficit hídrico anual (edafoclima arídico) y estepa arbustiva rala. La unidad cartográfica N° 60 se ubica sobre terrazas bajas y planicies de inundación (pendientes < 5%); dominan los Torriortentes típicos, gravillosos y franco gruesos y como subordinados presentan la fase salino - sódica de los mismos suelos.

La unidad N° 62 se presenta en cuencas endorreicas y tributarios temporarios o efímeros. Dominan los Torrifluventes típicos, fase salina y como subordinados presenta Haplosalides típicos y Torriortentes vérticos;

El siguiente gráfico muestra la distribución de la clase natural de drenaje en la provincia de Neuquén:



Figura 23: Distribución de la calidad de la Clase Natural de Drenaje en la provincia de Neuquén.

El 97% de los suelos se califican como altos a muy altos en cuanto a su calidad en la clase natural de drenaje.

Los mallines, sectores con suelos mal drenados (calidad baja) de enorme importancia ganadera, que abarcan entre el 3 y el 5 % de la provincia y se ubican mayormente en la zona de edafoclima xérico, no se identifican a esta escala de trabajo.

Pendiente

En el siguiente mapa se observan los valores ponderados de la pendiente en los suelos de la provincia de Neuquén:

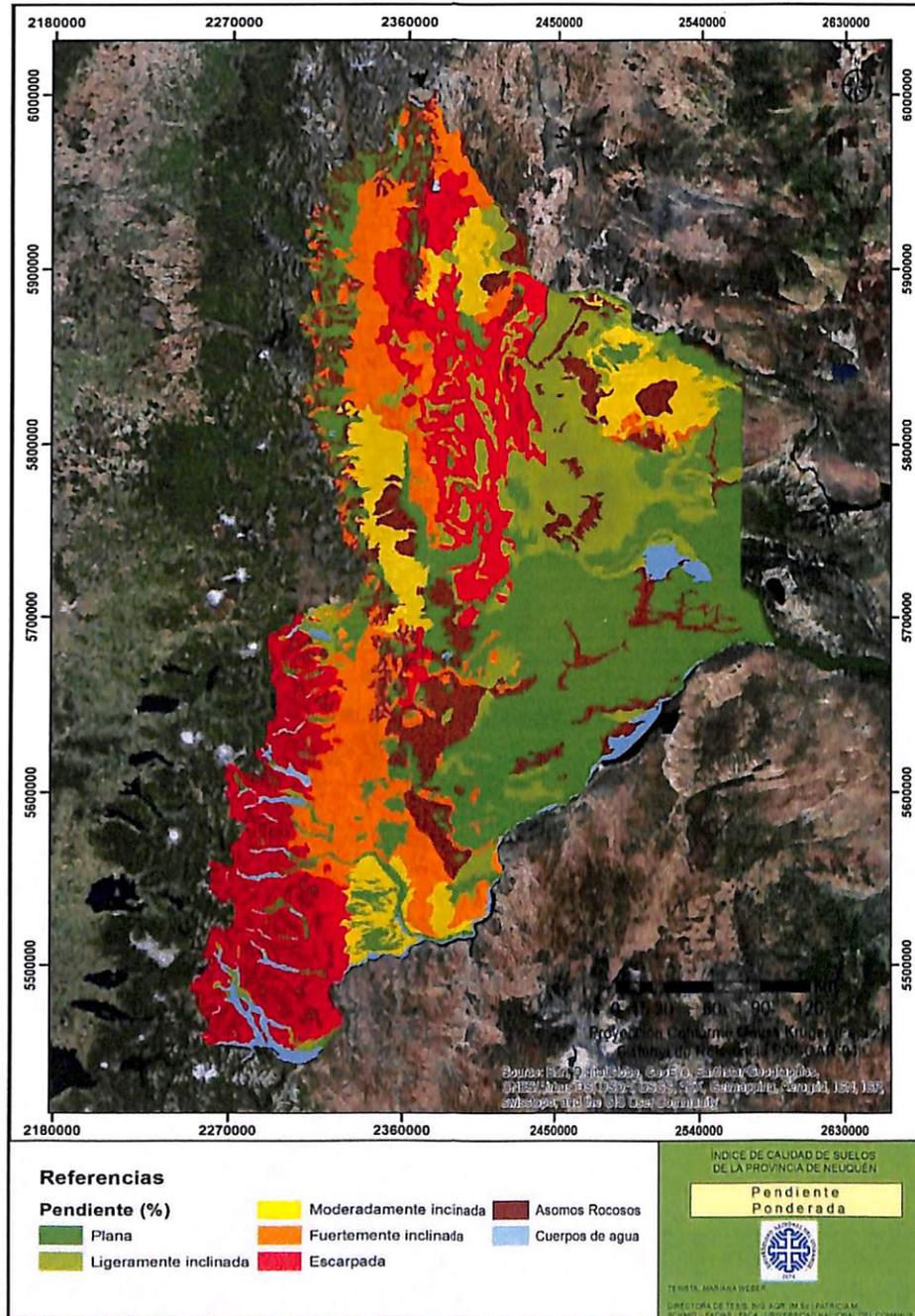


Figura 24: Mapa de Pendiente ponderada en la Provincia de Neuquén.

Al sur del Lago Aluminé, la región montañosa, caracterizada por paisajes glaciarios y edafoclima údico presenta pendientes escarpadas, que también dominan al norte, alrededor de la Cordillera del Viento y algo más al este, en regiones de edafoclima xérico, caracterizada por paisajes complejos, con estructura geológica de plegamientos expuestos, "crestas", "espinazos" y "cuestas".

Hacia el este de la región Húmeda montañosa y al oeste de la Cordillera del Viento las pendientes se presentan fuertemente inclinadas.

Las extensas superficies pedimentadas ubicadas al Norte del Lago Aluminé, las grandes planicies basálticas de los alrededores de Piedra del Águila y las laderas bajas del Auca Mahuida se presentan moderadamente inclinadas.

La zona centro-este restante presenta las menores pendientes, ligeramente inclinadas al norte del río Neuquén y planas en el sector sur.

Los valores ponderados se categorizaron en base a la siguiente escala de calidad:

Pendiente		
Escala de Calidad		Rango (%)
Muy Alta (4)	Plana	0 % - 2 %
	Ligeramente inclinada	2 % - 8 %
Alta (3)	Moderadamente inclinada	8 % - 16 %
Moderada (2)	Fuertemente inclinada	16 % - 30 %
Baja (1)	Escarpada	30% - 70 %
	Muy escarpada	> 70 %

Tabla 15: Escala de categorización de Pendiente.

La escala propuesta se basa en que la pendiente es un importante factor para determinar la erosión del suelo, cuanto mayor es el ángulo y la longitud de la pendiente, mayor será la erosión del suelo. Un aumento del ángulo de la pendiente causa un aumento de la velocidad de escorrentía y con ello la energía cinética del

agua causa una mayor erosión. Las pendientes largas llevan a una intensificación de la escorrentía, aumentando su volumen y causando así una erosión más seria.

La Tabla 16 presenta los valores ponderados y categorizados de pendiente para cada unidad cartográfica:

Unidad Cartográfica	Pendiente (ponderado)	Pendiente (categorizado)	Unidad Cartográfica	Pendiente (ponderado)	Pendiente (categorizado)
1	Escarpada	1	36	Plana	4
2	Escarpada	1	37	Fuertemente inclinada	2
3	Escarpada	1	38	Plana	4
4	Ligeramente inclinada	4	39	Moderadamente inclinada	4
5	Plana	4	40	Ligeramente inclinada	4
6	Ligeramente inclinada	4	41	Fuertemente inclinada	2
7	Ligeramente inclinada	4	42	Plana	4
8		0	43	Ligeramente inclinada	4
9	Fuertemente inclinada	2	44	Ligeramente inclinada	4
10	Fuertemente inclinada	2	45	Ligeramente inclinada	4
11	Plana	4	46	Moderadamente inclinada	3
12	Plana	4	47	Ligeramente inclinada	4
13	Fuertemente inclinada	2	48	Ligeramente inclinada	4
14	Moderadamente inclinada	3	49	Plana	4
15	Plana	4	50	Plana	4
16	Fuertemente inclinada	2	51	Plana	4
17	Plana	4	52	Plana	4
18	Escarpada	1	53	Plana	4
19	Fuertemente inclinada	2	54	Plana	4
20	Fuertemente inclinada	2	55	Plana	4
21	Fuertemente inclinada	2	56	Plana	4
22	Escarpada	1	57	Ligeramente inclinada	4
23	Fuertemente inclinada	2	58	Plana	4
24	Moderadamente inclinada	2	59	Plana	4
25	Escarpada	1	60	Plana	4
26	Ligeramente inclinado	4	61	Plana	4
27	Plana	4	62	Plana	4
28	Plana	4	63	Ligeramente inclinada	4
29	Moderadamente inclinada	3	64	Escarpada	1
30	Moderadamente inclinada	3	65	Fuertemente inclinada	2
31	Fuertemente inclinada	2	66	Ligeramente inclinada	4
32	Fuertemente inclinada	2	67	Ligeramente inclinada	4
33	Fuertemente inclinada	2	68		
34		0	69		
35		0	70		

Tabla 16: Valores ponderados y categorizados de Pendiente.

La variación de pendiente en la provincia del Neuquén a partir de los valores categorizados se representa en el siguiente mapa:

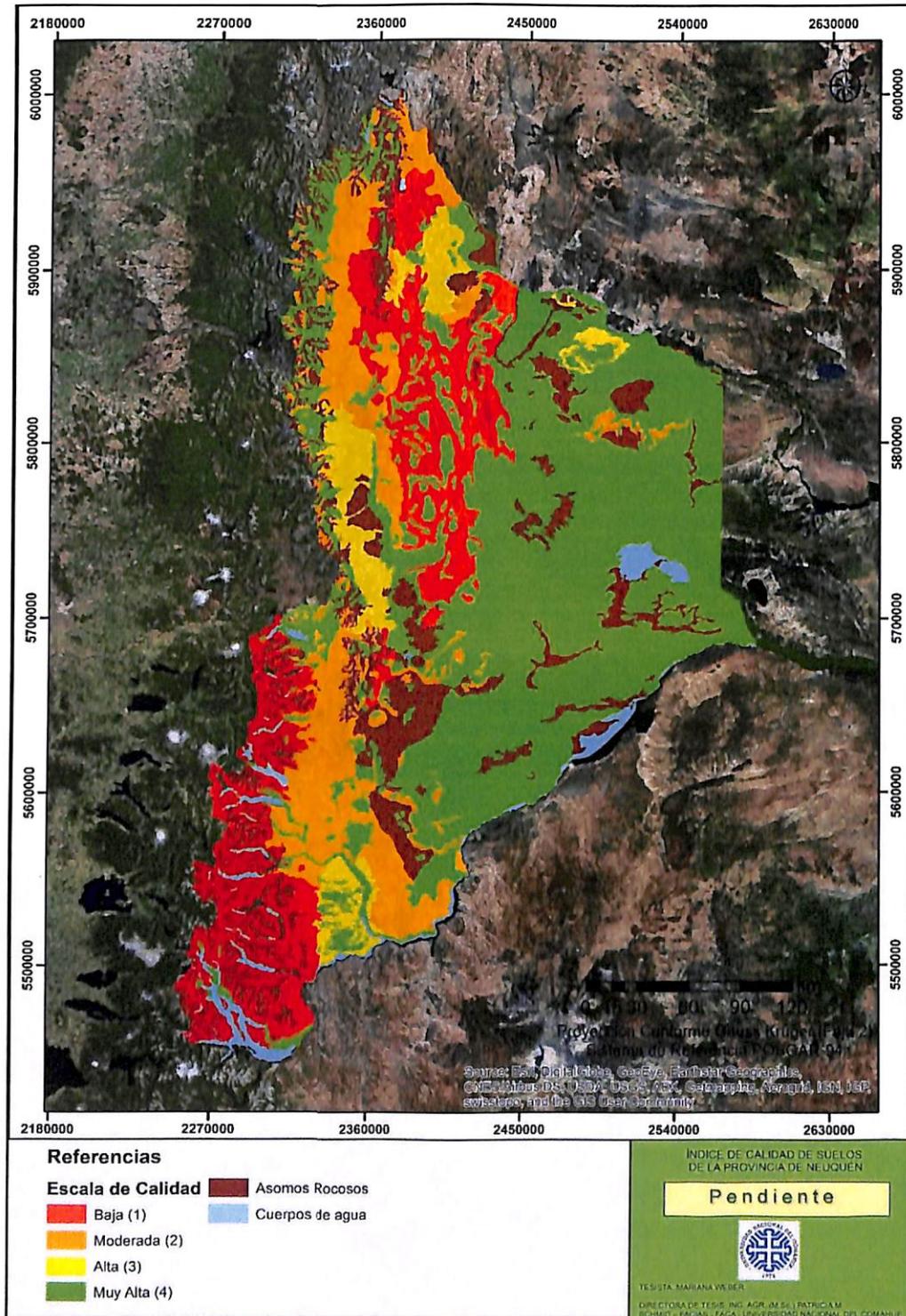


Figura 25: Mapa de calidad de la Pendiente en la provincia de Neuquén.

La calidad de la pendiente en la provincia de Neuquén varía desde baja a muy alta.

La calidad muy alta, con valores de pendiente menores al 8% abarcan una superficie de 42.762 km². Presentándose en las unidades N° 4, 5, 6, 7, 11, 12, 15, 17, 26, 27, 28, 36, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 47 – 63, 66 y 67.

La calidad alta, con una superficie de 5.134 km² le corresponden las unidades N° 14, 29, 30, 46.

La calidad moderada con 12.906 km² se presenta en las unidades N° 9, 10, 13, 16, 19, 20, 21, 23, 24, 31, 32, 33, 37, 41 y 65.

La calidad baja, con valores de pendiente mayores al 30% abarcan una superficie de 16.828 km². Se presenta en las unidades N° 1, 2, 3, 18, 22, 25 y 64.

El siguiente gráfico muestra la distribución de las pendientes en la provincia de Neuquén:



Figura 26: Distribución de la calidad de la Pendiente en la provincia de Neuquén.

La mayoría de los suelos de la provincia de Neuquén, ubicados al centro oeste de la misma, presentan una calidad muy alta con valores de pendiente menor al 8%.

Los suelos sin pedregosidad o con gravas que no superan el 15 % son aquellos que presentan cobertura arenosa o franco arenosa, ubicados mayoritariamente hacia el este.

La zona central de la provincia posee gravas medias cuyo porcentaje es menor al 15 %. En la zona andina predominan las gravas medias (lapilli) que no sobrepasan el 35 % de la superficie del suelo

En los alrededores del Cerro Domuyo, Cordillera del Viento y en las planicies que rodean a Piedra del Águila dominan las piedras, clastos de tamaño mayor a 25 cm de diámetro, siendo su porcentaje entre 15 y 35 %.

Los valores ponderados se categorizaron en base a la siguiente escala de calidad:

Pedregosidad	
Escala de Calidad	
Muy Alta (4)	Sin pedregosidad
	Gravas medias < 15 %
Alta (3)	Gravas medias 15-35 %
	Gravas gruesas < 15%
	Piedras < 15 %
Moderada (2)	Gravas medias 35-60 %
	Gravas gruesas 15 - 35 %
	Piedras 15-35 %
Baja (1)	Piedras 35-60 %

Tabla 17: Escala de categorización de Pedregosidad.

La escala propuesta se basa en que el aumento de la pedregosidad se relaciona directamente con el grado de dificultad en el laboreo del suelo y en la germinación de las plántulas. A medida que aumenta el porcentaje o el tamaño de gravas y/o piedras disminuye la calidad del suelo.

La Tabla 18 presenta los valores ponderados y categorizados de pedregosidad para cada unidad cartográfica:

Unidad Cartográfica	Pedregosidad (valor ponderado)	Pedregosidad (valor categorizado)
1	Gravas medias 15-35 %	3
2	Gravas medias 15-35 %	3
3	Gravas medias 15-35 %	3
4	Gravas medias 15-35 %	3
5	Gravas medias < 15 %	4
6	Gravas medias 15-35 %	3
7	Gravas medias 15-35 %	3
8		
9	Gravas medias 15-35 %	3
10	Gravas medias 15-35 %	3
11	Gravas medias 15-35 %	3
12	Gravas medias < 15 %	4
13	Gravas medias < 15 %	4
14	Gravas medias < 15 %	4
15	Gravas medias < 15 %	4
16	Gravas medias < 15 %	4
17	Gravas medias < 15 %	4
18	Gravas medias < 15 %	4
19	Gravas gruesas 15-35 %	2
20	Gravas gruesas < 15 %	3
21	Gravas gruesas 15-35 %	2
22	Gravas medias < 15 %	4
23	Gravas medias 35-60 %	2
24	Gravas medias < 15 %	4
25	Piedras 15-35 %	2
26	Gravas medias < 15 %	4
27	Sin pedregosidad	4
28	Piedras 15-35 %	2
29	Piedras 15-35 %	2
30	Gravas medias < 15 %	4
31	Gravas medias < 15 %	4
32	Gravas medias < 15 %	4
33	Gravas medias < 15 %	4
34		
35		
36	Gravas medias < 15 %	4
37	Gravas medias < 15 %	4
38	Sin pedregosidad	4
39	Gravas medias < 15 %	4
40	Gravas medias < 15 %	4
41	Gravas medias < 15 %	4
42	Gravas medias < 15 %	4
43	Gravas medias < 15 %	4
44	Gravas medias 15-35 %	3
45	Gravas medias 15-35 %	3
46	Gravas medias 15-35 %	3
47	Sin pedregosidad	4
48	Gravas medias < 15 %	4
49	Gravas medias < 15 %	4
50	Gravas medias < 15 %	4
51	Gravas medias < 15 %	4
52	Gravas medias < 15 %	4
53	Gravas gruesas 15-35 %	2
54	Sin pedregosidad	4
55	Gravas medias < 15 %	4
56	Gravas medias < 15 %	4
57	Sin pedregosidad	4
58	Gravas medias < 15 %	4
59	Sin pedregosidad	4
60	Gravas medias < 15 %	4
61	Sin pedregosidad	4
62	Gravas medias < 15 %	4
63	Gravas medias < 15 %	4
64	Gravas medias < 15 %	4
65	Gravas medias < 15 %	4
66	Gravas medias < 15 %	4
67	Gravas medias < 15 %	4
68		
69		
70		

Tabla 18: Valores ponderados y categorizados de Pedregosidad.

La variación de la pedregosidad en la provincia del Neuquén a partir de los valores categorizados se representa en el siguiente mapa:

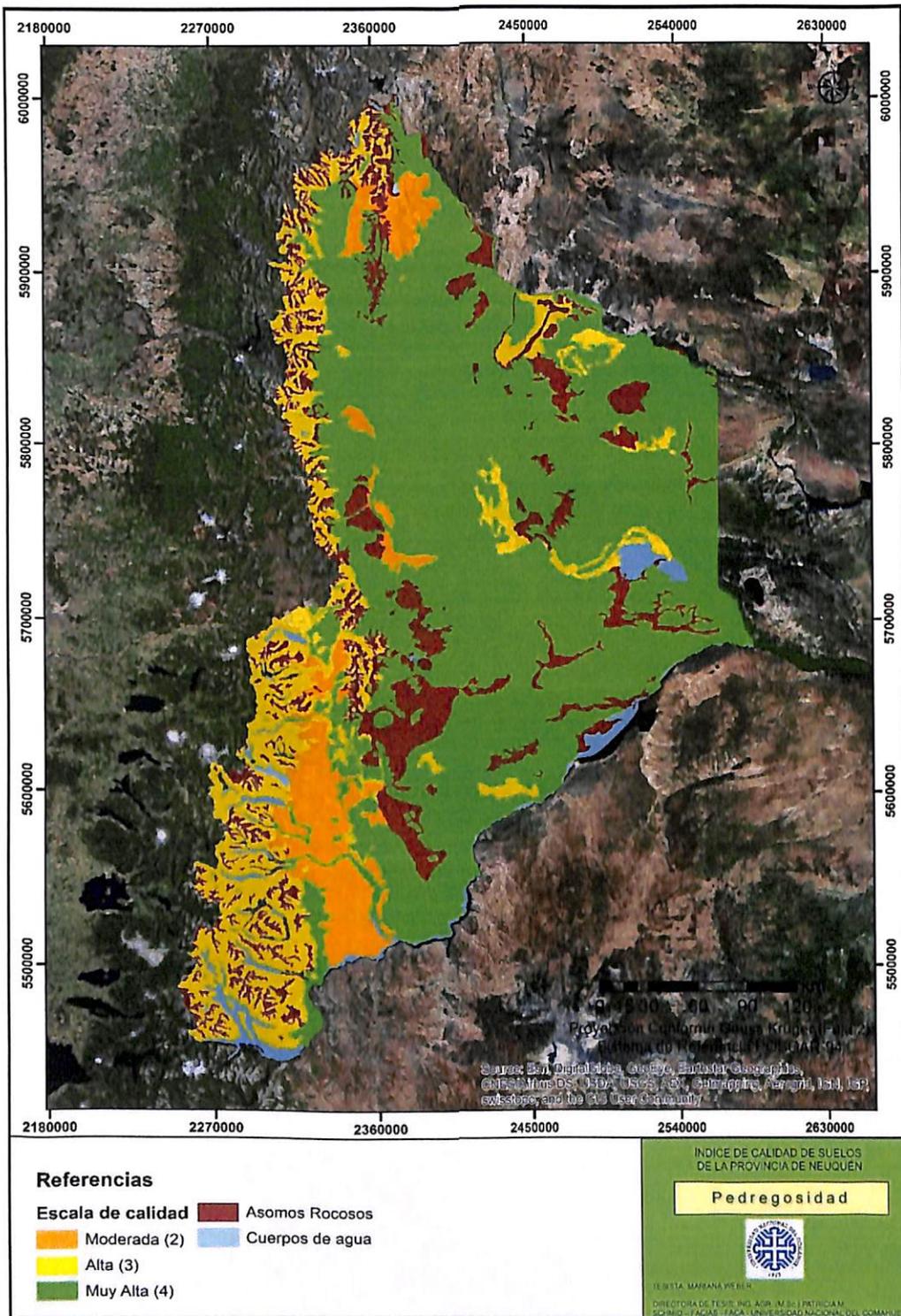


Figura 28: Mapa de calidad de Pedregosidad categorizada en la provincia de Neuquén.

La calidad de la pedregosidad en la provincia de Neuquén varía desde baja a muy alta.

La calidad muy alta ocupa la mayoría de las unidades de la provincia de Neuquén con un área de 56.950 km². Le corresponden las unidades N° 5, 12 – 18, 22, 24, 26, 27, 30 - 33, 36 – 43, 47 – 52, 54 – 67, ubicados en la zona central y oriental de la provincia, bajo régimen edafoclimático xérico y árido.

La calidad alta, ubicada mayoritariamente en la región andina, abarca 14.323 km² y comprende las siguientes unidades cartográficas:

- N° 1, 2, 3, 4, 6, 7: ubicadas en la región andina sur, bajo bosque andinopatagónico y régimen edafoclimático údico.
- N° 9, 10, 11, 20: ubicadas en la región andina norte, bajo vegetación de estepa arbustiva y régimen edafoclimático xérico.
- N° 44, 45, 46: ubicadas en la región de planicies, al este, bajo vegetación de monte y régimen edafoclimático árido.

La calidad moderada abarca 6.357 km², correspondientes a las unidades N° 19, 21, 23, 25, 28, 29 – región de planicies, colinas y serranías ubicadas mayoritariamente al sur de la provincia y en los alrededores del Cerro Domuyo, (edafoclima xérico)- y la unidad N° 53 ubicada en el centro oeste de la provincia en las cercanías del Cerro Mocho, la cual posee suelos con edafoclima árido y estepa arbustiva rala.

El siguiente gráfico muestra la distribución de la pedregosidad en la provincia de Neuquén:



Figura 29: Distribución de la calidad de la Pedregosidad en la provincia de Neuquén.

Afortunadamente, la calidad de la pedregosidad en la provincia de Neuquén se presenta entre alta y muy alta en la mayoría de los suelos, abarcando una superficie de 71.273 Km², lo que equivale al 92% del área. Esto, teniendo siempre presente la escala del estudio regional de reconocimiento.

Índice de Calidad de Suelos – *ICS*

Obtenidos los indicadores, el índice de calidad de suelos (*ICS*) se calculó en base a la siguiente ecuación:

$$ICS = pH + MO + T + I + Pf + D + Ce + PSI + Pe$$

pH

MO = Materia Orgánica

T = Textura

I = Pendiente

Pf = Profundidad Efectiva

D = Clase natural de Drenaje

Ce = Conductividad eléctrica

PSI = Porcentaje de sodio intercambiable

Pe = Pedregosidad

Los valores ponderados de todas las unidades cartográficas de la provincia de Neuquén se pueden observar en el ANEXO 1.4. Los valores categorizados y el Índice de Calidad de Suelos (*ICS*) para cada unidad cartográfica se muestran en la Tabla 19.

Unidad Cartográfica	ICS	Pendiente	Clase natural de Drenaje	Profundidad	pH	MO	Textura	Ce	PSI	Pedregosidad
52	23	4	3	3	2	1	2	3	1	4
60	24	4	2	3	3	1	3	1	3	4
62	25	4	2	4	2	1	3	2	3	4
63	25	4	4	4	2	1	1	4	1	4
3	26	1	4	3	1	3	3	4	4	3
20	26	2	4	3	2	1	3	4	4	3
21	26	2	3	3	3	2	3	4	4	2
45	26	4	3	3	3	1	2	4	3	3
46	26	3	3	3	3	1	3	4	3	3
19	27	2	4	3	3	2	3	4	4	2
23	27	2	3	4	3	2	3	4	4	2
25	27	1	4	4	4	2	3	4	3	2
49	27	4	4	3	3	1	1	4	3	4
50	27	4	4	1	3	1	2	4	4	4
13	28	2	4	4	1	2	3	4	4	4
18	28	1	4	3	3	2	3	4	4	4
38	28	4	4	3	3	1	2	3	4	4
53	28	4	3	3	3	2	3	4	4	2
64	28	1	4	3	4	1	3	4	4	4
1	29	1	4	4	2	4	3	4	4	3
2	29	1	4	3	2	4	4	4	4	3
7	29	4	3	2	2	4	3	4	4	3
9	29	2	4	3	2	4	3	4	4	3
10	29	2	4	3	2	4	3	4	4	3
11	29	4	4	2	3	2	3	4	4	3
22	29	1	4	4	3	2	3	4	4	4
29	29	3	4	3	4	2	3	4	4	2
36	29	4	4	2	4	1	2	4	4	4
41	29	2	4	3	3	2	3	4	4	4
56	29	4	3	3	4	1	3	4	3	4
61	29	4	3	4	3	1	3	4	3	4
4	30	4	4	3	1	4	3	4	4	3
6	30	4	3	3	2	4	3	4	4	3
14	30	3	4	4	3	2	3	4	3	4
16	30	2	4	4	3	2	3	4	4	4
24	30	2	4	4	3	2	3	4	4	4
28	30	4	4	3	4	2	3	4	4	2
31	30	2	4	4	3	2	3	4	4	4
32	30	2	4	4	3	2	3	4	4	4
33	30	2	4	4	3	2	3	4	4	4
39	30	4	3	3	4	1	3	4	4	4
44	30	4	4	4	3	1	3	4	4	3
65	30	2	4	4	3	2	3	4	4	4
67	30	4	4	4	3	1	2	4	4	4
12	31	4	4	4	2	2	3	4	4	4
15	31	4	4	4	3	2	3	4	3	4
26	31	4	4	4	3	2	3	4	3	4
30	31	3	4	4	3	2	3	4	4	4
42	31	4	4	3	4	2	2	4	4	4
47	31	4	4	4	3	1	3	4	4	4
48	31	4	4	3	4	1	3	4	4	4
51	31	4	4	3	3	2	3	4	4	4
54	31	4	4	4	4	1	2	4	4	4
55	31	4	4	3	4	2	2	4	4	4
57	31	4	4	4	3	1	3	4	4	4
58	31	4	4	4	3	1	3	4	4	4
59	31	4	4	4	3	1	3	4	4	4
66	31	4	4	4	3	1	3	4	4	4
27	32	4	4	4	3	2	3	4	4	4
40	32	4	4	4	4	1	3	4	4	4
43	32	4	4	4	4	1	3	4	4	4
5	33	4	4	4	2	4	3	4	4	4
17	33	4	4	4	2	4	3	4	4	4
37	33	2	4	4	4	3	4	4	4	4

Tabla 19: Valores categorizados de cada indicador y su correspondiente ICS.

Para la interpretación del *ICS* se propuso la siguiente escala de transformación en cuatro clases de calidad del suelo:

Indice de Calidad de Suelos (<i>ICS</i>)	Escala	Clases
Muy Alta	36 - 31	4
Alta	30 - 24	3
Moderada	23 - 17	2
Baja	16 - 9	1

Tabla 20: Escala de categorización de *ICS*.

A continuación, se presenta el mapa de Calidad de Suelos de la Provincia de Neuquén:

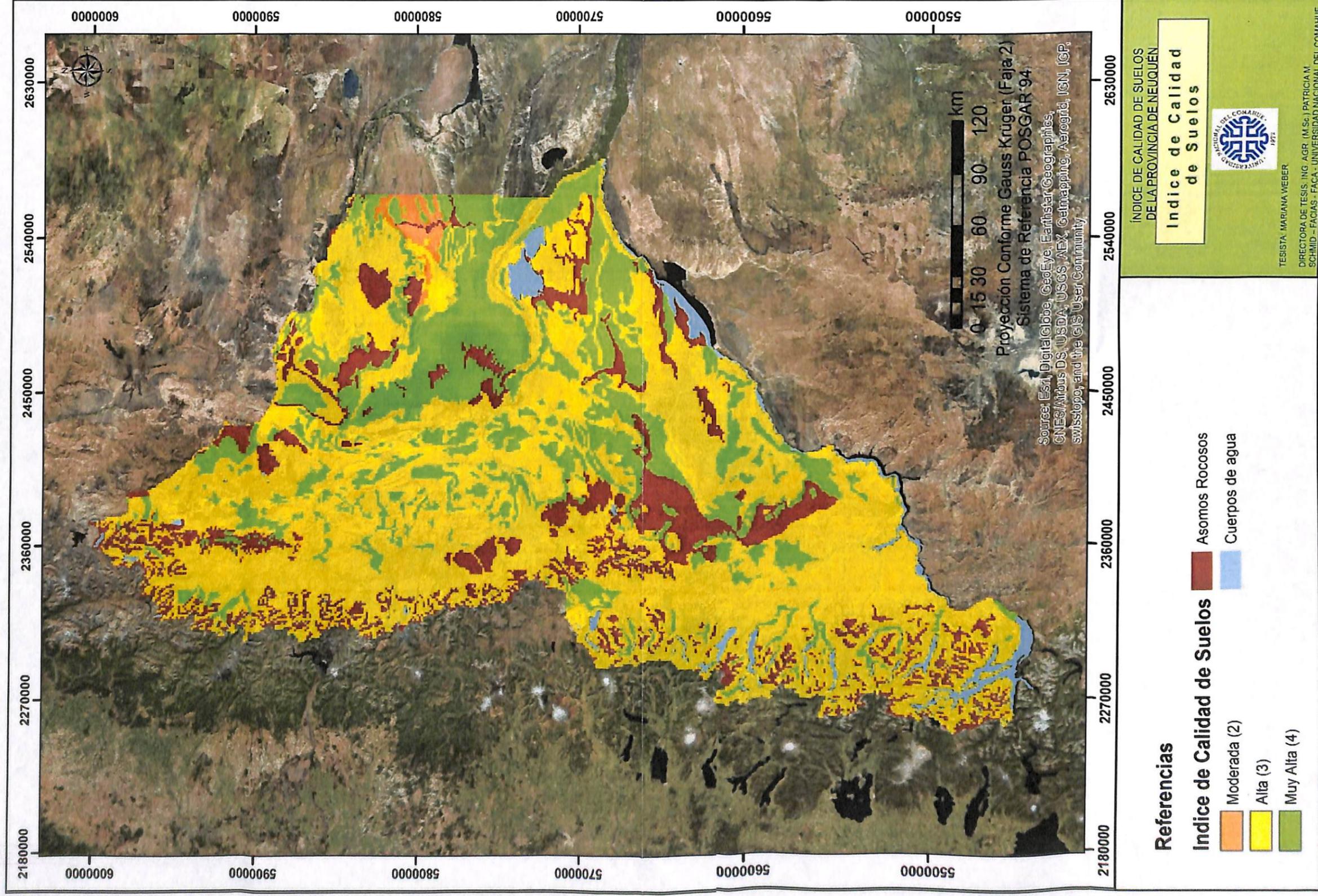


Figura 30: Mapa de Calidad de Suelos.

La calidad de los suelos en la provincia de Neuquén varía desde moderada a muy alta.

La calidad muy alta con una superficie de 20.955 km² se distribuye desde el centro hacia el este en la provincia de Neuquén. Le corresponden las unidades cartográficas N° 5, 12, 15, 17, 26, 27, 30, 37, 40, 42, 43, 47, 48, 51, 54, 55, 57, 58, 59, 66.

La calidad alta ocupa la mayor extensión de superficie con 55.825km², dominando en el sector centro - oeste de la provincia de Neuquén. Le corresponden las unidades cartográficas N° 1-4, 6, 7, 9-11, 13, 14, 16, 18-25, 28, 29, 31-33, 36, 38, 39, 41, 44-46, 49, 50, 53, 56, 60-65, 67.

La calidad moderada representa la menor superficie -850 km²-, el *ICS* más bajo obtenido le corresponde a la unidad N° 52.

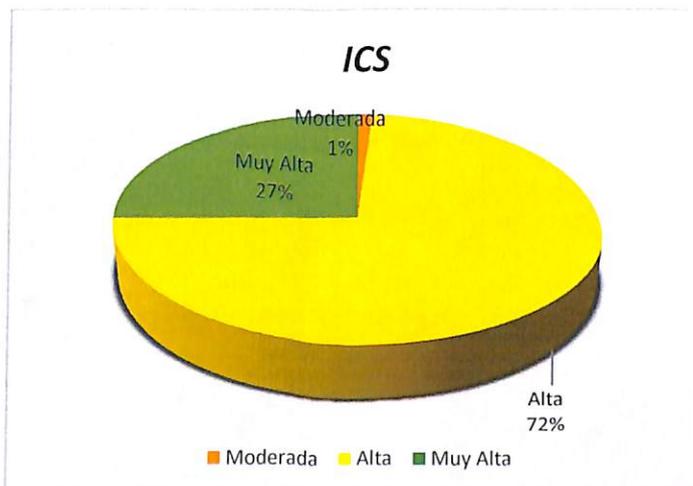


Figura 31: Distribución del *ICS* en la provincia de Neuquén.

El índice de calidad de suelos para la provincia de Neuquén presenta resultados muy promisorios, pues las unidades con calidad alta de suelo ocupan la mayor extensión de superficie, representando por el 72 % de la superficie. Nótese que solo el 1 % corresponde a calidad moderada.

En el siguiente mapa se muestra la distribución de la calidad del suelo dentro de cada Subregión natural.

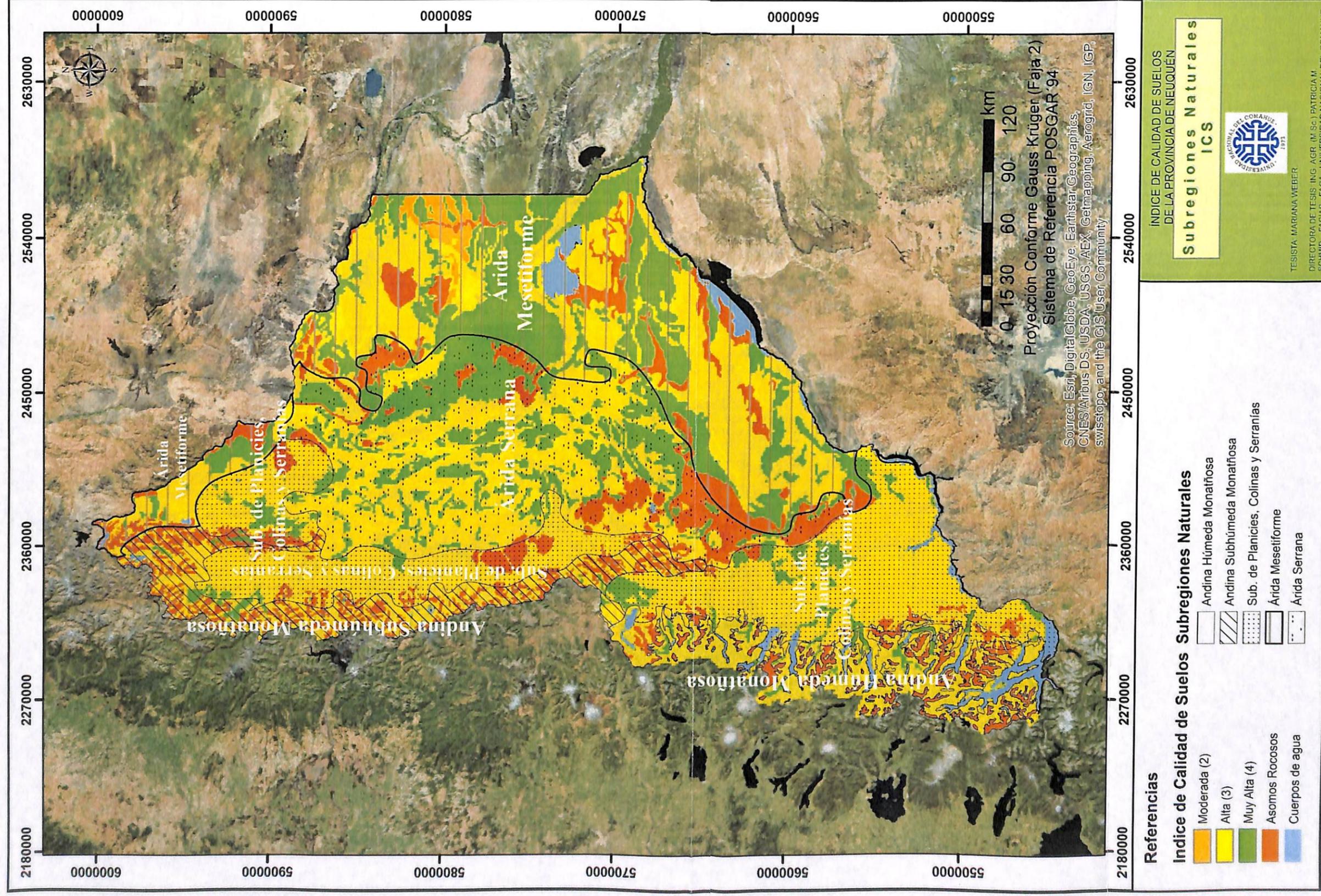


Figura 32: Distribución de la calidad de los suelos en las Subregiones Naturales.

Podríamos decir que hay una estrecha relación entre las regiones y subregiones naturales y la calidad de sus suelos.

Si comparamos entre las dos grandes regiones naturales de la provincia, se aprecia en ambas el dominio del *ICS* alto, con un apreciable aumento del *ICS* muy alto hacia el este, del 5% en la Región Andina al 31% en la Región Extra Andina (Figura 33 y Figura 34).

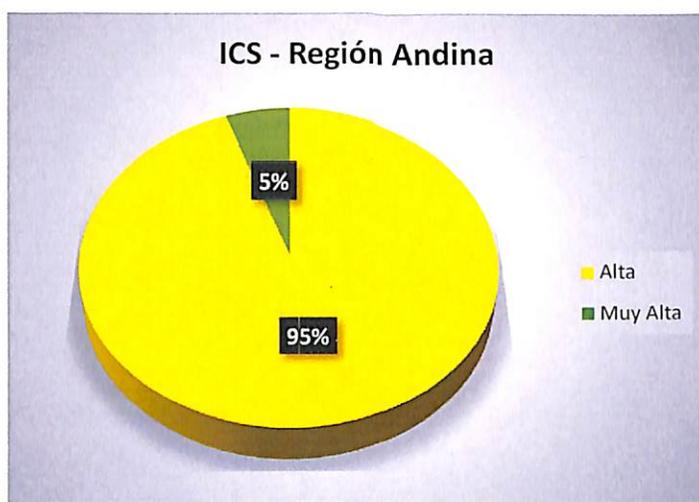


Figura 33: Distribución de la calidad de los suelos en la Región Andina.

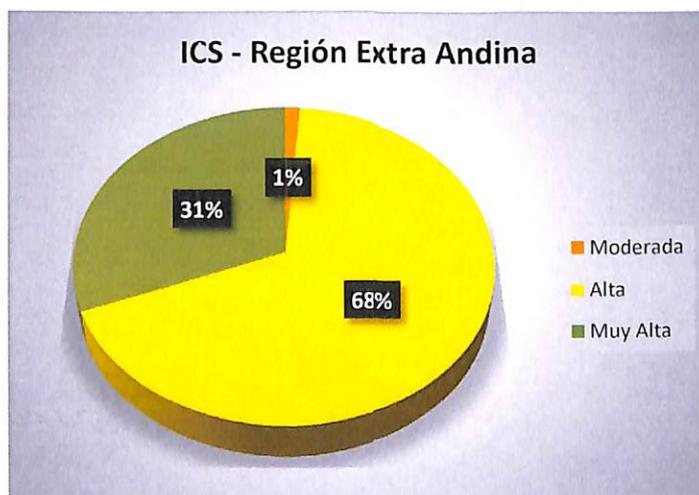


Figura 34: Distribución de la calidad de los suelos en la Región Extra Andina.

Si realizamos la comparación de la variación del *ICS* por subregiones naturales observamos lo siguiente:

En la Subregión Andina Húmeda Montañosa se observa el predominio (98%) de suelos con calidad alta, sólo el 2% posee un *ICS* muy alto (Figura 35).

Los indicadores que determinan la calificación del *ICS* como muy alto son su escasa pedregosidad, baja pendiente, alta profundidad efectiva y buena clase natural de drenaje.

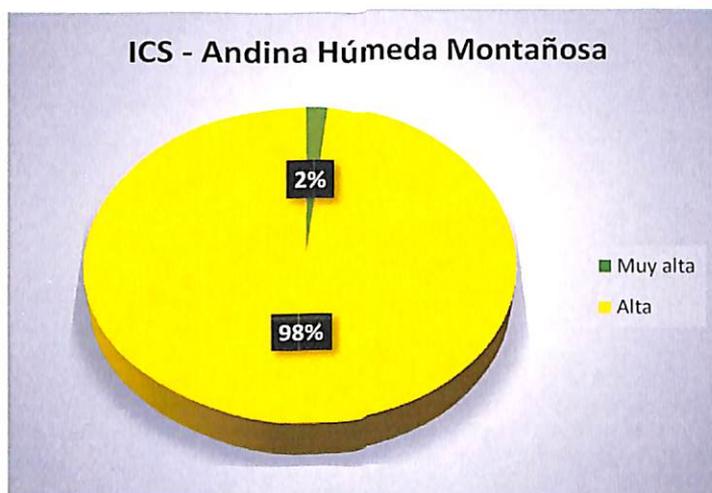


Figura 35: Distribución de la calidad de los suelos en la Subregión Andina Húmeda Montañosa.

En la Subregión Andina Subhúmeda Montañosa también se observa el predominio de suelos con calidad alta (94%) con un incremento de suelos de calidad muy alta en relación a la Andina Húmeda Montañosa (*ICS* de 2 al 6 %) (Figura 36).

Los indicadores que posibilitan la diferenciación del *ICS* muy alto son, en primer lugar la escasa pendiente, incidiendo luego la mayor profundidad efectiva y la menor pedregosidad.

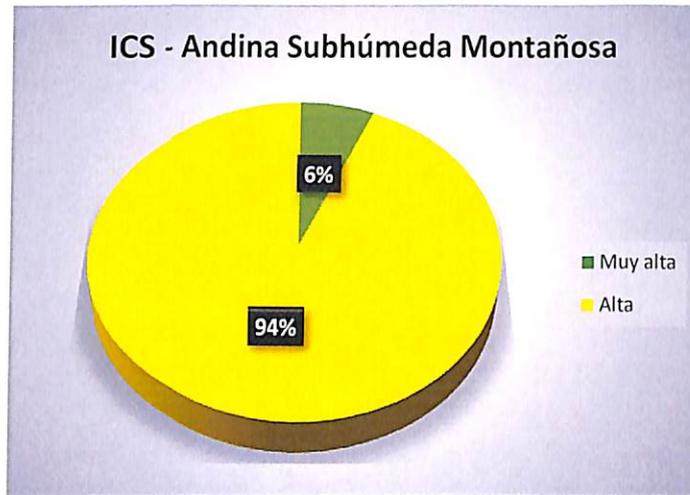


Figura 36: Distribución de la calidad de los suelos en la Subregión Andina Subhúmeda Montañosa.

En la Subregión Subhúmeda de Planicies, Colinas y Serranías la mayoría de los suelos son de calidad alta, con un mayor porcentaje de *ICS* (10%) muy alta en comparación con las subregiones mencionadas anteriormente (Figura 37).

El indicador que posibilita la diferenciación entre *ICS* muy alto y alto es, en primer lugar, la pendiente. Luego, con una incidencia mucho menor podemos mencionar la pedregosidad, la profundidad efectiva y la materia orgánica.

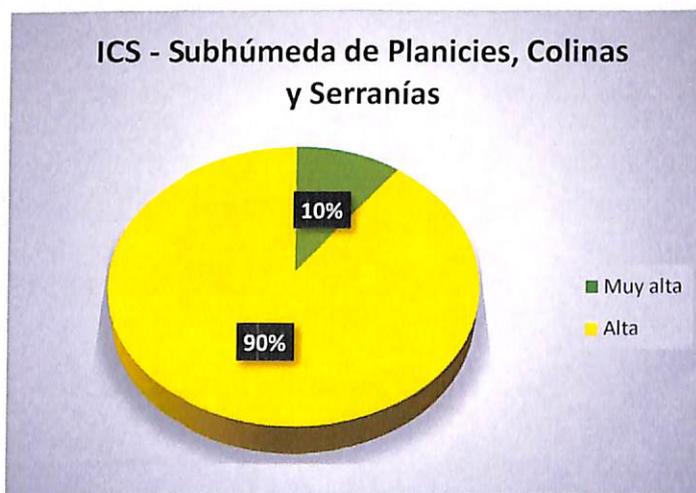


Figura 37: Distribución de la calidad de los suelos en la Subregión Subhúmeda de Planicies, Colinas y Serranías.

En la Subregión Árida Serrana predominan suelos con *ICS* alta, siendo mayor el incremento de *ICS* muy alta (37%), en comparación a las subregiones anteriormente citadas (Figura 38).

El indicador que mayor incidencia tiene en la diferenciación entre *ICS* es la pendiente, menor para los *ICS* muy altos.

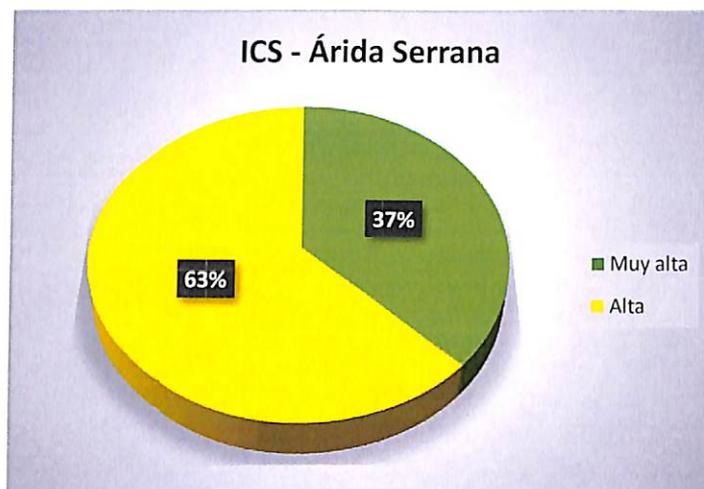


Figura 38: Distribución de la calidad de los suelos en la Subregión Árida Serrana.

En la Subregión Árida Mesetiforme el *ICS* alto sigue en disminución (56%) y el *ICS* muy alto continúa aumentando respecto de las zonas anteriormente mencionadas (41%). Aquí aparecen también suelos con *ICS* moderado pero su representatividad es muy pequeña (Figura 39).

Aquí las diferencias entre los indicadores del *ICS* muy alto versus el *ICS* alto no son muy marcadas, aunque el orden queda establecido por la pendiente y la profundidad efectiva, siguiendo el PSI.

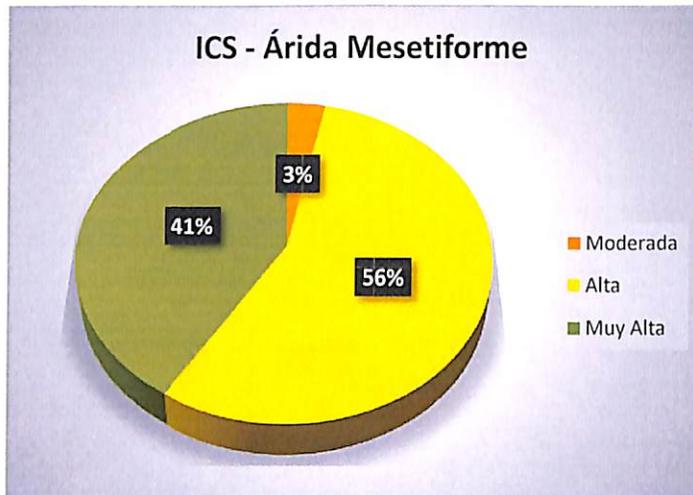


Figura 39: Distribución de la calidad de los suelos en la Subregión Árida Mesetiforme.

CONCLUSIONES

Los indicadores de calidad del suelo permitieron analizar la situación actual identificando las zonas más y menos favorables de la provincia. En este trabajo se seleccionaron nueve indicadores, representativos de sus propiedades químicas y físicas.

Los indicadores químicos seleccionados son: conductividad eléctrica, porcentaje de sodio intercambiable, pH y materia orgánica. Los indicadores físicos son: pedregosidad, pendiente, profundidad efectiva y clase natural de drenaje.

La conductividad eléctrica presenta calidad muy alta en el 95,7 % de la superficie, alta en el 1,5 %, moderada en el 1,8 % y baja en el 0,9 %.

El PSI presenta calidad muy alta en el 78,2 % de la superficie neuquina, alta en el 20,2% y sólo el 1,6 % como una calidad baja. La calidad moderada no se presenta en este indicador.

El pH presenta suelos de muy alta calidad en el 20,28 % de la superficie provincial, alta en el 57,82 %, moderada en el 15,67 % y baja en el 6,22 %.

La materia orgánica posee calidad muy alta en el 10 % de la superficie provincial, alta en el 3%, moderada en el 32 % y el mayor porcentaje de 55 % corresponde a suelos con calidad baja.

La clase natural de drenaje es predominantemente muy alta su calidad en un 85 %, alta en el 12 %, moderada en el 3 % y no se encuentran unidades cartográficas con calidad baja.

La pedregosidad presenta una calidad muy alta en un 73 % de la superficie neuquina, alta en un 19 % y moderada en un 8 %; no se presentan calidad baja de pedregosidad.

La pendiente posee una calidad muy alta en la mayoría de los suelos de la provincia de Neuquén correspondiéndole el 55%, alta en un 6 %, moderada en un 17 % y le corresponde una calidad baja del 22%.

La profundidad efectiva posee una calidad muy alta en el 53 % de la superficie provincia, alta en el 40 %, moderada en el 6 % y baja en el 1 %.

La clase textural presenta suelos de calidad muy alta sólo en un 2 % de la superficie neuquina, siendo predominantemente alta con un 77 %, moderada en un 13 % y baja en un 8%.

El Índice de Calidad de Suelos (*ICS*) se obtuvo en base a la sumatoria de los indicadores. En la provincia de Neuquén el *ICS* presenta una calidad alta en el 72 % de la superficie, muy alta en el 27 % y moderada en el 1 % del área.

El *ICS* por subregiones naturales estableció los siguientes resultados:

En la Subregión Andina Húmeda Montañosa el 98% del área posee *ICS* alto y el 2% *ICS* muy alto. Los indicadores que determinan la calificación del *ICS* como muy alto son su escasa pedregosidad, baja pendiente, alta profundidad efectiva y buena clase natural de drenaje.

En la Subregión Andina Subhúmeda Montañosa el 94% del área posee *ICS* alto y el 6 % *ICS* muy alto. Los indicadores que posibilitan la diferenciación del *ICS* muy alto son, en primer lugar, la escasa pendiente, luego la mayor profundidad efectiva y la menor pedregosidad.

En la Subregión Subhúmeda de Planicies, Colinas y Serranías el 90% del área posee *ICS* alto y el 10 % *ICS* muy alto. El indicador que posibilita la diferencia entre *ICS* muy alto y alto es en orden de importancia la pendiente, la pedregosidad y la profundidad efectiva.

En la Subregión Árida Serrana el 63 % del área posee *ICS* alto y el 37 % *ICS* muy alto. El indicador que mayor incidencia tiene en la diferenciación entre *ICS* es la pendiente, menor para los *ICS* muy altos.

En la Subregión Árida Mesetiforme el 56 % del área posee *ICS* alto, el 41 % *ICS* muy alto y el 3% *ICS* moderado. Las diferencias entre los indicadores del *ICS* muy alto y alto no son muy marcadas. El orden queda establecido por la pendiente y la profundidad efectiva, siguiendo el PSI.

La metodología empleada para la determinación del índice de calidad del suelo (ICS) resultó adecuada, debido a que el sistema de información geográfica (SIG) utilizado permitió reflejar la variación de los indicadores.

La selección de set mínimo de indicadores del suelo permitió elaborar un Índice de Calidad de Suelos (ICS) confiable para la provincia del Neuquén. Por lo tanto, podemos validar la hipótesis planteada en este trabajo.

Los resultados de este trabajo permiten afirmar que el Índice de calidad de suelos de la provincia de Neuquén puede ser considerado una herramienta para la gestión ambiental pues permite evaluar la sustentabilidad ecológica de los diversos ecosistemas (regiones naturales).

RECOMENDACIONES

Este trabajo constituye una base para evaluar la calidad de los suelos de la provincia de Neuquén. Se recomienda que a partir de estos resultados realizar análisis más exhaustivos sobre la influencia de las propiedades de suelos que resultaron más influyentes sobre la calidad, así como la incorporación de otras propiedades del suelo que no se consideraron.

La incorporación de un Índice de calidad de suelo integraría un valioso aporte a los estudios de impacto ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- Adriaanse, A. (1993). Environmental Policy Performance Indicators. A Study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherlands. Sdu Uitgeverij Koninginnergrach, The Netherlands.
- Apcarián, C., Aruani, P., Schmid, P., Broquen, P., Imbellone. (2002). "Prácticas de rehabilitación de Ardisoles y Entisoles del norte de Patagonia afectados por la apertura de líneas sísmicas", Ciencia del Suelo, Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Argentina, I.S.S.N.: 0326-3169, pág 88-97.
- Arshad, M.A. y Coen, G.M. (1992). Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. American J. of Alternative Agriculture 7: 25-31.
- Aruani, M. C., Gili, P., Azpilicueta, C., y Reeb, P. (2013). Actividad biológica en horizontes superficiales de suelos implantados con pera cv. Williams en Alto Valle de Río Negro, Argentina. Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia , 29(1), 45-57.
- Astier, M. (2002). El efecto de las leguminosas en el mejoramiento de la calidad del suelo de ando en sistemas agrícolas de ladera en la cuenca del lago de Zirahuén. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 178pp.
- Astier-Calderón M., Maass-Moreno M. y Etchevers-Barra J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. Agrociencia 36(5): 605-620.
- Azpilicueta, C., Aruani, M. C., y Chaves, E. (2011). Relación entre la nematofauna y la historia de manejo del suelo en huertos frutícolas. Agro Sur, 39 (1), 13-23.
- Barberis, L. A, (1982). Guía de reconocimiento de suelos en campaña.
- Bautista-Cruz, A., Etchevers-Barra, J., Castillo, R.F., y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. Ecosistemas 13 (2): 90-97.
- Blum, W.E.H., y Santelises, A.A. (1994). A concept of sustainability and resilience based on soil functions. Pp. 535-542. In: DJ Greenland y I Szboles

(ed.). Soil Resilience and Sustainable Land use CAB Int., Wallingford, Oxon, UK.

- Brito, R.J. (2005). Indicadores de qualidade do solo em ambiente de tabuleiros costeiros na região norte fluminense, RJ. Tesis doctoral. Universidad Federal Rural de Río de Janeiro. Brasil.
- Campitelli, P., Aoki, A., Gudelj, O., Rubenacker, A., y Sereno, R. (2010). Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia del suelo*, 28(2), 7pp.
- Cantú, M.P., Becker, A. R., Bedano, J.C., Musso, T.B., y Schiavo, H.F. (2007). Evaluación de la calidad ambiental y calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencia del suelo*, 25 (2), 173-178.
- Cantú, M.P., Becker, A.R., Bedano, J.C., y Schiavo, H.F. (2001). Indicadores e Índices de degradación de suelos en la región central templada húmeda a subhúmeda de la República Argentina. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. CD. Trabajo VII-15, 4 pp.
- Cantú, M.P., Becker, A.R., y Bedano, J.C. (2003). Aplicación del modelo Presión Estado y Respuesta (PSR) para evaluar la calidad ambiental en la región central de Argentina. *Medio Ambiente Siglo XXI (MAS XXI)* CD. Editorial Feijóo. 8 pp.
- Cervera-Añón, J. (2007). Calidad del suelo. Metodología del modelo. Consultado el 26 de Agosto de 2014, en <http://www.vitoria-gasteiz.org/wb021/http/contenidosEstaticos/adjuntos/es/79/34/37934.pdf>.
- Civeira, G., Paladino, I., Irigoien, J. (2003). Indicadores de calidad de suelos en distintas series de la región pampeana. Consultado el 2 de Marzo del 2014, en http://inta.gob.ar/documentos/indicadores-de-calidad-de-suelos-en-distintas-series-de-la-region-pampeana/at_multi_download/file/IndicadoresRegPam.pdf.
- Dalurzo, H., Gonzalez, R., Vázquez, S. (2011). Indicadores de calidad de suelos del sur de la provincia de Misiones. Consultado el 21 de Agosto de 2014, en

<http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2003/comunicaciones/05-Agrarias/A-057.pdf>

- Dalurzo, H., Toledo, D., Vázquez, S. (2005). Estimación de parámetros químicos y biológicos en oxisoles con uso citrícola. *Ciencia del suelo*, 23(2), 159-165.
- Dávila, M., Mora, A., Marquez, O., Lugo, L., y Peña, C. (2009). Evaluación de dos sistemas silvopastoriles mediante indicadores de calidad de suelo. *El vigía*, Estado Mérida. *Revista Agricultura Andina*, 17 (1), 19-36.
- De Graaff, J. (1993). *Soil conservation and sustainable land use. An economic approach*. Royal Tropical Institute. Amsterdam. The Netherlands.
- Del Brío, Josefina y Schmid Patricia. (2013). "Variabilidad de las propiedades de los suelos de mallines ubicados a lo largo de un gradiente de precipitación E-O". I Jornadas de Investigación y Extensión FACIAS. Neuquén, 18/10/13. Trabajo completo Publicado en CD.
- Doran, J.W., y Parkin, T.B. (1994). *Defining and Assesing Soil Quality*. SSSA Special Publication Number 35. Madison, Wisconsin, USA. 3-21p.
- Duarte, R. (1990). Contribución del representante y jefe de la misión diplomática de la FAO en México al Primer Simposium Nacional sobre Degradación de Suelos. pp. 97-103. In: *Memorias del Simposium*. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Eiden G. (1995). Aspectos metodológicos de la percepción de fenómenos geoecológicos de la desertificación mediante métodos de teledetección en: *Lucha contra la desertificación en la Patagonia a través de un Sistema de Monitoreo Ecológico (LUDEPA-SME)*. Proyecto INTA – GTZ. Pág. 56 a 64.
- Etchevers J., Hidalgo C., Vergara M., Bautista M. y Padilla J. (2009). Calidad de suelo: conceptos, indicadores y aplicación en agricultura. En: López-Blanco J. y Rodríguez-Gamiño M. de L. 2009. *Desarrollo de indicadores ambientales y de sustentabilidad en México*. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México UNAM Colección Geografía para el siglo XXI. Serie Libros de Investigación, No. 3. 196 p.
- Febles, J. M., Vega, M. B., Febles Pérez, G., Tolón, A., y Jerez, L. (2008). *Indicadores agroambientales de sostenibilidad para caracterizar la erosión*

de los suelos en regiones cársicas de uso ganadero. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 42 (4), 423-429.

- Fernandes, C. (2008). Evaluación de la calidad del suelo en las zonas de cacao cabruca, mata y el policultivo en Bahía sur. Tesis de Maestría. Univerisidad Estatal de Santa Cruz. Brasil.
- Fernández C., Aramayo V., Elosegui F., Schmid P., Gandullo R. (2012). "La biodiversidad como indicador de sustentabilidad en humedales "mallines" de la provincia de Neuquén". I Congreso Santafesino de Agroecología, U. N. Rosario, Pcia de Santa Fé. 4-6 Julio 2012. Resumen en actas.
- Ferrer, J.A.; J. M. Mendía y J. Irisarri. (2006). Suelos de la Provincia de Neuquén. Neuquén, INTA-CFI.
- Ferrer, J.A.; J. M. Mendía y J. Irisarri. (1990). Estudio Regional de Suelos de la Provincia de Neuquén, Vol. 1, Tomos 1 a 4. Consejo Federal de Inversiones. Buenos Aires. 543 pp
- Ferrer, J. y Ourracariet, G. (1989). Anteproyecto preliminar para el desarrollo del área de riego de Michihuao. Neuquén: s.n.
- Font, F., Chaveli, P., Calero B., Muñiz, O., Curbelo, R., González, M., y Marrero, J. O. (2004). Calidad del suelo y sostenibilidad agrícola. Métodos de Estimación. Obtenida el 15 de abril de 2014, de http://cagricola.uclv.edu.cu/index.php?option=com_contentyview=articleid=81yItemid=98
- Gandullo R., Fernández C., Schmid P. y Giménez, G. (2013) "Efectos de la variación ambiental de la flora, vegetación y productividad de los humedales (mallines) de la Provincia de Neuquén, Argentina. VI Congreso Nacional, III Congreso del Mercosur, II Jornada Técnica de productores para el Manejo de Pastizales Naturales. Santa Rosa, La Pampa, Abril de 2013.
- Gandullo, R. y Schmid, P. (2001). "Análisis ecológico de los mallines del Parque Provincial Copahue, Neuquen". *Agro Sur* (29): 83–99. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Chile, ISSN 0304-8802.
- George, A. (2006). Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional en Turrialba, Costa Rica. Tesis de

posgrado. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Costa Rica.

- Holzmann, R. L. (2010). Desarrollo y evaluación de un índice de calidad de suelo en montes de pera manejados bajo dos sistemas de producción, convencional y orgánico, en el Alto Valle de Río Negro. Tesis de Grado. Universidad Nacional del Comahue, Argentina.
- Hünнемeyer, J.A., De Camino, R. y Müller, S. (1997). Análisis del desarrollo sostenible en centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales. IICA/GTZ. San José, Costa Rica.
- INTA – GTZ – Prodesar. (1995). Lucha contra la desertificación en la Patagonia. Evaluación del estado actual de la desertificación en áreas representativas de la Patagonia: Informe final de la fase I. Río Gallegos, Trelew, Puerto Madryn, Bariloche. 182 pp.
- Irisarri, J. y López Cepero, E. G. (1980). Los suelos del departamento de Minas. Neuquén: s.n.
- Irisarri, J. (1978). Relevamiento de suelos de la Comarca Moquehue. Cinco Saltos: s.n.
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.C., Harris, R.F., y Schuman, G.E. (1996). Soil Quality; concept, rationale and Research Needs. Soil Science Society of America, Committee.
- Lal, R. (1993). Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, and sustainability. *Soil and Tillage Research*. 27:1-8.
- Larson, W.E. y Pierce, F.J. (1991). Conservation and Enhancement of Soil Quality. In *Evaluation for sustainable land management in the developing world*. En Proc. of the Int. Work-shop on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, Chiang Rai. pp. 175-203. 15-21 Sept. 1991. Int. Board of Soil Res. and Manage., Bangkok, Thailand.
- Laya, H. (1981). Estudio de Suelos a nivel de reconocimiento con fines de riego en 43 áreas preseleccionadas, Consejo Federal de Inversiones - Facultad de Ciencias Agrarias (U.N. del Comahue), Cinco Saltos.

- Leff. E. (2002) "Globalización, ambiente y sustentabilidad" Cap. en Saber Ambiental: sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder. P. 17-30. México: Siglo XXI Editores s.a de c.v.
- López, J.A. (2006). Manual de Edafología. Departamento de Cristalografía, Minerología y Química. Agrícola de Universidad de Sevilla. España.
- Lutens, A. y Salazar Lea Plaza, J. (2000). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo, Argentina: Instituto de Suelos.
- Nortcliff S. (2002). Standardisation of soil quality attributes. Agriculture, Ecosystems and Environment 88: 161-168.
- Novo, M. (2003). El desarrollo sostenible: sus implicaciones en los procesos de cambio. Fundación Universidad-Empresa, Madrid.
- OECD. (1991). Environmental Indicators: A preliminary Set, OCDE, Paris.
- Pablo, L.T. (2012). La calidad de los suelos del Municipio Minero de Natividad, Oaxaca. Tesis de Postgrado. Universidad de la Sierra, Juárez. México.
- Prieto-Méndez, J., Prieto-García, F., Acevedo-Sandoval, O.A., Méndez-Marzo, M.A. (2013). Indicadores e índices de calidad de los suelos (ICS) cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México. Agronomía mesoamericana, 24(1), 83-91.
- Pulido-Fernández, M., Schnabel, S., y Lavado-Contador, J.F. (2013). Evaluación de la calidad del suelo en dehesas y pastizales del suroeste de España. Grupo de Investigación GeoAmbiental, Universidad de Extremadura. España.
- Rodríguez, N., Florentino, A., Torres, D., Yendis, H., y Zamora, F. (2009). Selección de indicadores de calidad de suelo en tres tipos de uso de la tierra en la planicie de Coro estado Falcón. Revista Facultad de Agronomía (LUZ), 26(1), 346-361.
- Rubiano, Y., Amézquita, E., y Beaulieu, N. (2005). Sistema georreferenciado de indicadores de calidad de suelos para los Llanos Orientales de Colombia. Consultado el 23 de Marzo de 2014, en www.bidigital.unal.edu.co/13071/2/112-1031-2-PB.pdf

- Sánchez, A.C., Cairo, P.C., Armas, J.M, González, Y.R., Artilles, P.T. (2010). Selección de Indicadores de calidad de un suelo ferralítico Rojo (Oxisol) de la región central de Cuba. *Centro Agrícola*, 37(3), 73-82.
- Scarascia M., G.T. (1996). Ethics of biodiversity conservation. pp. 622-629. In: *Biodiversity, science and development*. CAB•International, Cambridge, UK.
- Schmid, P., M. Riquelmes y Gandullo, R. (2008). "Estado de desertificación del Area Natural Protegida Ecosistema del Monte frente al crecimiento urbano". *Actas XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Potrero de los Funes, San Luis, Argentina. ISBN 978-987-9260-61-6 Resumen en actas, pág. 323 y trabajo completo en C.D. 7 pp.
- Schmid, P., Gandullo, R. y Bochi, H. (2013). "Indicadores e Indices para determinar el estado de conservación de humedales "mallines" en la Provincia del Neuquén". VI Congreso Nacional, III Congreso del Mercosur y II Jornad técnica de Productores "Los pastizales y el Hombre". Santa Rosa, La Pampa, Abril 2013. Resumen Publicado en actas, pag. 143.
- Schmid, P., del Brió, J., Bocci, H. (2014). Indicadores del proceso de hidromorfismo en toposecuencias de la Provincia del Neuquén. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca, 5 al 9 de Mayo 2014. Resumen y trabajo completo en www.xxivcongresodesuelo.org.ar
- Segueda-Navarrete, N., Correa-Vela, G., Blanco-López, J., y Gamiño-Rodríguez, M. de L. (2011). Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. Consultado el 27 de abril de 2014, <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n80ne/suelo.pdf>
- Seybold, C.A., Mausbach, M.J., Karlen, D.L. y Rogers, H.H. (1997). Quantification of Soil Quality. En *Soil Process and the Carbon Cycle* (eds.
- Soil Survey Staff. (1993). *Soil survey manual*. United State Department of Agriculture. Hnbk no. 18. U.S. gov. Printing Office, Washington, DC
- SQI-Soil Quality Institute. (1996). *Indicators for Soil Quality Evaluation*. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA.

- Torres, D., Florentino, A., y López, M. (2006). Indicadores e índices de calidad del suelo en un ultisol bajo diferentes prácticas de manejo conservacionista en Guárico, Venezuela. *Revista Bioagro*, 18(2), 83-91.
- Urricariet, S., Lavado, R.S. (1999). Indicadores de deterioro en suelos de la pampa ondulada. *Ciencia del suelo*, 17(1), 37-44.
- Warkentin, B.P. (1996). Overview of soil quality indicators. Pp. 1-13. In: GM Cohen y HS Vanderpluym (eds.). *Proc. Soil Quality Assessment for the Prairies*, Agric. Canada, Edmonton.

ANEXO

1.1 Clasificación de Clase Natural de Drenaje

-Clase 0: Muy escasamente drenado: el agua es eliminada del suelo tan lentamente que la capa freática permanece en la superficie o sobre ésta la mayor parte del tiempo. Los suelos de esta clase de drenaje en general ocupan lugares llanos o deprimidos y están frecuentemente encharcados.

-Clase 1: Escasamente drenado: el agua es eliminada tan lentamente que el suelo permanece mojado por largos períodos de tiempo. La capa freática está generalmente en superficie o cerca de ésta durante una parte considerable del año. El escaso drenaje es debido a una capa freática alta, a una capa de permeabilidad lenta en el perfil, a infiltración, o a una combinación de tales condiciones.

-Clase 2: Imperfectamente drenado: el agua es eliminada del suelo con lentitud suficiente para mantenerlo mojado períodos o muy apreciables de tiempo, pero no todo el tiempo. Los suelos imperfectamente drenados generalmente contienen una capa de permeabilidad lenta en el perfil; su capa freática es alta, reciben agua de infiltración, o presentan una combinación de tales condiciones.

-Clase 3: Moderadamente bien drenado: el agua se elimina del suelo con cierta lentitud, de modo que el perfil permanece mojado durante períodos cortos pero apreciables. Los suelos moderadamente bien drenados generalmente tienen una capa de permeabilidad lenta en el solum, o inmediatamente por debajo, una capa freática relativamente elevada; reciben agua de infiltración o presentan alguna combinación de tales condiciones.

-Clase 4: Bien drenados: el agua es eliminada del suelo con facilidad, pero no rápidamente. Los suelos bien drenados generalmente retienen óptimas cantidades de humedad para el crecimiento de las plantas después de las lluvias o el riego.

-Clase 5: Algo excesivamente drenado: el agua se elimina del suelo rápidamente. Muchos de estos suelos tienen poca diferenciación de horizontes y son, arenosos y muy porosos.

-Clase 6: Excesivamente drenado: el agua es eliminada del suelo muy rápidamente. Los suelos con drenaje excesivo son generalmente litosoles o litosólicos y pueden ser escarpados, muy porosos o ambas cosas. Soil Survey Staff. (1993).

1.2 Clasificación de Pedregosidad

Clasificación según Barberis (1982):

- Libre a Ligeramente Pedregoso: No interfiere con la labranza. Las piedras o pedregones cubren entre 0.01 y 0.1% de la superficie. Las piedras ocasionales se encuentran a distanciamientos mayores a 20 cm.
- Moderadamente Pedregoso: presencia de piedras que dificultan la labranza. Requieren labores de desempiedro para cultivos transitorios. Las piedras o pedregones cubren entre el 0.1 y 3% de la superficie. las piedras se distancian entre 3 y 20 m.
- Pedregoso: presencia de piedras en cantidad suficiente para impedir cultivos transitorios, pero permiten la siembra de cultivos perennes. Las piedras o pedregones cubren entre el 3 y 15% de la superficie. las piedras se distancian entre 1 m. y 3 m.
- Muy Pedregoso: presencia de piedras en cantidad suficiente para impedir toda posibilidad de cultivo económico, pero permite el pastoreo o extracción de madera. Las piedras o pedregones cubren entre el 15 y 50% de la superficie. las piedras se distancian entre 0.5 y 1 m.
- Extremadamente Pedregoso: presencia de piedras en cantidad suficiente para impedir todo uso económico inclusive ganadero y producción forestal. Las piedras y pedregones cubren entre 50 y 90% de la superficie. Las piedras se distancian menos de 0.5 m.

Clasificación según Soil Taxonomy:

Forma y tamaño de fragmentos gruesos (esférico cúbico)	Nombre
2-75 mm	Grava
2-5 mm	Grava fina
5-20 mm	Grava media
20-75 mm	Grava gruesa
75-250 mm	Guijarro
250-600 mm	Piedra
>600 mm	Canto rodado

Tabla 21: Clasificación de Pedregosidad. Fuente: Soil Taxonomy.

1.3 Unidades cartográficas

Unidad Cartográfica	Dominante / Subordinado	Area %	pH	Materia Orgánica (%)	Clase Textural	Ce (mmohs/cm)	PSI %	Clase natural de drenaje	Profundidad (cm)	Pendiente	Pedregosidad superficial
1	Hapludantes vitricos/	50	5,25	3,23	Franco arenoso	0,00	2,72	Bien drenado	127,00	Escarpada	Granuloso a guijoso
	Fulvudandes típicos	50	5,10	16,34	Franco arenoso	0,00	0,94	Bien drenado	92,00	Escarpada	Granuloso guijaroso
2	Hapludantes vitricos con lapilli/	50	5,00	8,51	Franco	0,00	0,36	Bien drenado a Algo excesivamente drenado	62,00	Escarpada	Granuloso a guijoso
	Fulvudandes típicos con lapilli	50	5,25	12,38	Franco arenoso	0,00	0,91	Bien drenado	125,00	Escarpada	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
3	Udivitrandes típicos /	60	5,00	7,84	Franco arenoso	0,00	1,42	Bien drenado	94,00	Escarpada	Moderada/ Granuloso a guijoso
	Udivitrandes tápticos	40	4,85	2,76	Franco arenoso	0,00	2,70	Bien drenado	92,00	Escarpada	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
4	Udivitrandes típicos con lapilli /	60	5,00	7,84	Franco arenoso	0,00	1,42	Bien drenado	94,00	Escarpada	Moderada/ Granuloso a guijoso
	Udivitrandes tápticos con lapilli	40	5,20	8,75	Franco	0,00	0,55		8,00	Ligeramente inclinada	Pedregoso
5	Udivitrandes tápticos/	60	5,25	12,38	Franco arenoso	0,00	0,91	Bien drenado	125,00	Plana	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
	Udivitrandes típicos	40	5,00	7,84	Franco arenoso	0,00	1,42	Bien drenado	94,00	Plana	Moderada/ Granuloso a guijoso
6	Udivitrandes tápticos/	60	5,65	15,22	Franco arenoso	0,00	0,47	Algo excesivamente drenado a excesivamente drenados	29,00	Suavemente Ondulada	Moderado
	Udivitrandes típicos	40	5,00	7,84	Franco arenoso	0,00	1,42	Bien drenado	94,00	Suavemente Ondulada	Moderada/ Granuloso a guijoso
7	Udivitrandes tápticos con lapilli/	60	5,65	15,22	Franco arenosos	0,00	0,47	Algo excesivamente drenado a excesivamente drenados	29,00	Suavemente Ondulada	Moderado
	Udivitrandes típicos con lapilli	40	5,00	10,75	Franco arenoso a Franco limoso	0,00	1,32		49,00	Suavemente Ondulada	Moderado
9	Vitrikerandes típicos /	60	5,40	10,90	Franco arenosa	0,00	1,81	Bien drenado	70,00	Fuertemente inclinada	Moderado
	Vitrikerandes mólicos.	40	5,25	12,38	Franco arenoso	0,00	0,91	Bien drenado	125,00	Fuertemente inclinada	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
10	Vitrikerandes típicos con lapilli /	60	5,40	10,90	Franco arenosa a areno franca	0,00	1,81	Bien drenado	70,00	Fuertemente inclinada	Abundantes fragmentos gruesos
	Vitrikerandes mólicos con lapilli	40	5,25	12,38	Franco arenoso	0,00	0,91	Bien drenado	125,00	Fuertemente inclinada	Abundante fragmentos gruesos
11	Vitrikerandes mólicos/	60	6,20	1,67	Franco arenoso	0,00	4,54	Bien drenado	40,00	Plano a moderadamente inclinado	Moderado
	Vitrikerandes típicos	40	5,45	1,83	Franco	0,00	0,55		20,00	Plano	Moderado
12	Haploxerandes típicos	60	4,85	2,76	Franco arenoso	0,00	2,70	Bien drenado	92,00	Plano	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
	Haploxeroles vitrándicos	40	6,15	2,37	Areno franco	0,00	3,44	Bien drenado a algo excesivamente drenado	120,00	Plano	Pedregoso
13	Vitrikerandes mólicos/	60	5,25	2,38	Franco arenoso	0,00	0,91	Bien drenado	125,00	Fuertemente inclinada	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
	Haploxerandes típicos	40	4,85	2,76	Franco arenoso	0,00	2,70	Bien drenado	92,00	Plano a fuertemente inclinado	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
14	Xerortentes típicos	50	5,75	2,75	Franco arenoso	0,00	2,05	Bien drenado	124,00	Plano a fuertemente inclinado	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
	Xeropsamientos típicos	50	7,05	0,43	Franco arenosas a arenosas francas	0,00	10,50	Bien a algo excesivo	80,00	Plano a fuertemente inclinado	Escasa
15	Xerortentes típicos	50	5,75	2,75	Franco arenoso	0,00	2,05	Bien drenado	124,00	Plana	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
	Xeropsamientos típicos	50	7,05	0,43	Franco arenosas a arenosas francas	0,00	10,50	Bien a algo excesivo	80,00	Plana	Escasa

Unidad Cartográfica	Dominante / Subordinado	Area %	pH	Materia Orgánica (%)	Clase Textural	Ce (mmohs/cm)	PSI %	Clase natural de drenaje	Profundidad (cm)	Pendiente	Pedregosidad superficial
16	Haploxeoles vitrándicos /	60	6,50	1,70	Franco	0,00	1,05	Bien drenado	125,00	Moderadamente inclinada a escarpada	Sin pedregosidad
	Xerortentes típicos	40	5,75	2,75	Franco arenoso	0,00	2,05	Bien drenado	124,00	Moderadamente inclinada a escarpada	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
17	Vitrixeandes mólicos esqueléticos	100	5,25	12,38	Franco arenoso	0,00	0,91	Bien drenado	125,00	Plano	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
18	Haploxeoles vitrándicos /	60	5,15	1,56	Franco arenoso	0,00	2,50	Algo excesivamente drenado	45,00	Escarpada	Ligeramente granuloso a ligeramente guijarroso
	Vitrixeandes mólicos	20	4,85	2,76	Franco arenoso	0,00	2,70	Bien drenado	92,00	Escarpada	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
	Argixeoles verticos	20	5,95	1,99	Franco arenoso	0,00	2,43	Moderadamente bien drenado	122,00	Escarpada	Sup cubierta con grava subredondeada (40-60%)
19	Haploxeoles enticos /	60	5,55	1,68	Franco arenoso	0,00	1,55	Bien drenado	80,00	Moderadamente inclinada a escarpada	Granuloso a guijarroso
	Argixeoles típicos	40	6,20	2,08	Franco arcillo arenoso	0,00	0,00	Bien drenado	105,00	Moderadamente inclinada a escarpada	Granuloso a guijarroso
20	Vitrixeandes mólicos	60	5,20	0,00	Franco arenoso	0,00	1,78	Bien drenado	124,00	Fuertemente inclinada	Ligeramente granuloso a ligeramente guijarroso
	Haploxeoles vitrándicos	40	5,15	1,56	Franco arenoso	0,00	2,50	Algo excesivamente drenado	45,00	Fuertemente inclinada	Ligeramente granuloso a lig. guijarroso
21	Argixeoles verticos	30	5,95	1,99	Franco arenoso	0,00	2,43	Moderadamente bien drenado	122,00	Fuertemente inclinada	Sup cubierta con grava subredondeada (40-60%)
	Haploxeoles enticos /	30	5,55	1,68	Franco arenoso	0,00	1,55	Bien drenado	80,00	Fuertemente inclinada	Granuloso a guijarroso
	Haploxeerertes típicos	40	5,55	1,84	Arcilloso	0,00	1,23	Imperfectamente drenado a Moderadamente bien drenado	95,00	Fuertemente inclinada	Sin pedregosidad
22	Xerortentes típicos /	65	5,75	2,75	Franco arenoso	0,00	2,05	Bien drenado	124,00	Escarpada	Sin pedregosidad
	Argixeoles cálcicos arídicos	35	7,05	1,42	Franco arenoso	0,00	6,66	Bien drenado	80,00	Escarpada	Sin pedregosidad
23	Haploxeerertes típicos	50	5,55	1,84	arcilloso	0,00	1,23	Imperfectamente drenado a Moderadamente bien drenado	95,00	Fuertemente inclinada	Sin pedregosidad
	Argixeoles verticos	50	5,95	1,99	Franco arenoso	0,00	2,43	Moderadamente bien drenado	122,00	Fuertemente inclinada	Sup cubierta con grava subredondeada (40-60%)
24	Xerortentes típicos /	60	5,75	2,75	Franco arenoso	0,00	2,05	Bien drenado	124,00	Ligera y fuertemente inclinada	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
	Argixeoles cálcicos arídicos	40	7,05	1,42	Franco arenoso	0,00	6,66	Bien drenado	80,00	Ligera y fuertemente inclinada	No tiene
25	Xerortentes típicos	50	5,75	2,75	Franco arenoso	0,00	2,05	Bien drenado	124,00	Escarpada	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
	Haploxealles cálcicos	50	7,75	2,30	Franco arenoso	1,40	13,23	Bien drenado	112,00	Escarpada	Muy pedregoso
26	Xeropsamientos típicos	50	7,05	0,43	Franco arenosas a arenosas francas	0,00	10,50	Bien a algo excesivo	80,00	Plano a ligeramente inclinado	Escasa
	Xerortentes típicos	50	5,75	2,75	Franco arenoso	0,00	2,05	Bien drenado	124,00	Plano a ligeramente inclinado	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
27	Argixeoles cálcicos arídicos	50	7,05	1,42	Franco arenoso	0,00	6,66	Bien drenado	80,00	Plana	Sin pedregosidad
	Xerortentes típicos	50	5,75	2,75	Franco arenoso	0,00	2,05	Bien drenado	124,00	Plana	Sin pedregosidad
28	Haploxealles típicos /	60	6,55	1,59	Franco arcillo arenoso	0,00	2,21	Bien drenado a moderadamente bien drenado	55,00	Plana	Pedregoso
	Xeropsamientos mólicos	30	7,90	1,50	Areno franco	1,48		Bien drenado	135,00	Plana	Sin pedregosidad
	Xeropsamientos típicos	10	7,05	0,43	Franco arenosas a arenosas francas	0,00	10,50	Bien a algo excesivo	80,00	Plana	Escasa

Unidad Cartográfica	Dominante / Subordinado	Area %	pH	Materia Orgánica (%)	Clase Textural	Ce (mmohs/cm)	PSI %	Clase natural de drenaje	Profundidad (cm)	Pendiente	Pedregosidad superficial
29	Haploxerales típicos /	60	6,55	1,59	Franco arcillo arenoso	0,00	2,21	Bien drenado a Moderadamente bien drenado	55,00	Ligera y fuertemente inclinada	Pedregoso
	Xeropsamientos mólicos	30	7,90	1,50	Areno Franco	1,48	0,00	Bien drenado	135,00	Ligera y fuertemente inclinada	Sin pedregosidad
	Xeropsamientos típicos	10	7,05	0,43	Franco arenosas a arenosas francas	0,00	10,50	Bien a algo excesivo	80,00	Ligera y fuertemente inclinada	Escasa
30	Parexerales mólicos	45	6,45	2,59	Franco arenoso	0,00	1,56	Moderadamente bien drenado	170,00	Ligera y moderadamente inclinada	Escasa en superficie
	Xerortentes típicos	55	5,75	2,75	Franco arenoso	0,00	2,05	Bien drenado	124,00	Ligera y moderadamente inclinada	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
31	Argixeroles cálcicos arídicos /	50	7,05	1,42	Franco arenoso	0,00	6,66	Bien drenado	80,00	Fuertemente inclinada	Sin pedregosidad
	Xerortentes típicos	50	5,75	2,75	Franco arenoso	0,00	2,05	Bien drenado	124,00	Fuertemente inclinada	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
32	Xerortentes típicos /	60	5,75	2,75	Franco arenoso	0,00	2,05	Bien drenado	124,00	Fuertemente inclinada	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
	Argixeroles cálcicos arídicos	40	7,05	1,42	Franco arenoso	0,00	6,66	Bien drenado	80,00	Fuertemente inclinada	Sin pedregosidad
33	Xerortentes típicos	100	5,75	2,75	Franco arenoso	0,00	2,05	Bien drenado	124,00	Fuertemente inclinada	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
36	Torriortentes líticos /	70	7,15	0,34	Areno franco a Franco arenoso	0,00	2,72	Bien drenado	31,00	Plana	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
	Petrocalcides típicos	30	7,15	0,80	Arenoso a Areno franco	0,00	1,98	Bien drenado	78,00	Plana	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
37	Torriortentes típicos /	60	7,50	0,91	Franco	1,32	2,86	Bien drenado	135,00	Fuertemente inclinada a escarpada	Sin pedregosidad
	Haplacuentes típicos	40	7,05	6,37	Franco	0,00	5,87	Imperfectamente drenado a Pobremente drenado	125,00	Fuertemente inclinada a escarpada	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
38	Torriortentes típicos	40	7,50	0,91	Franco	1,32	2,86	Bien drenado	135,00	Plana	Sin pedregosidad
	Petrogyssides típicos	60	7,43	0,32	Areno Franco	4,65	no hay dato	Bien Drenado	60,00	Plana	Sin pedregosidad
39	Haplogyssides típicos	50	7,35	0,41	Franco arenoso	0,00	10,00	Moderadamente bien drenado	63,00	Ligera y moderadamente inclinada	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
	Petrocalcides típicos	50	7,15	0,80	Arenoso a Areno franco	0,00	1,98	Bien drenado	78,00	Ligera y moderadamente inclinada	Sin pedregosidad
40	Torriortentes típicos /	70	7,50	0,91	Franco	1,32	2,86	Bien drenado	135,00	Ligeramente inclinada	Sin pedregosidad
	Petrocalcides típicos	30	7,15	0,80	Arenoso a Areno franco	0,00	1,98	Bien drenado	78,00	Ligeramente inclinada	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
41	Torriortentes típicos /	70	7,50	0,91	Franco arenosa	1,32	2,86	Bien drenado	100,00	Fuertemente inclinada a escarpada	Sin pedregosidad
	Petrocalcides típicos	15	7,15	0,80	Arenoso a Areno franco	0,00	1,98	Bien drenado	78,00	Fuertemente inclinada a escarpada	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
	Haplagides xéricos	15	7,49	1,87	Franco arenoso	0,25	no hay dato	Bien drenado	105,00	Fuertemente inclinada a escarpada	Gravas 20% entre 2 4 cm de diámetro y Pedregones 5% de 25-30 cm de diámetro
42	Petrocalcides típicos	50	7,15	0,80	Arenoso a Areno franco	0,00	1,98	Bien drenado	78,00	Plana	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
	Petrogides típicos	50	7,55	1,25	Areno franco	0,00	3,01	Bien drenado	78,00	Plana	Escasa
43	Petrocalcides típicos /	60	7,15	0,80	Arenoso a Areno franco	0,00	1,98	Bien drenado	78,00	Ligeramente inclinada	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
	Torriortentes típicos	40	7,50	0,91	Franco	1,32	2,86	Bien drenado	135,00	Ligeramente inclinada	Sin pedregosidad

Unidad Cartográfica	Dominante / Subordinado	Area %	pH	Materia Orgánica (%)	Clase Textural	Ce (mmohs/cm)	PSI %	Clase natural de drenaje	Profundidad (cm)	Pendiente	Pedregosidad superficial
44	Haplocalcides típicos	40	7,80	0,36	arenoso	0,00	2,02	Bien drenado	115,00	Ligera y moderadamente inclinada	Granuloso a guijoso
	Torriortentes típicos	60	7,50	0,91	Franco	1,32	2,86	Bien drenado	135,00	Ligera y moderadamente inclinada	Sin pedregosidad
45	Haplocalcides típicos /	60	7,80	0,36	arenoso	0,00	2,02	Bien drenado	115,00	Ugeramente inclinada	Granuloso a guijoso
	Haplogypsides típicos	40	7,35	0,41	Franco arenoso	0,00	10,00	Moderadamente bien drenado	63,00	Ugeramente inclinada	Ugeramente granuloso a ligeramente guijoso
46	Haplocalcides típicos	50	7,80	0,36	Arenoso	0,00	2,02	Bien drenado	115,00	moderadamente inclinada	Granuloso a guijoso
	Haplogypsides típicos	50	7,35	0,41	Franco arenoso	0,00	10,00	Moderadamente bien drenado	63,00	moderadamente inclinada	Ugeramente granuloso a ligeramente guijoso
47	Torriortentes típicos /	60	7,50	0,91	Franco	1,32	2,86	Bien drenado	135,00	Ugeramente inclinada	Sin pedregosidad
	Torripsamientos típicos	40	7,90	0,46	Areno franco	0,00	1,48	Bien drenado	135,00	Ugeramente inclinada	Sin pedregosidad
48	Torriortentes típicos	50	7,50	0,91	Franco	1,32	2,86	Bien drenado	135,00	Ligera y moderadamente inclinada	Sin pedregosidad
	Torriortentes líticos	50	7,15	0,34	Areno franco a Franco arenoso	0,00	2,72	Bien drenado	31,00	Ligera y moderadamente inclinada	Ugeramente granuloso a ligeramente guijoso
49	Petrocalcides típicos	30	7,15	0,80	Arenoso a Areno franco	0,00	1,98	Bien drenado	78,00	Plana y Ugeramente inclinada	Ugeramente granuloso a ligeramente guijoso
	Haplocalcides típicos /	30	7,80	0,36	Arenoso	0,00	2,02	Bien drenado	115,00	Plana y Ugeramente inclinada	Granuloso a guijoso
	Petroargides típicos	20	7,55	1,25	Areno franco	0,00	3,01	Bien drenado	78,00	Plana y Ugeramente inclinada	Escasa
	Torriortentes típicos	20	8,15	0,31	Franco arcillo arenoso	5,90	35,47	Bien drenado	64,00	Plana y Ugeramente inclinada	Gravas 10% menores a 2 cm de diámetro
50	Petrocalcides típicos /	60	7,15	0,80	Arenoso a areno franco	0,00	1,98	Bien drenado	78,00	Plana	Ugeramente granuloso a ligeramente guijoso
	Torriortentes típicos	20	7,50	0,91	Franco	1,32	2,86	Bien drenado	135,00	Plana	Sin pedregosidad
	Haplocalcides típicos	20	7,80	0,36	Arenoso	0,00	2,02	Bien drenado	115,00	Plana	Granuloso a guijoso
51	Haplargides típicos	30	7,20	0,94	Franco arcillo arenoso	0,00	0,89	Bien drenado a algo excesivamente drenado	75,00	Plana	clase 4 / lig. Granuloso a lig. Guijarroso
	Petroargides típicos /	30	7,55	1,25	Areno franco	0,00	3,01	Bien drenado	78,00	Plana	Escasa
	Torriortentes típicos.	40	7,50	0,91	Franco	1,32	2,86	Bien drenado	135,00	Plana	Sin pedregosidad
52	Torriortentes vérticos	60	7,87	0,41	Arcillo limoso	2,00	47,41	Imperfectamente drenado	57,00	Plana	Ugeramente granuloso a ligeramente guijoso
	Torrifluventes típicos /	20	8,00	0,58	Arcillo limoso	1,19	7,44	Moderadamente bien drenado	150,00	Plana	Sin pedregosidad
	Natrargides típicos	10	7,85	1,20	Franco arcilloso	0,00	5,77		121,00	Plana	
	Haplosalides típicos.	10	7,95	0,49	Franco arcillo arenoso	21,00	11,51	Moderadamente bien drenado	125,00	Plana	Ugeramente granuloso a ligeramente guijoso
53	Petroargides xéricos	50	6,80	1,46	Franco arenoso a Franco arcillo arenoso	0,00	0,54	Bien drenado	104,00	Plana	Guijarroso
	Torripsamientos xéricos	50,00	8,05	0,78	Franco arenoso a Franco arcillo arenoso	0,00	3,54	Algo excesivo a excesivamente bien drenado	200,00	Plana	Escasa
54	Petrocalcides típicos /	60	7,15	0,80	arenoso a areno franco	0,00	1,98	Bien drenado	78,00	Plana	Sin pedregosidad
	Petroargides típicos	40	7,55	1,25	Areno franco	0,00	3,01	Bien drenado	78,00	Plana	Escasa
55	Petroargides típicos /	60	7,55	1,25	Areno franco	0,00	3,01	Bien drenado	78,00	Plana	Escasa
	Petrocalcides típicos	40	7,15	0,80	Arenoso a Areno franco	0,00	1,98	Bien drenado	78,00	Plana	Ugeramente granuloso a ligeramente guijoso

Unidad Cartográfica	Dominante / Subordinado	Area %	pH	Materia Orgánica (%)	Clase Textural	Ce (mmols/cm)	P3 %	Clase natural de drenaje	Profundidad (cm)	Pendiente	Pedregosidad superficial
56	Haplogypsidés cálcicos /	60	7,35	0,41	Franco arenoso	0,00	1000	Moderadamente bien drenado	63,00	Plana	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
	Petrogypsidés típicos	40	7,43	0,32	Areno franco	4,65	no har dato	Bien Drenado	60,00	Plana	Gravas 50% menores a 3 cm de diámetro y Piedras 10% de 8-10 cm de diámetro
57	Torriortentes típicos /	60	7,50	0,91	Franco	1,32	2,86	Bien drenado	135,00	Plana a Ligeramente Inclinada	Sin pedregosidad
	Torripsamentés típicos	40	7,90	0,46	areno franco	0,00	1,48	Bien drenado	135,00	Plana a Ligeramente Inclinada	Sin pedregosidad
58	Torriortentes típicos	30	7,50	0,91	Franco	1,32	2,86	Bien drenado	135,00	Plana a Ligeramente Inclinada	Sin pedregosidad
	Haplocalcides típicos /	30	7,80	0,36	Arenoso	0,00	2,02	Bien drenado	115,00	Plana	Granuloso a guijoso
	Torrifluventes típicos.	40	8,00	0,58	Arcillolimoso	2,10	7,44	Moderadamente bien drenado	150,00	Plana a Ligeramente Inclinada	Sin pedregosidad
59	Torriortentes típicos /	60	7,50	0,91	Franco	1,32	2,86	Bien drenado	135,00	Plana a Ligeramente Inclinada	Sin pedregosidad
	Torripsamentés típicos	40	7,90	0,46	Areno franco	0,00	1,48	Bien drenado	135,00	Plana a Ligeramente Inclinada	Sin pedregosidad
60	Torriortentes típicos, graviliosos	30	7,95	0,49	Areno franco	0,00	3,13	Bien drenado	90,00	Plana a Ligeramente Inclinada	Granuloso a guijoso
	Torriortentes típicos, franco gruesos /	30	7,50	0,91	Franco	1,32	2,86	Bien drenado	135,00	Plana a Ligeramente Inclinada	Sin pedregosidad
	Torriortentes típicos franco gruesos	40	8,03	0,92	Arcillosa Franco	23,50	19,25	Imperfectamente drenados	62,00	Plana a Ligeramente Inclinada	Sin pedregosidad
61	Torriortentes típicos	50	7,50	0,91	Franco	1,32	2,86	Bien drenado	135,00	Plana a Ligeramente Inclinada	Sin pedregosidad
	Torrifluventes típicos	50	8,00	0,58	Arcillolimoso	2,10	7,44	Moderadamente bien drenado	150,00	Plana a Ligeramente Inclinada	Sin pedregosidad
62	Torrifluventes típicos /	60	8,00	0,58	Arcillolimoso	2,10	8,44	Imperfectamente drenado	151,00	Plana	Sin pedregosidad
	Haplosalides típicos	40	7,95	0,49	Franco arcillo arenoso	11,20	11,51	Imperfectamente drenado	125,00	Plana	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
63	Torripsamentés típicos /	70	7,90	0,46	Areno franco	0,00	1,48	Bien drenado	135,00	Ligeramente inclinada	Sin pedregosidad
	Torriortentes típicas.	30	8,05	0,36	Franco arcillo arenoso	1,40	49,27	Bien drenado	92,00	Ligeramente inclinada	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
64	Torriortente lítico	50	7,15	0,34	Areno franco a Franco arenoso	0,00	2,72	Bien drenado	31,00	Escarpada	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
	Torriortente típico	50	7,50	0,91	Franco	1,32	2,86	Bien drenado	135,00	Escarpada	Sin pedregosidad
65	Torriortentes típicos/	60	7,50	0,91	Franco	1,32	2,86	Bien drenado	135,00	Fuertemente Inclinada	Sin pedregosidad
	Haplargides xéricos	30	7,20	0,94	Franco arcillo arenoso	0,00	0,89	Bien drenado a algo excesivamente drenado	75,00	Fuertemente inclinada	Ligeramente granuloso a ligeramente guijarroso
	Haploxeralfes cálcicos	10	7,75	2,30	Franco arenoso	1,40	13,20	Bien drenado	112,00	Fuertemente Inclinada	Muy pedregoso
66	Torriortentes típicos	35	7,50	0,91	Franco	1,32	2,86	Bien drenado	135,00	Ligeramente inclinada	Pedregoso
	Torripsamentés típicos	65	7,90	0,46	Areno franco	0,00	1,48	Bien drenado	135,00	Ligeramente Inclinada	Sin pedregosidad
67	Asomos Rocosos 50%/Torripsamentés típicos	50	7,79	0,20	Areno franco	0,00	2,60	Bien drenado a algo excesivamente drenado	122,00	Plana y Ligeramente inclinada	Ligeramente granuloso a ligeramente guijoso
	Torripsamentés típicos (fase somera)	50	7,90	0,46	Areno franco	0,00	1,48	Bien drenado	135,00	Plana y Ligeramente Inclinada	Granuloso

Tabla 22: Unidades cartográficas.

1.4 Valores ponderados

Modelo Cartográfico	Pendiente	Clase Natural de Drenaje	pH	Ce (dS/m)	M0 %	PS1 %	Profundidad (cm)	Clase Textural	Pedregosidad
1	Escarpada	Bien drenado	5,2	0	9,78	1,83	109,5	Franco Arenoso	Gravas medias 15-35 %
2	Escarpada	Bien drenado	5,15	0	10,44	0,644	93,5	Franco	Gravas medias 15-35 %
3	Escarpada	Bien drenado	5	0	5,8	1,93	93,2	Franco Arenoso	Gravas medias 15-35 %
4	Ligeramente inclinada	Bien drenado	5,08	0	8,2	1,07	50,2	Franco Arenoso	Gravas medias 15-35 %
5	Plana	Bien drenado	5,15	0	10,56	1,11	112,6	Franco Arenoso	Gravas medias < 15 %
6	Ligeramente inclinada	Algo excesivamente drenado	5,39	0	12,27	0,85	55	Franco Arenoso	Gravas medias 15-35 %
7	Ligeramente inclinada	Algo excesivamente drenado	5,39	0	13,43	0,81	37	Franco Arenoso	Gravas medias 15-35 %
9	Fuertemente inclinada	Bien drenado	5,34	0	11,49	1,45	92	Franco Arenoso	Gravas medias 15-35 %
10	Fuertemente inclinada	Bien drenado	5,34	0	11,49	1,45	92	Franco Arenoso	Gravas medias 15-35 %
11	Plana	Bien drenado	5,9	0	1,72	2,944	32	Franco Arenoso	Gravas medias 15-35 %
12	Plana	Bien drenado	5,37	0	2,6	2,996	103,2	Franco Arenoso	Gravas medias < 15 %
13	Fuertemente inclinada	Bien drenado	5,09	0	2,3	1,626	111,8	Franco Arenoso	Gravas medias < 15 %
14	Moderadamente inclinada	Bien drenado	6,4	0	1,9	6,275	102	Franco Arenoso	Gravas medias < 15 %
15	Plana	Bien drenado	6,4	0	1,9	6,275	102	Franco Arenoso	Gravas medias < 15 %
16	Fuertemente inclinada	Bien drenado	6,2	0	2,12	1,45	124,6	Arenoso Franco	Gravas medias < 15 %
17	Plana	Bien drenado	5,25	0	12,38	0,91	125	Franco Arenoso	Gravas medias < 15 %
18	Escarpada	Bien drenado	6,33	0	2,36	3,039	91,2	Franco Arenoso	Gravas medias < 15 %
19	Fuertemente inclinada	Bien drenado	5,81	0	1,84	0,93	90	Franco Arenoso	Gravas gruesas 15-35 %
20	Fuertemente inclinada	Bien drenado	5,18	0	0,62	2,068	92,4	Franco Arenoso	Gravas gruesas < 15 %
21	Fuertemente inclinada	Moderadamente bien drenado	5,67	0	1,84	1,686	98,6	Franco Arcillo Arenoso	Gravas gruesas 15-35 %
22	Escarpada	Bien drenado	6,205	0	2,28	3,6635	108,6	Franco Arenoso	Gravas medias < 15 %
23	Fuertemente inclinada	Moderadamente bien drenado	5,75	0	1,92	1,83	108,5	Franco arcillo Arenoso	Gravas medias 35-60 %
24	Moderadamente inclinada	Bien drenado	6,27	0,7	2,21	3,89	106,4	Franco Arenoso	Gravas medias < 15 %
25	Escarpada	Bien drenado	6,75	0	2,53	7,64	118	Franco Arenoso	Piedras 15-35 %
26	Ligeramente inclinada	Bien drenado	6,4	0	1,9	6,275	102	Franco Arenoso	Gravas medias < 15 %
27	Plana	Bien drenado	6,4	0,44	2,09	4,355	102	Franco Arenoso	Sin pedregosidad
28	Plana	Bien drenado	7	0,44	1,45	2,37	81,5	Franco Arcillo Arenoso	Piedras 15-35 %
29	Moderadamente inclinada	Bien drenado	7	0	1,45	2,37	81,5	Franco Arcillo Arenoso	Piedras 15-35 %
30	Moderadamente inclinada	Bien drenado	6,065	0	2,68	1,8295	144,7	Franco Arenoso	Gravas medias < 15 %
31	Fuertemente inclinada	Bien drenado	6,4	0	2,09	4,355	102	Franco Arenoso	Gravas medias < 15 %
32	Fuertemente inclinada	Bien drenado	6,27	0	2,21	3,894	106,4	Franco Arenoso	Gravas medias < 15 %
33	Fuertemente inclinada	Bien drenado	5,75	0	2,75	2,05	124	Franco Arenoso	Gravas medias < 15 %
36	Plana	Bien drenado	7,15	0	0,48	2,498	45,1	Areno Franco	Gravas medias < 15 %
37	Fuertemente inclinada	Bien drenado	7,32	0,8	3,09	4,064	131	Franco	Gravas medias < 15 %
38	Plana	Bien drenado	7,45	3,31	0,55	1,14	90	Areno Franco	Sin pedregosidad
39	Moderadamente inclinada	Moderadamente bien drenado	7,25	0	0,61	5,99	70,5	Franco Arenoso	Gravas medias < 15 %
40	Ligeramente inclinada	Bien drenado	7,395	0,924	0,88	2,596	117,9	Franco Arenoso	Gravas medias < 15 %
41	Fuertemente inclinada	Bien drenado	7,44	0,96	1,03	2,299	97,45	Franco Arenosa	Gravas medias < 15 %
42	Plana	Bien drenado	7,35	0	1,03	2,495	78	Areno Franco	Gravas medias < 15 %
43	Ligeramente inclinada	Bien drenado	7,29	0,528	0,84	2,332	100,8	Franco Arenoso	Gravas medias < 15 %
44	Ligeramente inclinada	Bien drenado	7,62	0,792	0,65	2,524	127	Franco Arenoso	Gravas medias 15-35 %
45	Ligeramente inclinada	Moderadamente bien drenado	7,62	0	0,38	5,212	94,2	Areno Franco	Gravas medias 15-35 %
46	Moderadamente inclinada	Moderadamente bien drenado	7,575	0	0,39	6,01	89	Franco Arenoso	Gravas medias 15-35 %
47	Ligeramente inclinada	Bien drenado	7,66	0,792	0,73	2,308	135	Franco Arenoso	Sin pedregosidad
48	Ligeramente inclinada	Bien drenado	7,325	0,66	0,63	2,79	83	Franco Arenoso	Gravas medias < 15 %
49	Plana	Bien drenado	7,625	1,18	0,66	8,896	86,3	Arenoso	Gravas medias < 15 %
50	Plana	Bien drenado	7,4	0,26	0,73	2,16	100,8	Arenoso Franco	Gravas medias < 15 %
51	Plana	Bien drenado	7,425	0,528	1,02	2,314	96,8	Franco Arenoso	Gravas medias < 15 %
52	Plana	Moderadamente bien drenado	7,902	3,538	0,53	31,662	99,9	Arcillo limoso	Gravas medias < 15 %
53	Plana	Algo excesivamente drenado	7,425	0	1,12	2,04	88,8	Franco arenoso	Gravas gruesas 15-35 %
54	Plana	Bien drenado	7,31	0	0,98	2,392	152	Areno Franco	Sin pedregosidad
55	Plana	Bien drenado	7,39	0	1,07	2,6	78	Areno Franco	Gravas medias < 15 %
56	Plana	Moderadamente bien drenado	7,37	1,86	0,37	6	78	Franco Arenoso	Gravas medias < 15 %
57	Ligeramente inclinada	Bien drenado	7,66	0,792	0,73	2,308	135	Franco Arenoso	Sin pedregosidad
58	Plana	Bien drenado	7,79	1,236	0,61	4,44	135	Franco Arcillo Arenoso	Gravas medias < 15 %
59	Plana	Bien drenado	7,66	0,792	0,73	2,308	135	Franco Arenoso	Sin pedregosidad
60	Plana	Imperfectamente drenado	7,847	9,796	0,73	9,515	92,3	Franco Arcillo Arenoso	Gravas medias < 15 %
61	Plana	Moderadamente bien drenado	7,75	1,71	0,79	5,15	142,5	Franco Arcilloso	Sin pedregosidad
62	Plana	Imperfectamente drenado	7,98	5,76	0,54	9,668	140,6	Franco Arcilloso	Gravas medias < 15 %
63	Ligeramente inclinada	Bien drenado	7,945	0,42	0,43	15,817	122,1	Arenoso	Gravas medias < 15 %
64	Escarpada	Bien drenado	7,325	0,66	0,63	2,79	83	Franco Arenoso	Gravas medias < 15 %
65	Fuertemente inclinada	Bien drenado	7,4	0,93	1,06	3,03	137,1	Franco Arcillo Arenoso	Gravas medias < 15 %
66	Ligeramente inclinada	Bien drenado	7,76	0,462	0,62	1,963	135	Franco Arenoso	Gravas medias < 15 %
67	Ligeramente inclinada	Bien drenado	7,84	0	0,33	2,04	128,5	Areno Franco	Gravas medias < 15 %

Tabla 23: Valores ponderados.