



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN INTERVENCIÓN AMBIENTAL

Tesis de Maestría en Intervención Ambiental con Orientación en Ingeniería
Ambiental

“Estimación de la erosión eólica actual y potencial
de los suelos de la provincia de Neuquén utilizando
Sistemas de Información Geográfica (SIG – GIS)”

Maestrando: Lic. Bocci, Hugo Raúl

Directora: Dra. Dufilho, Ana Cecilia

Co-Director: Ing. Agr. Irisarri, Jorge Alberto



“Estimación de la erosión eólica actual y potencial de los suelos de la provincia de Neuquén utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG – GIS)”

Trabajo Final de la Maestría en Intervención Ambiental presentado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue como parte de los requisitos para obtener el título de:

MAGÍSTER EN INTERVENCIÓN AMBIENTAL CON ORIENTACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Maestrando: Lic. Hugo Raúl Bocci.

Directora: Dra. Ana Cecilia Dufilho – Cátedra de Hidrogeología. Departamento de Geología y Petróleo, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue.

Co-Director: Ing. Agr. Jorge Alberto Irisarri – Cátedra de Edafología, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue.

Jurado 1: Dr. Daniel Eduardo BUSCHIAZZO (INCITAP; CONICET – UNLPampa).

Jurado 2: Dra. Nilda Mabel AMIOTTI (UNS).

Jurado 3: Dr. Roberto CASTRO RÍOS (UCatólica de Chile).

Neuquén, Argentina

Año 2022

AGRADECIMIENTOS

Mi afectuoso agradecimiento a todas las personas que fueron parte de este trabajo, especialmente a mi directora Cecilia Dufilho y a mi codirector Jorge Irisarri. Les agradezco no sólo por sus invaluable aportes, por haber despejado todas mis dudas y haberme orientado en este camino, sino más bien por su acompañamiento a lo largo de tantos años y por haber siempre confiado en mi capacidad y por alentarme a seguir adelante.

Al jurado de esta tesis, por su indispensable colaboración, la cual ha contribuido a la calidad de este trabajo.

A la educación pública de mi país, que además de formarme me ha ayudado a ser una mejor persona, tanto en mis años como estudiante como en mis años de docencia. Gracias a todos los excelentes profesores que tuve el privilegio de tener, por su dedicación y pasión por la enseñanza.

A mi esposa, quien desde el principio me brindó su infinito cariño y apoyo y ha sido mi pilar bajo toda circunstancia. Este trabajo no estaría concretado si no fuera por su aliento incondicional.

A mi familia, por haberse esforzado en darme la mejor educación y por instarme siempre a auto superarme. A mi cuñado, Juan Frete, por su valiosa ayuda con la edición gráfica de este trabajo.

A mi amigo, el Ing. Fernando Frasseto, quien me suministró todos los datos meteorológicos, sin los cuales esta tesis no hubiera sido posible. A Francisco Nemiña, por su contribución a la hora de procesar la información con SIG. A mi amigo geólogo de toda la vida, el Dr. Agustín Argüello Scotti, por sus valiosas opiniones.

A mi querida profesora, Patricia Schmid, por haber inspirado en mí la pasión por el estudio de los suelos.

A todos ellos, muchas gracias.

RESUMEN

Este trabajo emplea la metodología postulada por la FAO (1980), para la estimación de la erosión eólica actual (EEA) y potencial (EEP) de los suelos de la provincia del Neuquén, partiendo del cálculo de la agresividad climática, la erodabilidad del suelo y la cobertura vegetal, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Del total de los suelos provinciales, el riesgo de erosión eólica de los suelos (EEP) se compone de aproximadamente un 30% de superficie bajo riesgo muy alto y casi un 40% bajo riesgo alto. El total de la superficie provincial que se atribuye a la clase alta de EEA de los suelos, es de casi un 40% y de un poco más de un 15% para la clase muy alta. Aproximadamente el 25% y el 20% de la superficie restante, arrojaron valores de erosión eólica actual nulos a ligeros y moderados respectivamente. Los suelos de las regiones áridas y semiáridas, con incipiente o nula cobertura vegetal, tienen mayor susceptibilidad a erosionarse dadas sus características; generalmente poco desarrollados, de textura gruesa y poco estructurados. El clima de estas regiones está caracterizado por precipitaciones concentradas en períodos cortos de tiempo, vientos de gran intensidad coincidentes con períodos secos, altas temperaturas y elevadas tasas de evapotranspiración. Los suelos del orden Aridisoles ocupan casi un 20% de la superficie provincial, porcentaje que se incrementa considerablemente si se consideran otros órdenes de suelos asociados a condiciones de aridez, como son muchos de los suelos del orden Entisoles. Estos órdenes de suelos, son los más afectados por la erosión inducida por el viento.

La cobertura vegetal, aún con valores inferiores al 20%, es un factor efectivo de protección del suelo, especialmente a la hora de reducir el riesgo de erosión eólica de clase muy alta. La cobertura vegetal actual refleja los procesos históricos de uso y ocupación del suelo. En muchos ambientes el sobrepastoreo y actividades como la explotación hidrocarburífera, han reducido esta variable a valores inferiores al 5%. Estos resultados, reafirman que es preciso llevar a cabo acciones tendientes a conservar la cobertura vegetal a fin de evitar la erosión provocada por el viento.

El panorama presente de la erosión eólica actual, se explica mediante una secuencia de causas de diferentes enfoques, siendo estos el ecológico-ambiental, el económico-social y el sociocultural. A modo de síntesis, puede decirse que la influencia del hombre sobre el ambiente a lo largo del tiempo, impulsada por diferentes motivaciones e intereses, ha provocado disrupciones en la dinámica del funcionamiento de los ecosistemas de la provincia del Neuquén debidas al mal manejo de los suelos, aumentando su vulnerabilidad a los fenómenos que desencadenan la erosión eólica y generando, en última instancia, la degradación y posterior pérdida del recurso.

Las estimaciones de la EEA y la EEP pueden mejorarse mediante el suministro de una mayor densidad de información. Para que esto suceda, es condición que exista una percepción más acorde a la magnitud de los fenómenos de erosión eólica que actualmente ocurren en la provincia del Neuquén, y de las vastas extensiones de suelos que se encuentran en riesgo de padecer degradación. Al respecto, los SIG, han demostrado ser una herramienta poderosa, dada su capacidad de representar información en amplias extensiones de territorio y superponerla con otras variables de interés de manera rápida y eficiente.

Palabras clave: degradación de suelos, erodabilidad, cambio climático, regiones naturales

ABSTRACT

This thesis applies a methodology designed by the FAO (1980), for the estimation of current (CWE) and potential (PWE) wind erosion of soils in the province of Neuquén, based on the calculation of climatic aggressiveness, soil erodibility and vegetation cover, through the use of Geographic Information Systems (GIS).

Of the total provincial soils, the risk of soil wind erosion (PWE) is made up of approximately 30% of the area under very high risk and almost 40% under high risk. The total provincial surface under high class CWE is almost 40%, and near 15% of the soil is under very high class CWE. Approximately 25% and 20% of the remaining surface showed null, light and moderate current wind erosion values, respectively. The soils of arid and semi-arid regions, with incipient or no vegetation cover, are more prone to erosion given their attributes; usually poorly developed, coarse-textured and poorly structured. The climate of these regions is characterized by precipitations concentrated in short time lapses, high intensity winds coinciding with dry periods, high temperatures and high rates of evapotranspiration. Soils under Aridisols order occupy almost 20% of the provincial surface, a percentage that increases considerably if other soil orders associated with arid conditions are considered, such as many of the Entisols order soils. These soil orders are the most affected by wind-induced erosion.

Plant cover, even with values below 20%, is an effective soil protection factor, especially when it comes to reducing the risk of very high-class wind erosion. The current vegetation cover reflects the historical processes of land use and occupation. In many environments, overgrazing and activities such as hydrocarbon production, have reduced this variable to values below 5%. These results, reaffirm that it is necessary to carry out actions aimed at conserving the vegetation cover in order to avoid erosion caused by the wind.

The present panorama of CWE is explained by a sequence of causes from different approaches, these being the ecological-environmental, the economic-social and the socio-cultural. As a summary, it can be announced that the influence of man on the environment over time, driven by different motivations and interests, has caused disruptions in the dynamics of the ecosystems of the province of Neuquén, due to deficient soil management. This fact has increased its vulnerability to the phenomena that trigger wind erosion, ultimately generating the degradation and subsequent loss of the resource.

The CWE and PWE estimates can be improved by providing a higher amount of input data. To achieve this, it is required a more conscious awareness of the magnitude of wind erosion, and of the vast extensions of soil that are at risk of suffering degradation in the province of Neuquén. In this regard, GIS have proven to be a powerful tool, given their ability to represent information in large extensions of territory and overlap it with other variables of interest in fast and efficient way.

Key words: soil degradation, erodibility, climate change, natural regions

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
3. ÁREA DE ESTUDIO	3
3.1. Clima.....	4
3.2. Suelos	5
3.3. Vegetación.....	6
3.4. Geomorfología	8
3.5. Geología	10
3.6. Usos del suelo.....	13
3.7. Población.....	16
4. MARCO TEÓRICO.....	18
4.1. Mecanismos de transporte por el viento	18
4.1.1. Saltación	19
4.1.2. Rodadura o reptación.....	19
4.1.3. Suspensión	20
4.2. Principales factores que controlan la intensidad de la erosión eólica	20
4.3. Principales causas que desencadenan la erosión eólica	21
4.3.1. La explotación ganadera y la degradación edáfica	22
4.3.2. La explotación de hidrocarburos.....	27
4.4. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	28
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
5.1. Escala de análisis	30
5.2. La metodología de la FAO	31
5.3. Factores de degradación	32
5.3.1. Factor clima	32
5.3.2. Factor suelo	34
5.3.3. Factor de cubierta vegetal y manejo de cultivos y residuos orgánicos.....	36
5.4. Procedimientos en entorno SIG	36
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
6.1. Influencia de la agresividad climática	38
6.1.1. Distribución de la agresividad climática en la provincia del Neuquén.....	38
6.1.2. Distribución de la agresividad climática en las regiones naturales.....	42

6.2.	Susceptibilidad de los suelos a la erosión eólica en la provincia del Neuquén.....	44
6.2.1.	Susceptibilidad de los suelos a la erosión eólica en las regiones naturales.....	47
6.3.	La influencia de la cobertura vegetal en la protección del suelo.....	48
6.3.1.	Evolución media mensual del factor u por región natural.....	53
6.4.	La Erosión Eólica Potencial en la provincia del Neuquén.....	55
6.4.1.	La Erosión Eólica Potencial en las regiones naturales.....	59
6.5.	Erosión Eólica Actual (EEA).....	62
6.5.1.	La Erosión Eólica Actual en las regiones naturales.....	65
6.6.	Erosión Eólica Actual vs Erosión Eólica Potencial.....	68
6.7.	Ganadería, trashumancia y actividad hidrocarburífera vs EEA y EEP	72
6.7.1.	La ganadería y la trashumancia vs la EEP	72
6.7.2.	La ganadería y la trashumancia vs la EEA.....	75
6.7.3.	La actividad hidrocarburífera vs la EEP y la EEA.....	78
6.8.	Alcances de los resultados obtenidos	81
7.	CONCLUSIONES	82
8.	BIBLIOGRAFÍA	86
	ANEXOS	93
	ANEXO A – Datos edafológicos	94
	Anexo A.1. Unidades Cartográficas según Ferrer et al. (1990), con sus respectivos valores de factor e	94
	ANEXO B – Ubicación de estaciones meteorológicas	99
	Anexo B.1. Distribución de las estaciones meteorológicas utilizadas.....	99
	ANEXO C – Mapas temáticos mensuales y anual.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1.	Provincia del Neuquén, departamentos, cabeceras departamentales, red vial y principales espejos de agua	4
Figura 3.2.	Principales órdenes de suelos de la provincia del Neuquén	6
Figura 3.3.	Estructuras fisonómicas de la vegetación de la provincia del Neuquén	8
Figura 3.4.	Mapa geomorfológico de la provincia del Neuquén	10
Figura 3.5.	Períodos geológicos de la provincia del Neuquén	12
Figura 3.6.	Principales usos del suelo de la provincia del Neuquén	14
Figura 3.7.	Principales usos del suelo de la provincia del Neuquén	15
Figura 3.8.	Proyección de población total y densidad de población según departamentos para el año 2020.....	17
Figura 4.1.	Modos de transporte de partículas por el viento.	19

Figura 4.2. Producción de petróleo por año según jurisdicción.....	28
Figura 4.3. Producción de gas por año según jurisdicción	28
Figura 5.1. Regiones y subregiones naturales de la provincia del Neuquén.....	31
Figura 6.1. Agresividad climática acumulada anual	39
Figura 6.2. Agresividad climática media mensual para la provincia del Neuquén.....	40
Figura 6.3. Agresividad climática acumulada anual por clase para la provincia del Neuquén ...	41
Figura 6.4. Agresividad climática acumulada anual por clase y región natural	42
Figura 6.5. Agresividad climática media mensual por región natural.....	43
Figura 6.6. Erodabilidad eólica de los suelos de la provincia del Neuquén	45
Figura 6.7. Erodabilidad eólica por clase para la provincia del Neuquén	47
Figura 6.8. Erodabilidad eólica media por región natural.....	48
Figura 6.9. Factor u y obertura vegetal media anual para la provincia del Neuquén.....	49
Figura 6.10. Factor u media mensual para la provincia del Neuquén	50
Figura 6.11. Factor u medio anual por clase para la provincia del Neuquén.....	52
Figura 6.12. Variación media mensual del factor u por región natural	54
Figura 6.13. Factor u media anual por región natural	55
Figura 6.14. Erosión Eólica Potencial acumulada anual para la provincia del Neuquén	57
Figura 6.15. EEP media mensual para la provincia del Neuquén.....	58
Figura 6.16. EEP acumulada anual por clase para la provincia del Neuquén	59
Figura 6.17. EEP acumulada anual por clase y región natural	60
Figura 6.18. Variación media mensual de la EEP por región natural	61
Figura 6.19. Erosión Eólica Actual acumulada anual para la provincia del Neuquén	63
Figura 6.20. EEA promedio mensual para la provincia del Neuquén.....	64
Figura 6.21. EEA acumulada anual por clase para la provincia del Neuquén	65
Figura 6.22. EEA acumulada anual por clase y región natural	66
Figura 6.23. Variación media mensual de la Erosión Eólica Actual por región natural	67
Figura 6.24. Diferencias entre la EEP y la EEA.....	69
Figura 6.25. Superficie provincial de EEP y EEA por clase.....	70
Figura 6.26. Influencia de la vegetación en la reducción de la EEP por clase y región natural ..	71
Figura 6.27. Distribución de la ganadería y las rutas de arreo respecto a la EEP acumulada anual.....	73
Figura 6.28. Distribución de rutas de arreo según clase de EEP (%).....	74
Figura 6.29. Distribución de la actividad ganadera respecto de la EEP (%)	74
Figura 6.30. Distribución de la ganadería y las rutas de arreo respecto a la EEP acumulada anual.....	76
Figura 6.31. Distribución de rutas de arreo según clase de EEA (%).....	77

Figura 6.32. Distribución de la actividad ganadera respecto de la EEA (%).....	77
Figura 6.33. Distribución de la infraestructura hidrocarburífera respecto de la EEP acumulada anual.....	79
Figura 6.34. Distribución de la infraestructura hidrocarburífera respecto de la EEA acumulada anual.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Superficie de los usos del suelo de la provincia del Neuquén.....	15
Tabla 3.2. Proyección de población total y densidad de población según departamento	17
Tabla 4.1. Cabezas de ganado por especie según año (2015 - 2019)	27
Tabla 5.1. Clases de erosión eólica según FAO (1980)	32
Tabla 5.2. Clases de agresividad climática según Chepil, et al. (1962)	33
Tabla 5.3. Grupos de erodabilidad eólica por Lyles (1975) y Kimberlin et al. (1977)	34
Tabla 5.4. Valoración del factor u según metodología de la FAO (1980).....	36
Tabla 6.1. Agresividad climática media mensual para el territorio provincial.....	38
Tabla 6.2. Superficies afectadas por las diferentes clases de agresividad climática a nivel provincial.....	40
Tabla 6.3. Erodabilidad eólica media por clase para la provincia del Neuquén	46
Tabla 6.4. Factor u media mensual y anual para la provincia del Neuquén	50
Tabla 6.5. Factor u media anual por clase para la provincia del Neuquén	52
Tabla 6.6. EEP media mensual para la provincia del Neuquén	58
Tabla 6.7. EEP acumulada anual por clase para la provincia del Neuquén.....	58
Tabla 6.8. EEA media mensual para la provincia del Neuquén.....	64
Tabla 6.9. EEA acumulada anual por clase para la provincia del Neuquén	64
Tabla 6.10. EEP vs EEA.....	68
Tabla 6.11. Rutas de arreo vs EEP	73
Tabla 6.12. Ganadería vs EEP	75
Tabla 6.13. Rutas de arreo vs EEA.....	76
Tabla 6.14. Ganadería vs EEA.....	77
Tabla 6.15. Actividad hidrocarburífera vs EEP	79
Tabla 6.16. Actividad hidrocarburífera vs EEA	80

1. INTRODUCCIÓN

La erosión eólica, es el proceso geológico por el cual el material que se encuentra en la superficie de los suelos es retirado y transportado por el viento, y se expresa con intensidad más significativa en sitios con climas áridos y semiáridos, por lo que suele desempeñar un rol importante en la evolución del paisaje. No obstante, la acción antrópica puede aumentar significativamente su magnitud, generando graves impactos ambientales negativos (Buschiazzo y Aimar, 2003).

La erosión eólica se constituye como una problemática ambiental de gravedad en numerosas zonas del planeta, dado que su ocurrencia tiene en común ambientes con predominio de vientos intensos, material fino, suelto y seco, con superficies amplias, de baja rugosidad y con una cobertura vegetal incipiente o inexistente (FAO, 1978). Las zonas áridas y semiáridas suelen reunir estas cualidades ambientales y, aquellas bajo uso agrícola o ganadero, son más vulnerables a ser erosionadas debido generalmente a su limitado desarrollo, texturas gruesas y estructuras poco evolucionadas (Colazo, 2012). Las regiones áridas y semiáridas representan el 31% de la superficie terrestre mundial (FAO, 1961), correspondiendo a América del Sur 283 millones de hectáreas (Fryrear, 1990), de las cuales más del 50% se ubican en Argentina. Sólo la región semiárida abarca una superficie de 700.000 km² (Buschiazzo y Aimar, 2003). El clima de estas regiones se caracteriza por precipitaciones concentradas en períodos de tiempo acotados, vientos intensos que suceden durante épocas de baja humedad del suelo o de sequía, y tasas de evapotranspiración y temperaturas elevadas. Estos factores, en combinación con una pobre cobertura vegetal y la utilización de tecnología inadecuada, incrementan el riesgo de ocurrencia de erosión. Las diferentes técnicas de laboreo de la tierra y el tipo de manejo, son capaces de generar consecuencias particulares sobre el porcentaje de cobertura vegetal del suelo y demás variables que afectan la erosión eólica, como son el contenido de humedad y la estabilidad de los agregados edáficos (Black & Siddoway, 1979).

La erosión eólica genera cambios en determinadas propiedades físicas y químicas de los suelos, provocando una pérdida de su capacidad productiva a futuro, sumada a la modificación del normal funcionamiento de los ecosistemas, en situaciones graves, la desertificación. Los perjuicios al suelo incluyen: pérdida de material fino y materia orgánica, alteración de la estructura, pérdida de horizontes superficiales y movilización de nutrientes (Lyles, 1975; Quirantes, 1987; Buschiazzo y Taylor, 1993; Buschiazzo et al. 2009).

En la República Argentina, la erosión eólica no ha sido ampliamente analizada, situación que conlleva una carencia de trabajos que provean mediciones y detallen la dimensión de los efectos sobre los suelos a nivel regional, lo cual provoca que el seguimiento y la proyección de esfuerzos dirigidos a disminuir la degradación edáfica, se tornen más complejos. En 1988, se calculó la superficie comprometida por la erosión del viento en el país, resultando en la alarmante cifra de 21.410.000 ha. El "Instituto de Suelos y Agrotecnia" del INTA estimó en 1957, que el área afectada en todos sus grados abarcaba aproximadamente 16.000.000 ha; esto significa que la erosión eólica creció a una tasa de 175.000 ha anuales (Musto, 1979).

Distintos autores han evaluado la degradación de suelos en diferentes regiones de la Patagonia, entre ellos Irisarri et al. (1979), Del Valle y Coronato (1984), Ferrer et al. (1984), Santanatoglia et al. (1992) y Apcarian et al. (2002). En la provincia de Neuquén, los suelos del orden de los Aridisoles ocupan casi un 20% de la superficie provincial, porcentaje que se incrementa

considerablemente si se consideran otros órdenes de suelos asociados a condiciones de aridez, como lo son gran parte de los suelos del orden de los Entisoles (Ferrer et al. 1980). Consecuentemente, estas cifras denotan la existencia de una vasta extensión de suelos vulnerables a la erosión eólica.

La vegetación, aún con coberturas inferiores al 20%, es un factor efectivo de protección del suelo. En muchos ambientes de la Patagonia, el sobrepastoreo y actividades como la explotación hidrocarburífera, han reducido esta variable a valores inferiores al 5% (Goergen, 1995; Del Valle, 2003) acelerando la degradación de las tierras (Mare, 2017) y causando desertificación. La influencia de la actividad humana en los procesos de degradación del suelo, pérdida de cobertura vegetal y desertificación en la región ha sido abordada por diversos autores como Soriano y Movia (1986), Iglesias (1988, 1992), INTA/GTZ (1995), de Jong, (2007), Andrade (2012), entre otros. Estos estudios reafirman la importancia de la vegetación y su manejo y la necesidad de llevar a cabo acciones tendientes a conservar la cobertura vegetal del suelo a fin de evitar la erosión provocada por el viento.

La situación actual de degradación de suelos debido a la erosión eólica en la que se encuentra el sitio de estudio de este trabajo, tiene un origen multicausal, el cual han arribado numerosos autores a lo largo del tiempo. En este sentido, se han definido 3 enfoques principales que permiten disgregar las causas que contribuyeron a agravar los procesos de erosión debida al viento: un enfoque ecológico-ambiental, uno económico-social y otro sociocultural.

El primer enfoque, hace hincapié en la acción destructiva que la actividad antrópica ejerce sobre los ecosistemas, lo cual tiende a simplificarlos en términos de diversidad ecológica. La reducción en la cobertura y variedad de especies vegetales, es el principal desencadenante de los fenómenos que gobiernan la erosión eólica. Un ecosistema menos diverso, es menos resiliente ante cualquier cambio no compensando que se produzca en él (Lewis, 1995). La implementación de cargas ganaderas adecuadas a los ecosistemas, es fundamental para detener algunos procesos de degradación edáfica introducidos por la ganadería; la cría de especies que generen un menor impacto por pastoreo, es también una alternativa que puede contribuir a reducir los procesos de degradación edáfica (Conway, 2006; Henestrosa, 1983).

El segundo enfoque, entiende a la degradación de los suelos como un problema socioeconómico, tanto en sus causas como en sus consecuencias. “El hombre es uno de los causantes y es quien sufre sus resultados” González (2000). La menor disponibilidad forrajera que afectó la nutrición del ganado, la menor receptividad de los campos que afectó a los stocks ovinos y la disminución de la productividad, provocaron que deba replantearse la compatibilidad de la ganadería extensiva con la conservación del suelo.

Por último, el enfoque sociocultural, enfatiza en el desconocimiento que los productores de ganado ovino-caprino tuvieron y tienen sobre los procesos de degradación del suelo y sobre nociones de un adecuado manejo de los ecosistemas patagónicos para la producción. Autores como Andrade (2002 y 2003) y De Jong (2007), muestran como la incorrecta percepción de las causas del problema de la degradación edáfica por parte de los productores, lleva a la mayoría de ellos a continuar manejando los campos de manera inadecuada.

En lo que respecta a la evaluación de la degradación de los suelos, específicamente por erosión eólica, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han cobrado una importancia creciente y representan una tecnología valiosa. De los diversos productos disponibles, las imágenes obtenidas mediante satélites han sido empleadas en la región patagónica por Del Valle (2003) para la estimación de la desertificación o para cuantificar la cobertura vegetal (Ares et al. 2003),

entre otros. La disponibilidad de imágenes multiespectrales de cierta periodicidad, permite monitorear los cambios en el proceso de erosión eólica Rostagno et al. (2004). El rasgo destacado de los SIG consiste en su capacidad de elaborar modelos espaciales, proceso por el cual, a partir de la combinación de informaciones disponibles, es posible inferir características nuevas acerca de un área. El trabajo de Rivas y Pastor Mogollón (2018) demuestra la utilidad de los SIG en la estimación de la erosión eólica.

Sin embargo, no existen antecedentes locales de estimación de la pérdida de suelos por erosión eólica que permitan dimensionar el grado de afectación del territorio. Tampoco se ha realizado el análisis espacial de los factores físicos y socio ambientales que permitan zonificar la problemática y proponer acciones diferenciadas focalizadas en los ambientes más susceptibles.

2. OBJETIVOS

Objetivo general

- Analizar la pérdida actual y potencial de suelos por erosión eólica en la provincia del Neuquén mediante la aplicación de cartografía temática digital basada en Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Objetivos específicos

- Establecer relaciones entre el potencial erosivo climático y las características ambientales del territorio.
- Estimar la pérdida de suelos por erosión eólica en las condiciones de uso actual del territorio.
- Estimar el potencial erosivo eólico bajo el escenario de pérdida de cobertura vegetal debido a sobreexplotación de los recursos.
- Realizar recomendaciones para la gestión ambiental de la problemática de la erosión eólica en la provincia del Neuquén, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

3. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende la extensión del territorio de la provincia de Neuquén, con una superficie total 94.078 km². Se encuentra ubicada en el extremo septentrional de la Patagonia de la República Argentina, entre 36° 39' y 41°01' de la latitud sur y los 68° y 71 58' de longitud oeste. Hacia al norte el río Colorado es el límite con la provincia con Mendoza, al este un tramo del río Neuquén limita el departamento de la capital de la provincia con Río Negro, al sur el río Limay funciona como límite con Río Negro y al oeste la Cordillera de Los Andes es el límite con la República de Chile (fig. 3.1).

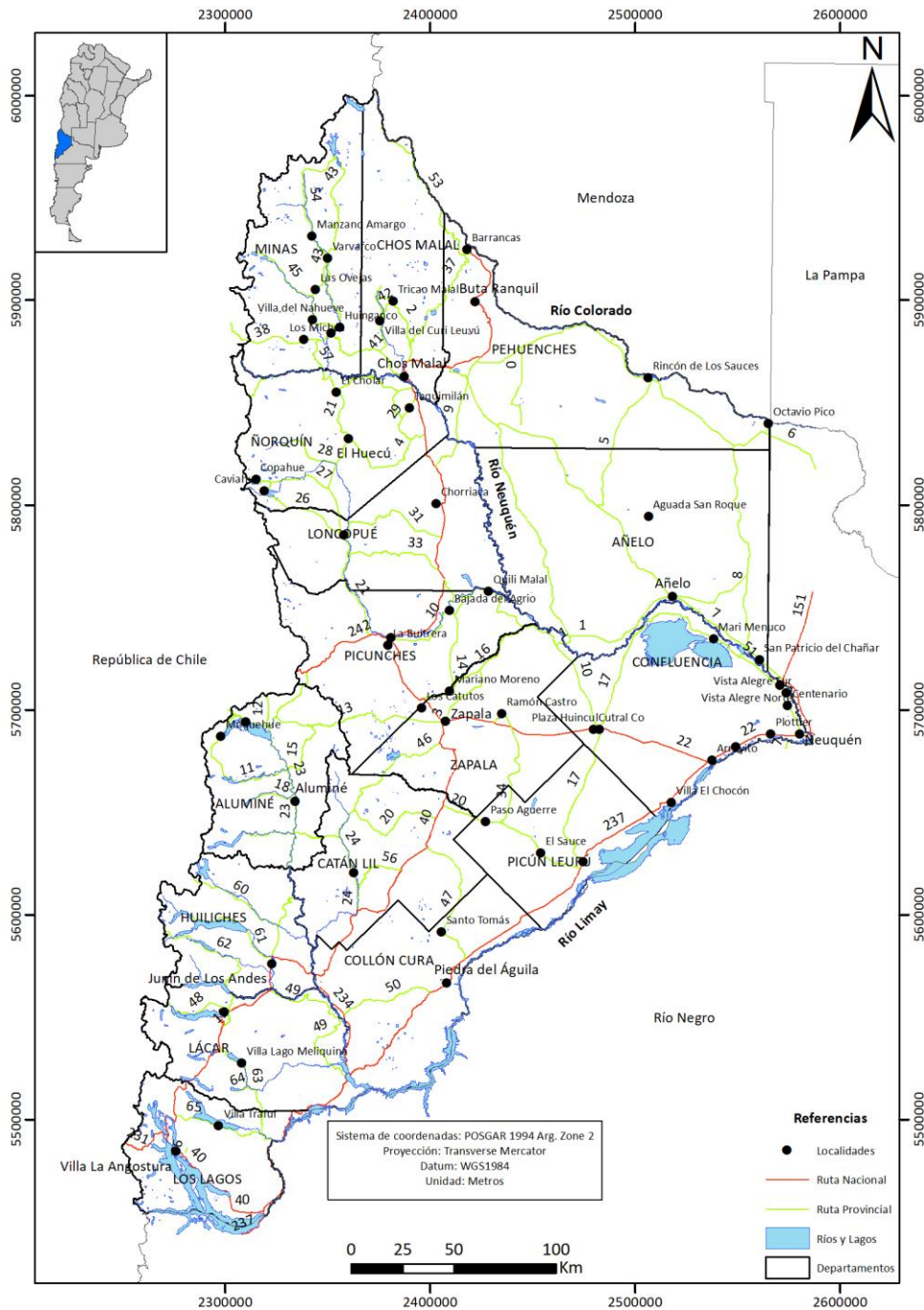


Figura 3.1. Provincia del Neuquén, departamentos, cabeceras departamentales, red vial y principales espejos de agua

3.1. Clima

Pereyra et al. (2011), diferencian dos sectores bien delimitados por una estrecha zona de transición. En el sector occidental, asociado al efecto de los altos de la Cordillera de los Andes y cordones serranos subandinos, los vientos húmedos del oeste descargan la humedad como intensas precipitaciones en una zona reducida, solo extendiéndose hacia el este en dirección transversal de algunos valles cordilleranos. En zonas aledañas al límite internacional, en el extremo sudoccidental de la provincia, las precipitaciones se aproximan a 2500 mm anuales, y

hacia el este las precipitaciones disminuyen hasta los 500 mm en menos de 100 km en sentido oeste-este. En el sector oriental, al este del meridiano 70° 30' O las lluvias disminuyen considerablemente, con precipitaciones de 200 mm, llegando incluso por debajo de los 150 mm. En todos los casos la mayor parte de las lluvias se producen en los meses de invierno. Respecto a la temperatura, la mayor parte del territorio provincial, particularmente la zona oriental presenta temperaturas medias anuales comprendidas entre 12° y 14°C, mientras que la zona occidental, de mayor altura y más expuesta a los vientos del oeste, posee temperaturas medias anuales que oscilan entre 8° y 12°C, con valores menores para las zonas más elevadas. En la zona oriental la isoterma de enero alcanza 21°C y la de julio 5°C, mientras que, en la zona occidental 15° y 3°C, respectivamente.

3.2. Suelos

Ferrer et al. (1990) describen los suelos de la provincia en 5 órdenes dominantes: Entisol, Aridisol, Molisol, Andosol y Alfisol, y en 4 Órdenes subordinados: Inceptisol, Alfisol, Histosol y Vertisol. Los Grandes Grupos más comunes son Torriortente, Torripsamente, Xeropsamente, Torrifluente, Haplacuente y Criortente (fig. 3.2).

Los Entisoles presentan mayor distribución en la provincia, ocupando el 35 % de su superficie, ubicándose en la región árida, aunque, casi todos los suelos cultivados bajo riego corresponden a este Orden. Son suelos de escaso a nulo grado de desarrollo pedogenético, carentes de horizontes diagnósticos, con perfiles simples (A/C) y rasgos heredados de los materiales parentales. Se extienden en zonas de taludes, pendientes controladas por remoción en masa, terrazas fluviales recientes, planicies aluviales y en abanicos aluviales que conforman el piedemonte de los sistemas serranos precordilleranos y presentan alta susceptibilidad a la erosión hídrica.

Los Aridisoles ocupan el segundo lugar en extensión en la provincia, constituyendo suelos de regiones áridas. Dado que se encuentran bajo condiciones de déficit hídrico la mayor parte o la totalidad del año, es frecuente que presenten acumulaciones salinas, calcáreas o bien yesosas cerca de la superficie.

Los Andosoles son suelos con moderado grado de desarrollo careciendo de horizontes diagnósticos excepto un epipedón mólico, melánico o úmbrico. Presentan horizontes de alteración, con evidencias de migraciones de componentes en solución. Su origen se vincula a la presencia de materiales originarios de origen piroclástico debidos a las frecuentes erupciones volcánicas en la zona andina. Se desarrolla en condiciones climáticas de exceso hídrico, poseen propiedades características que no comparten con ningún otro Orden.

Los Molisoles se caracterizan por poseer un epipedón mólico con apreciable contenido de materia orgánica, bien humificada e incorporada a la fracción mineral. Contienen elevada saturación con bases que frecuentemente superan el 80%, asociándose a regiones húmedas y subhúmedas, con vegetación de pradera y/o estepas, extendiéndose en la zona occidental de la provincia, donde se aumenta el excedente hídrico estacional (menor evapotranspiración y mayor precipitación) y desarrollándose en sectores bajos del paisaje, en valles glaciarios y planicies glacifluviales.

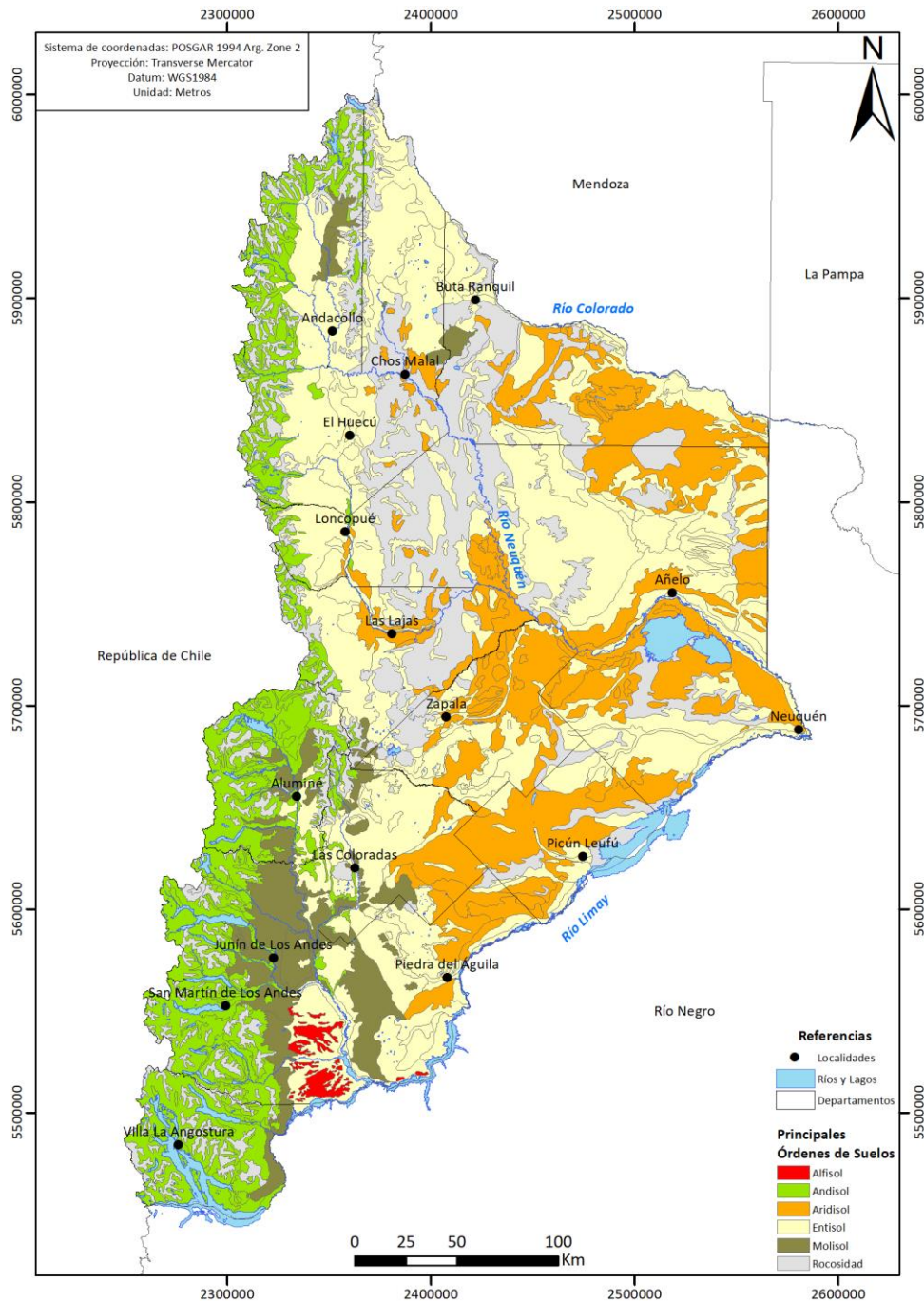


Figura 3.2. Principales órdenes de suelos de la provincia del Neuquén. Fuente: Irisarri (2006)

3.3. Vegetación

De acuerdo a Movia et al. (2007), en la provincia de Neuquén se distinguen tres tipos de formaciones vegetales naturales: bosques, estepa arbustiva herbácea y estepa arbustiva (fig. 3.3). El desarrollo de los distintos tipos de vegetación responde a los factores climáticos y topográficos. El bosque se encuentra en la zona cordillerana, donde las precipitaciones superan los 700 mm anuales. Las especies arbóreas que lo constituyen se van reemplazando según los gradientes latitudinales y altitudinales y en dirección este-oeste. Los árboles dominantes son el pehuén (*Araucaria araucana*), la lenga (*Nothofagus pumillo*), el ñire (*Nothofagus antartica*), el

roble pellín (*Nothofagus obliqua*), el raulí (*Nothofagus nervosa*), el maitén (*Maytenus boaria*) y el notro (*Embotrium coccineum*).

Hacia el este de las formaciones boscosas, se extiende la estepa arbustiva herbácea en donde las precipitaciones se encuentran entre los 500 mm a 200 mm anuales. La vegetación cubre del 20 al 40% de la superficie del suelo, siendo las especies más comunes las gramíneas de hojas duras (*Stipa speciosa*) y el neneo (*Mulinum spionosu*).

La estepa arbustiva se encuentra en áreas con suelos pocos desarrollados y con precipitaciones por debajo de los 200 mm anuales, dominando los arbustos bajos de 1,5 a 2 m de altura, de hojas pequeñas y permanentes, distribuyéndose espaciadamente dejando una gran porción del suelo desnudo. El matasebo (*Monthea aphylla*) y la jarilla (*Larrea cunefolia*) colonizan los sectores mesetiformes, mientras que en los faldeos de las bardas son ocupados por otra especie de jarillas (*Larrea divaricata*) y el alpataco (*Prosopis alpataco*). En el sector de los barreales se exhiben la zampa (*Atriplex lampa*) y la vidriera (*Suaeda divaricata*). En los márgenes de ríos o lagunas permanentes y en los bordes de los escoriales donde se desarrollan zonas de surgencia de agua se encuentran una vegetación densa conocidos como zonas de mallines.

En lo que respecta a la vegetación implantada, se distinguen los valles irrigados y plantados con frutales y cortinas y macizos de salicáceas; los álamos (*Populus spp.*) constituyen, junto con los sauces (*Salix spp.*), la familia de las salicáceas. Las zonas de frutales más relevantes, se concentran en los valles de los ríos Neuquén y Limay, en el departamento Confluencia. Los árboles de manzanas y peras conforman la mayor parte de las áreas plantadas; también cobran significación las plantaciones de vid, frutas de carozo y, en menor medida, frutos secos y finos.

La siembra de pasturas y las superficies destinadas a la horticultura han ido en aumento en los últimos años (Encuesta Provincial Frutícola, 2016 – 2017). Las cortinas y macizos de salicáceas se concentran principalmente en los valles de los ríos Neuquén, Limay y Colorado, totalizando una superficie de unas 720 ha (Inventario Nacional de Plantaciones Forestales bajo riego, 2017).

Las plantaciones forestales de secano, constituyen una importante proporción de la vegetación implantada en la provincia. En la cobertura espacial total de plantaciones, se encuentran diversas especies de los géneros *Pinus*, *Pseudotsuga*, *Populus*, *Salix* y *Ulmus*, además de rodales mixtos, algunos conformados por diferentes especies del género *Pinus* y otros con especies nativas. Las cuencas superiores de los ríos Limay y Neuquén concentran el mayor porcentaje de plantaciones, totalizando unas 63.725 ha para toda la provincia (Inventario Nacional de Plantaciones Forestales en secano, 2017).

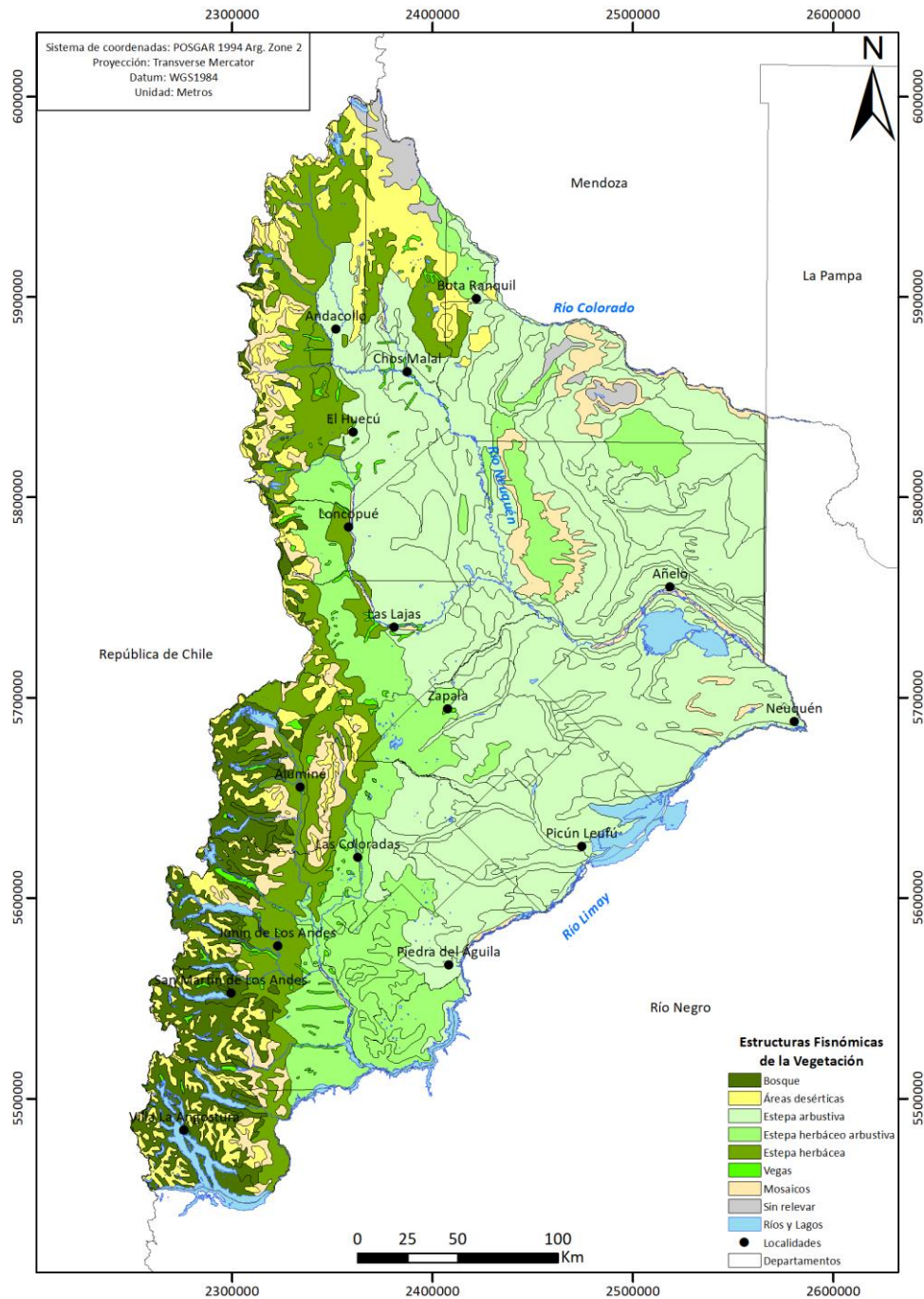


Figura 3.3. Estructuras fisonómicas de la vegetación de la provincia del Neuquén. Fuente: Movia et al. (2006)

3.4. Geomorfología

La geomorfología de la provincia de Neuquén es compleja, por lo que González Díaz y Ferrer (1986), proponen la distinción de acuerdo al proceso que le dio origen, clasificándola en procesos geomorfológicos exógenos y endógenos.

En los procesos exógenos se reconocen geofomas de erosión regional (penillanura preterciaria exhumada). Mas locales son los pedimentos de tipo de flanco y convergentes. Los bajos son

rasgos típicos de la zona extraandina. Las formas agradacionales principales son amplias planicies aluviales de los grandes ríos neuquinos. Las planicies estructurales sedimentarias se pueden dividir en aquellas que presentan secuencia mesozoica con control litológico y aquellas integradas por remanentes de depósitos conglomerádicos con cementación de CO_3Ca . En la región occidental la secuencia mesozoica está deformada por la tectónica terciaria, donde se desarrollan una asociación morfológica de cuevas, crestas homoclinales y espinazos. En zonas cordilleranas, estas geoformas son reemplazadas por anticlinales (a veces aportillados) y sinclinales. La morfología kárstica tiene escaso desarrollo en Neuquén en el yeso del Grupo Bajada del Agrio (Fm. Huitrín), como dolinas de escasa profundidad. La remoción en masa tiene buena expresión en territorio neuquino, alcanzaron su máximo desarrollo durante el Postglacial, ocasionados por sismos (actividad neotectónica), y ocasionalmente por precipitaciones (flujos densos). Las avalanchas de rocas se dan en el área cordillerana, mientras que las corrientes de tierra aparecen concentradas en el área del curso superior del río Aluminé. La geomorfología glaciar relacionada con la glaciación pleistocena- está concentrada en dos centros menores y aislados: las Cordilleras del Viento y la Sierra del Chachil. Las geoformas eólicas alcanzan escasa significación, predominan regionalmente los montones de arena y plumas eólicas, y se observan en el plateau de Auca Mahuida, mientras que los campos de dunas longitudinales se hallan en el Bajo del Añelo.

Los procesos endógenos están esencialmente representados en Neuquén por geoformas volcánicas, de carácter regional, como los campos volcánicos y los campos lávicos y, localmente, representadas por calderas, cráteres, grandes aparatos volcánicos, coladas y conos monogénicos, dominando por la composición basáltica. Las geoformas relacionadas con fases mesosilíceas y ácidas: planicies ignimbríticas, cuerpos extrusivos como domos y bulbos lávicos. La exhumación de cuerpos subvolcánicos y diques, generó geoformas relevantes en el paisaje mesozoico entre los 38° y $38^\circ 30' \text{ S}$ y el meridiano 70° O . El tectonismo, se expresa morfológicamente en escarpas de falla, tiene buena expresión en Neuquén, un ejemplo se da en la falla que limita por el oeste el hemigraben del Collón Cura y aquellas que integran el Sistema de Fallas de Antiñir-Copahue, en el noroeste cordillerano. En la figura 3.4, se resume la geomorfología de la provincia del Neuquén (Dufilho et al. 2002).

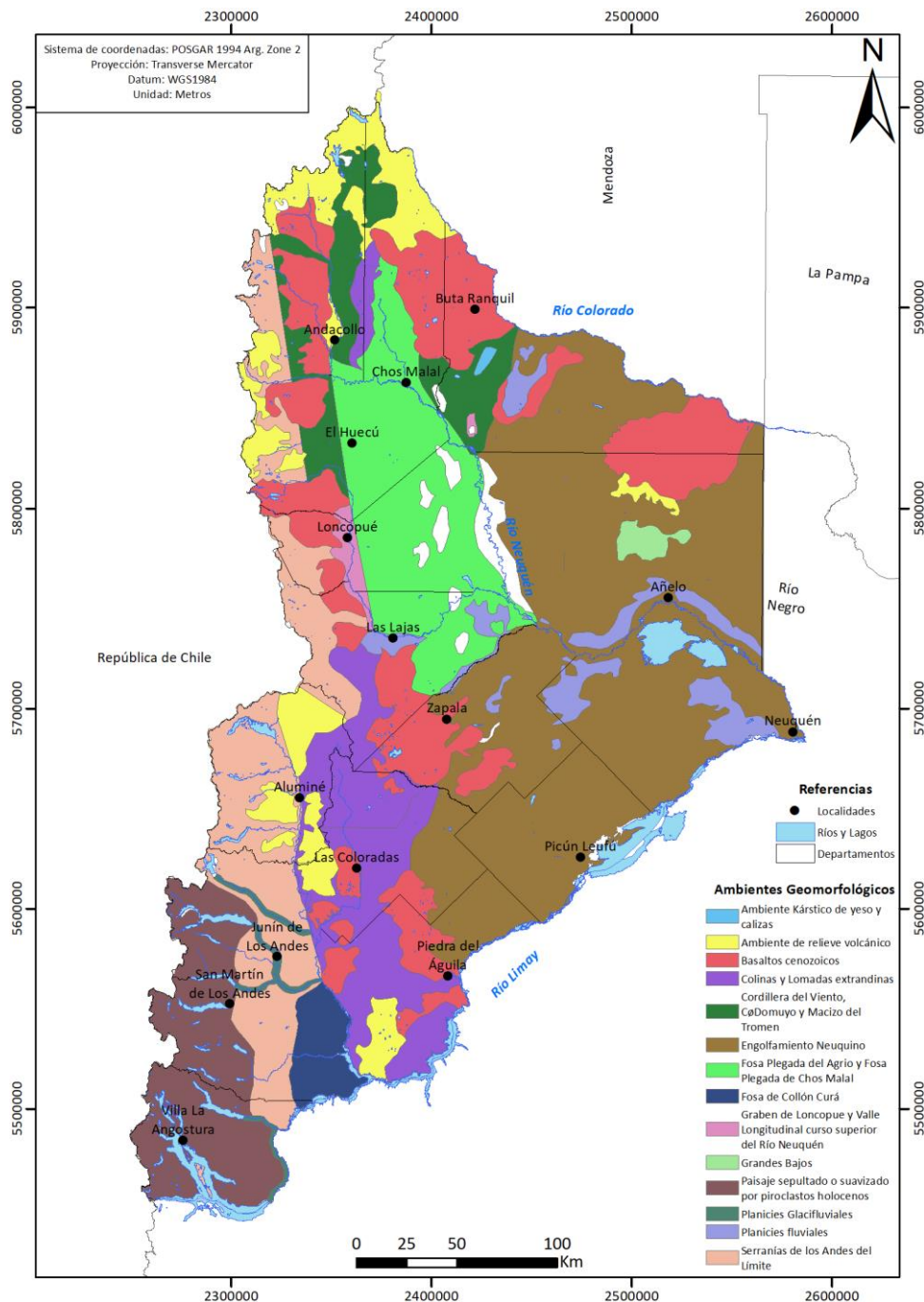


Figura 3.4. Mapa geomorfológico de la provincia del Neuquén. Fuente: Dufilho et al. (2002)

3.5. Geología

En la provincia de Neuquén se entran complejos eventos geológicos, donde en gran parte de su territorio se extiende la Cuenca Neuquina, una cubeta donde su estratigrafía ha sido detalladamente estudiada hasta unos 4.000 m de profundidad (fig. 3.5).

Las rocas más antiguas, paleozoicas, son preservadas en el noroeste del Neuquén y perteneciente al Grupo Andacollo (Danieli et al. 2011), a partir de entonces, comienza la gestación de la Cuenca Neuquina (Arregui et al. 2011). Así mismo las rocas pertenecientes a la

provincia magmática Choiyoi forman gran parte del basamento de la Cuenca Neuquina, y fue parcialmente exhumada durante la fase compresiva cretácica tardía que modeló la Faja Plegada y Corrida Agrio, al suroeste de la cuenca, entre los lagos Aluminé y Lácar, forma parte del basamento cristalino, constituido por rocas metamórficas y cuerpos ígneos cuyas edades se expanden entre el Silúrico Tardío y el Pérmico Temprano.

Las rocas del Precuyano que agrupan a un conjunto de depósitos de naturaleza piroclástica, volcánica y epiclástica, conforman parte del relleno inicial de la Cuenca Neuquina (Carbone et al. 2011). Estos depósitos afloran desde el cerro Domuyo hasta la porción sur de la cordillera del Viento en el norte neuquino, en los alrededores del macizo de los cerros Chachil, y en cercanías a la ciudad de Piedra del Águila.

Los depósitos del Grupo Cuyo, comprenden el primer ciclo sedimentario marino que se depositó en la Cuenca Neuquina (Arregui et al. 2011). Es de particular relevancia ya que inicia la historia de la cuenca como receptora de sedimentos marinos. Está integrado por un conjunto de rocas clásticas que representan ambientes marinos distales (Formación. Molles), litorales (Formación. Lajas), continentales (Formación Challacó y Punta Rosada) y evaporitas (Formación Tábanos). En la región suroeste y oeste de Neuquén el Grupo Cuyo muestra extensas y bien representadas exposiciones hasta el norte de la sierra de la Vaca Muerta. Desde allí hasta la región de Chos Malal solo existe un reducido sector de afloramientos en la desembocadura del arroyo Mulichinco sobre el río Agrio.

El Grupo Lotena constituye el segundo ciclo sedimentario del relleno de la Cuenca Neuquina (Arregui et al. 2011). Está constituido por sedimentos silicoclásticos (Formación Lotena), carbonatos (Formación La Manga y Barda Negra) y evaporitas (Formación Auquilco), aflora en el anticlinal de Picún Leufú, a lo largo de la sierra de la Vaca Muerta, Loncopué, oeste de Chos Malal, Chacay Melehue y Vega de la veranada.

Los depósitos sedimentarios subsiguientes corresponden al Jurásico superior constituyen un potente complejo de sedimentos, representado por la Formación Tordillo, aflorando en la Sierra de la Vaca Muerta, donde constituye el núcleo de un anticlinal. También puede observarse en el arroyo Covunco, Mulichinco y en el río Agrío (Spalletti et al. 2011). La formación Vaca Muerta compuesta por pelitas y calizas finas con alto contenido de material orgánico, se distribuye desde la región cercana a Piedra del Águila a través de la comarca de Picún Leufú y Chacaico en el oeste neuquino, continua al norte por la sierra de la Vaca Muerta, cruzando los ríos Agrío y Neuquén (Leanza et al. 2011). Por encima los depósitos de la Formación Mulichinco constituye un paquete predominantemente arenoso con sedimentitas continentales y marinas intercalado entre dos unidades marinas en las que prevalecen sedimentitas de grano fino, los afloramientos se desarrollan en una faja desde el norte de la Dorsal de Huincul hasta el sur de la provincia de Mendoza (Schwarz et al. 2011). Las sedimentitas marinas que constituyen buena parte del registro de la Formación Agrío afloran con una notable continuidad a lo largo del sector andino, desde la Alta Cordillera del norte de la provincia de Mendoza hasta la Fosa del Agrío (Spalletti et al. 2011).

Los depósitos del Cretácico Temprano se desarrollan en una etapa de restricción marina, con depósitos carbonáticos y evaporíticos de la Formación Huitrin, con afloramientos que se extienden en una faja desde la ciudad de Las Lajas hasta el norte de Buta Ranquil (Leanza, 2003). La Formación Rayoso, conformada por un intervalo con intercalaciones de evaporitas y capas rojas, aflora en amplios sectores del centro-oeste de la Cuenca Neuquina (Leanza et al. 2011).

Los depósitos continentales de origen fluvial, eólico y lacustre somero del Grupo Neuquén del Cretácico Tardío se extienden en toda la región extraandina, desde el pie de la faja plegada y corrida hasta el oeste de la provincia de Río Negro (Garrido, 2010).

El Grupo Malargüe, depositado durante el Paleoceno, está formado por depósitos sedimentarios continentales y marinos acumulados en posiciones orientales de la provincia (Rodríguez, 2011).

Al pie de la cordillera principal y hacia los sectores occidentales se encuentran las rocas volcánicas del Paleógeno, del Neógeno y del Cuaternario como así también los sedimentos sinorogénicos y tafrogénicos del Neógeno y Cuaternario derivados de las etapas de alzamientos de la cordillera (Folguera et al. 2011).

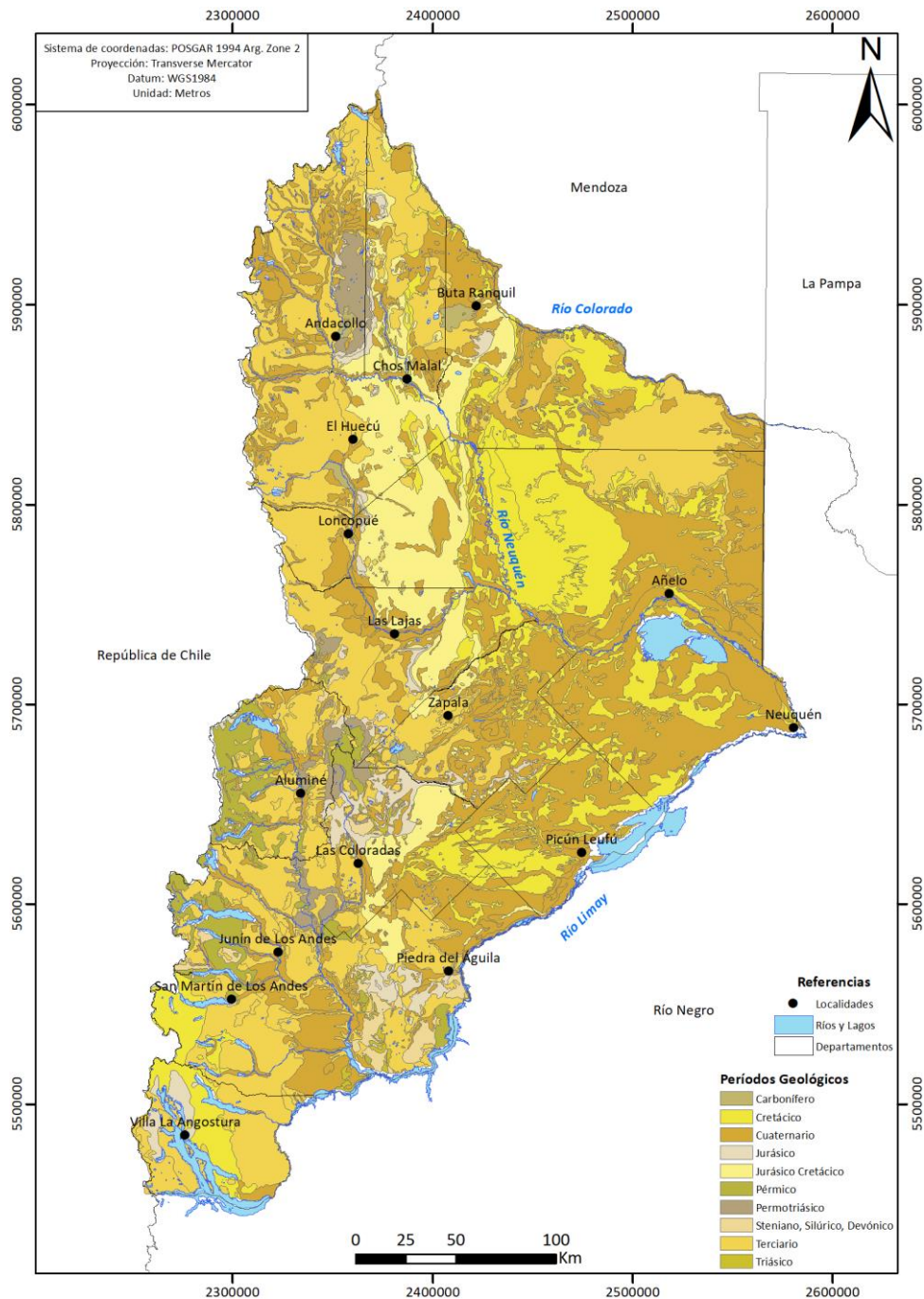


Figura 3.5. Períodos geológicos de la provincia del Neuquén. Fuente: Dufilho et al. (2002)

3.6. Usos del suelo

La figura 3.6, muestra los principales usos del suelo que se identifican en el territorio de la provincia del Neuquén. La ganadería, en sus diferentes clases, es sin dudas el uso más importante en cuanto a superficie comprometida, seguido por la actividad hidrocarburífera (tabla 3.1.). Un dato importante a considerar es que, si se suman los porcentajes de uso de los distintos tipos de ganadería, se obtiene una proporción de uso del suelo para la actividad ganadera de casi el 46%, lo que denota su importancia territorial (fig. 3.7.). El polígono del mapa que delimita la distribución espacial de la explotación de hidrocarburos, está compuesto por pozos convencionales y no convencionales, acueductos, oleoductos y gasoductos, baterías y locaciones, siendo la superficie de suelos afectada a este uso del suelo, de aproximadamente el 23%, superponiéndose casi en su totalidad con la ganadería extensiva.

La actividad ganadera y la hidrocarburífera conviven íntimamente, y son las más importantes en las regiones naturales árida mesetiforme, árida serrana, subhúmeda de planicies, colinas y serranías y subhúmeda montañosa; el uso del suelo para la región andina húmeda montañosa, queda definido por los parques nacionales y provinciales y también por zonas boscosas y afloramientos rocosos no incluidos en las áreas de parques. Puede decirse que los suelos comprometidos a los parques nacionales y provinciales dentro de la región andina húmeda montañosa, las cuales se constituyen como áreas destinadas a la conservación, no representarían zonas en las que existan procesos significativos de erosión eólica, dada su elevada cobertura vegetal y su baja agresividad climática.

Sobre la extensa porción de terreno en la que se practica la ganadería muy extensiva y la explotación de hidrocarburos, coincidente mayoritariamente con las regiones naturales árida mesetiforme y árida serrana, se enclava gran parte de las tierras pertenecientes a comunidades mapuches reconocidas, al igual que la mayoría de las rutas de arreo utilizadas para los ciclos de veranada e invernada.

En lo que respecta a la explotación de hidrocarburos, la actividad se radica claramente al este de la provincia, principalmente sobre la región árida mesetiforme. Se distinguen 4 polos que concentran la mayor parte de la infraestructura correspondiente a la actividad, a saber, el de Rincón de los Sauces, el de Añelo, el de Plaza Huincul y Cutral Có y el ubicado en las inmediaciones de la ciudad de Neuquén y Centenario.

Las regiones naturales subhúmeda de planicies, colinas y serranías y la andina subhúmeda montañosa contienen prácticamente todas las porciones de terreno destinado a la explotación forestal, desarrollada en la provincia del Neuquén por la Corporación Forestal Neuquina Sociedad Anónima (CORFONE S.A.). Si bien no representa una superficie demasiado significativa, se supone que los suelos sometidos a la explotación forestal, se encuentran protegidos frente a la erosión eólica.

En la provincia del Neuquén, pueden identificarse numerosas áreas bajo riego, las cuales se distribuyen a lo largo de las cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Colorado, junto con sus correspondientes afluentes. Se han hecho importantes diques y embalses sobre los ríos Limay y Neuquén con el fin de aprovechar su caudal y controlar las crecidas para facilitar y mejorar las áreas de riego. Estos emprendimientos, han posibilitado el surgimiento y expansión de las plantaciones bajo riego de frutales en el Alto Valle (FAO, 2015).

En referencia a los suelos comprometidos a los ejidos urbanos de las localidades de la provincia, es importante destacar que la mayor parte de ellos contienen un bajo porcentaje de áreas urbanizadas en comparación con la extensión total del ejido, situación que sucede más frecuentemente en las localidades del interior de la provincia. Esto hace pensar que, si bien la proporción de territorio destinada a los ejidos es considerable, no refleja la cifra de superficie real de suelos bajo utilización urbana. La excepción es el conglomerado urbano conformado por Neuquén, Centenario, Vista Alegre, Plottier y Senillosa.

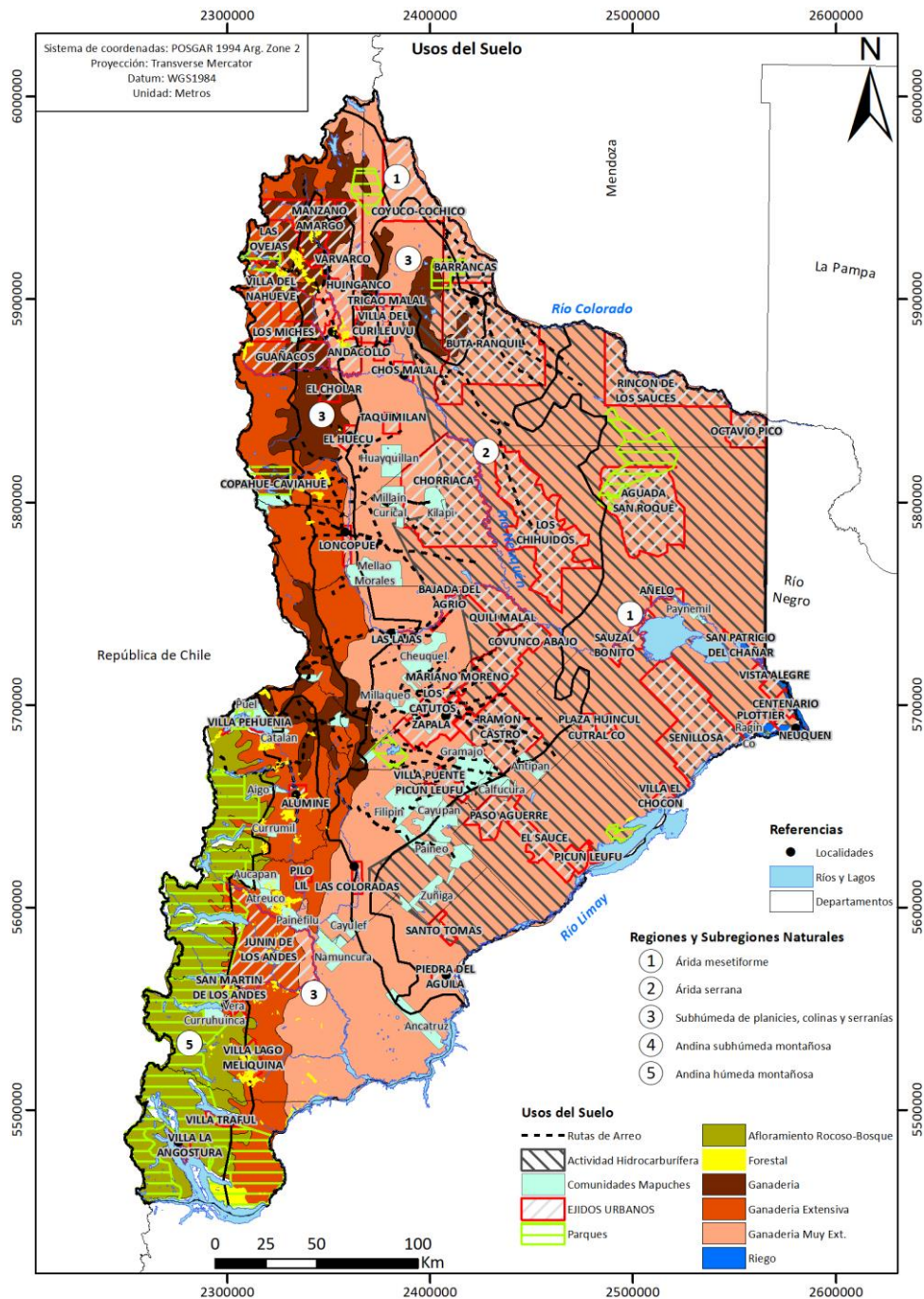


Figura 3.6. Principales usos del suelo de la provincia del Neuquén. Fuente: catálogo GIS de la Secretaría del Consejo de Planificación y Acción para el Desarrollo (COPADE)

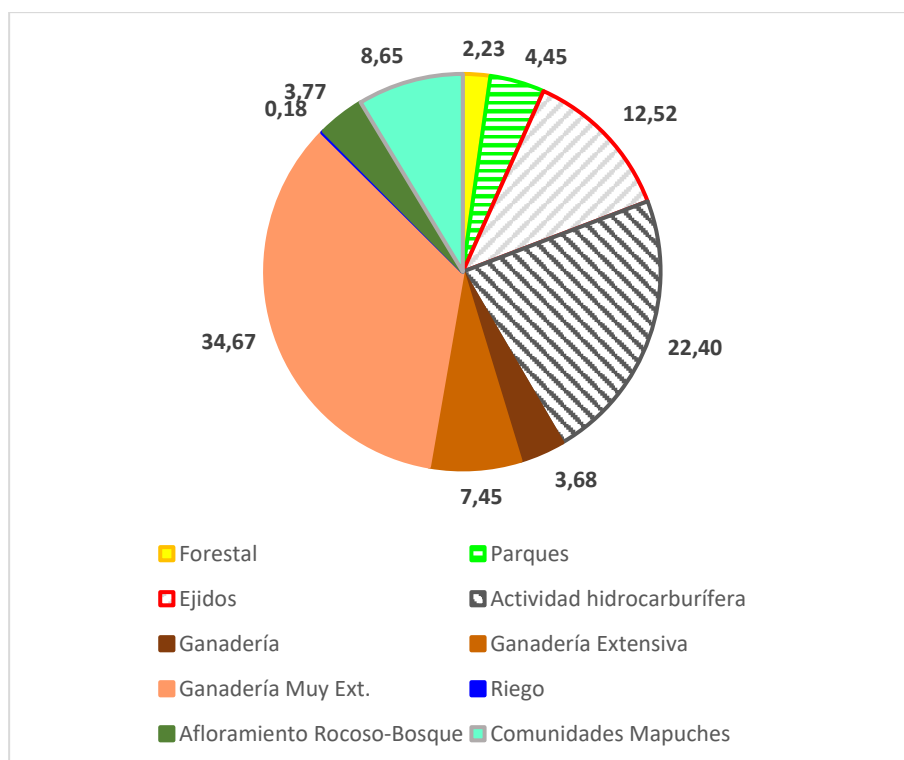


Figura 3.7. Principales usos del suelo de la provincia del Neuquén. Fuente: elaboración propia en base al catálogo GIS de la Secretaría del Consejo de Planificación y Acción para el Desarrollo (COPADEV).

En la tabla 3.1., se incluyen las superficies de los usos de suelo que se mencionan en este trabajo. Nótese que la superficie total resultante de la sumatoria de todos los usos de suelo, es superior a la superficie del territorio provincial, lo que se debe a que muchos suelos están sometidos a más de un uso.

Tabla 3.1. Superficie de los usos del suelo de la provincia del Neuquén. Fuente: elaboración propia en base al catálogo GIS de la Secretaría del Consejo de Acción para el Desarrollo (COPADEV).

Usos del suelo	Superficie (km²)
Forestal	4198,55
Parques	8366,70
Ejidos	23541,91
Actividad Hidrocarburífera	42095,64
Ganadería	6916,66
Ganadería Extensiva	14010,87
Ganadería Muy Ext.	65161,06
Riego	329,45
Afloramiento Rocoso-Bosque	7091,94

Comunidades Mapuches	16253,62
TOTAL	187966,4

Como se puede apreciar, múltiples usos de suelo se solapan y conviven en un territorio por demás heterogéneo, lo que somete al recurso suelo en muchas ocasiones, a una utilización indiscriminada que excede su capacidad de resiliencia, lo cual puede aumentar su vulnerabilidad a la erosión y terminar por desencadenar su degradación.

3.7. Población

Según el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas del año 2010 elaborado por Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC), en la provincia del Neuquén existían 46.254 pobladores en zonas rurales entre agrupados y dispersos, cifra que refleja alrededor de un 10% de una población total de 551.266 habitantes. La población rural agrupada es aquella que habita en localidades con menos de 2.000 habitantes, mientras que la población rural dispersa está conformada por las personas que residen en campo abierto, sin constituir centros poblados.

La Dirección provincial de Estadística y Censos de la provincia del Neuquén, en base a datos del INDEC, elaboró una proyección de población total y densidad de población según departamentos para el año 2020, cuyos resultados se muestran en la figura 3.8 y la tabla 3.2. La población provincial total para el año 2020, se estimó en 664.057 habitantes, mientras que la densidad poblacional promedio fue de 7,1 hab/km², siendo este último valor muy variable en el territorio.

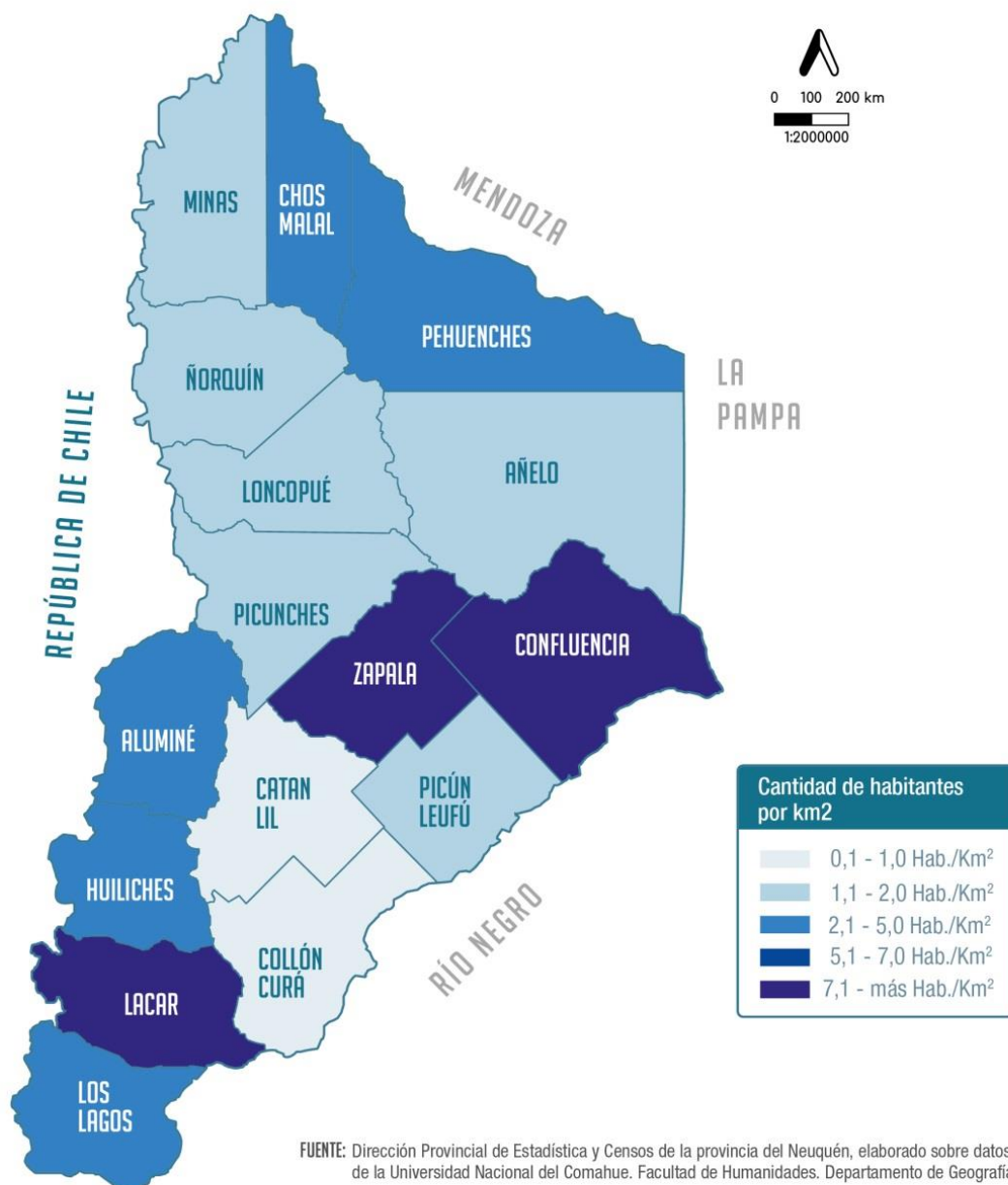


Figura 3.8. Proyección de población total y densidad de población según departamentos para el año 2020. Fuente: Dirección provincial de Estadística y Censos de la Provincia del Neuquén

Tabla 3.2. Proyección de población total y densidad de población según departamento, año 2020. Fuente: Dirección provincial de Estadística y Censos de la Provincia del Neuquén

Departamento	Población Total	Superficie (km ²)	Densidad de población (hab/km ²)
Aluminé	11.718	4.660	2,5
Añelo	16.622	11.655	1,4

Catan Lil	2.896	5.490	0,5
Chos Malal	17.229	4.330	4,0
Collón Curá	4.918	5.730	0,9
Confluencia	426.804	7.352	58,1
Huiliches	17.842	4.012	4,4
Lacar	37.756	4.930	7,7
Loncopué	7.858	5.506	1,4
Los Lagos	17.647	4.230	4,2
Minas	7.935	6.225	1,3
Ñorquín	6.029	5.545	1,1
Pehuenches	35.081	8.720	4,0
Picún Leufú	5.282	4.580	1,2
Picunches	8.069	5.913	1,4
Zapala	40.369	5.200	7,8
TOTAL	664.057	94.078	7,1

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Mecanismos de transporte por el viento

La erosión eólica, está constituida por los fenómenos de desprendimiento, transporte y depósito. La capacidad erosiva del viento, es incrementada sustancialmente cuando el desprendimiento incorpora al flujo de aire las partículas más pequeñas del suelo. El impacto de estas, provoca que los agregados edáficos se disgreguen o se destruyan, lo cual produce aún más partículas capaces de sumarse al flujo erosivo.

El transporte de las partículas removidas involucra tres mecanismos: saltación, reptación y suspensión (fig. 4.1). La manera en que son transportadas las partículas se explica considerando sus propiedades aerodinámicas (densidad, tamaño y forma) y la aptitud de traslado del viento, la cual depende, a su vez, de la densidad, turbulencia y viscosidad del flujo de aire.

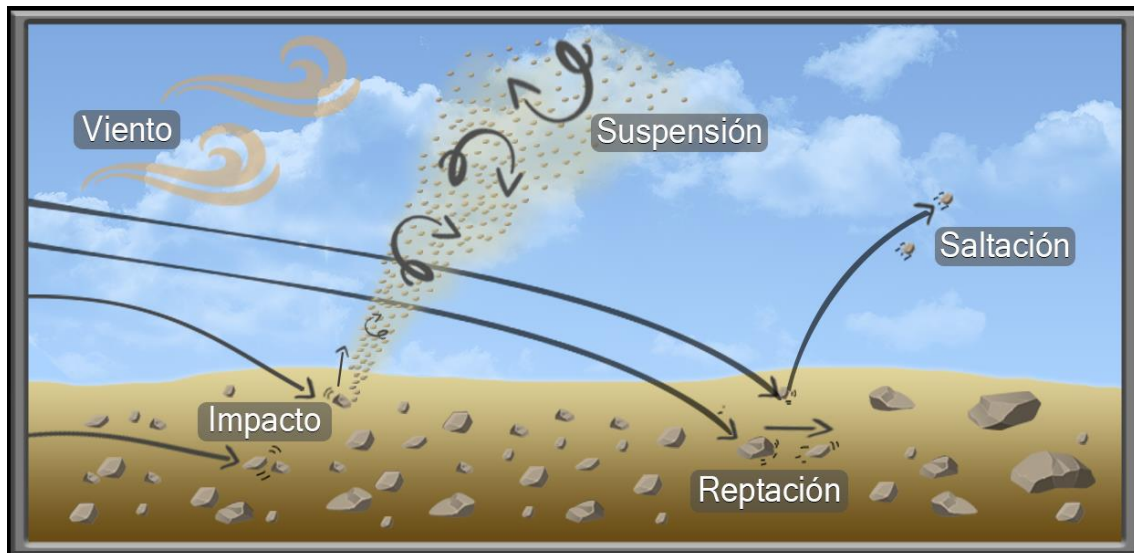


Figura 4.1. Modos de transporte de partículas por el viento. Elaboración propia en base a Solé-Benet et al. (2021).

4.1.1. Saltación

Es el mecanismo de transporte de mayor importancia. Las partículas trasladadas por saltación se mantienen a distancias cercanas al suelo, frecuentemente menores a 30 cm. Las partículas que se desplazan por saltación suelen ser arenas muy finas a arenas medias, cuyas dimensiones oscilan entre los 0,05 a 0,5 mm. Se requieren diferentes velocidades críticas para el desprendimiento de partículas de tamaños variables. La mínima velocidad crítica adquiere valores de 0,15 m/s y se corresponde con partículas de 0,10 a 0,15 mm, y aumenta para las partículas de mayor tamaño como para las de menor tamaño. Las partículas de mayor tamaño, requerirán valores de velocidad crítica superiores debido a su elevado peso, en tanto que las partículas de menor tamaño se encuentran protegidas por las de mayor tamaño a su alrededor, y poseen además una cohesión superior. El proceso de saltación, puede comprender entre el 50% y el 90% de los sedimentos transportados, tomando en consideración el tipo de suelo y la naturaleza de los vientos (Savat, 1982).

4.1.2. Rodadura o reptación

El fenómeno de reptación, se entiende como el rolado y deslizamiento de los sedimentos de mayor tamaño sobre la superficie del suelo, se beneficia de la colisión de las partículas que son transportadas por saltación, y es probable que implique como mínimo un 5% y como máximo un 25% del material trasladado en una zona en particular. Las partículas movidas por reptación cuentan con tamaños que varían entre los 0,5 y los 2 mm. En numerosas oportunidades, el material cuyo diámetro varía de 1 a 2 mm, que pudiera haber sido arrastrado limitadas distancias por reptación compone, junto con las gravas de mayor tamaño, el suelo residual que puede hallarse en sitios afectados muy gravemente por la erosión (Rostagno et al. 2004).

4.1.3. Suspensión

El proceso de suspensión es quizás el más visible y explica el desplazamiento de las partículas de menores tamaños, específicamente aquellas inferiores a 0,2 mm, las cuales suelen viajar extensas distancias a gran altitud y son capaces de mantenerse suspendidas por mucho tiempo. Las tormentas de polvo son la máxima manifestación del fenómeno de suspensión, las cuales pueden implicar considerables pérdidas de suelo, aunque por lo general no superan el 15% de las pérdidas totales de suelo por erosión eólica (Rostagno et al. 2004).

4.2. Principales factores que controlan la intensidad de la erosión eólica

La potencia de la erosión eólica, depende de la erosividad del viento y de la erodabilidad de los suelos (la susceptibilidad o facilidad de desprendimiento y transporte de las partículas por el viento).

La resistencia al transporte y el desprendimiento de las partículas se conoce como erodabilidad, y toma en consideración las propiedades constitutivas del suelo para establecer la aptitud que tiene a ser erosionado. En este sentido, la variable de mayor importancia a la hora de definir la resistencia a la erosión son las características del suelo, aunque también es preciso considerar su cobertura vegetal y los usos a los que está sometido, ya que esto definirá el tipo de alteraciones por las que se verá afectado (Rostagno et al. 2004). La composición granulométrica y la resistencia a la alteración de los agregados, son variables fundamentales a la hora de definir la erodabilidad. La eficiencia con la que el viento desprende o traslada las partículas individuales del suelo, está influenciada por su forma, densidad y diámetro. La arena gruesa y muy gruesa, al igual que las gravas, se componen de granos aislados de notable tamaño y peso, lo que reduce su tendencia a ser trasladados por el viento debido al mayor esfuerzo requerido para movilizarlos; por el contrario, las partículas comprendidas en el tamaño de las arcillas (extremadamente finas y livianas), son muy poco susceptibles al desprendimiento por ser altamente cohesivas. Los granos de limo y los de arena muy fina, cuyos diámetros varían de 0,002 a 0,05 mm y de 0,05 a 0,10 mm respectivamente, son los más susceptibles a ser erosionados.

La mayor parte de los suelos se encuentran estructurados en diferentes niveles de desarrollo. La estructura está conformada por terrones, pedos o agregados que, a su vez, son el resultado de la cementación mediante diferentes sustancias y mecanismos de fragmentos aislados de origen diverso. La erodabilidad de los suelos, está definida fundamentalmente por la estabilidad de esas unidades estructurales o agregados. Un suelo con una estructura evolucionada, que se compone por agregados resistentes a la erosión, contendrá probablemente un reducido número de partículas no cementadas lo suficientemente diminutas para ser movilizadas por el viento, por lo que la magnitud de la abrasión producida es ínfima, gracias a la resistencia mecánica de los pedos y al aporte limitado de material con capacidad abrasiva. Por tales razones, la erosión eólica es baja, mientras que los suelos con estructuras lábiles y un suministro inicial suficiente de material erosionable, pueden erosionarse de manera acelerada (Chepil and Woddruff, 1963).

La textura, la materia orgánica y la humedad de los suelos, son variables determinantes para definir la potencia del proceso de agregación y por ende la estabilidad de los agregados. El contenido de humedad, determina en gran medida la vulnerabilidad de un suelo a ser

erosionado por el viento, por ello en los suelos húmedos, la fuerza de atracción entre el agua y los sedimentos (adhesión), previene eficientemente los mecanismos de erosión eólica. En lo que respecta a las texturas arenosas, son capaces de retener cantidades muy limitadas de agua y ésta es eliminada con facilidad debido a la demanda atmosférica, por lo que los fenómenos de cohesión entre los fragmentos se tornan despreciables. Esta situación es fácil de percibir en zonas de playa durante la bajamar, períodos de tiempo durante los cuales la superficie se seca y si los vientos soplan con la intensidad necesaria, la baja cohesión posibilita el desplazamiento de la arena. La erodabilidad de los suelos disminuye en función del aumento de la humedad al cuadrado hasta un potencial de 1,5 MPa, a partir del cual la erosión se detendría (Chepil, 1953).

La textura de los suelos, se relaciona íntimamente con su capacidad para poder conservar la humedad. Generalmente, cuando en el suelo predominan texturas finas con contenidos elevados de limos y arcillas, la cantidad de agregados estables es superior y consecuentemente la erodabilidad del suelo disminuye. En cambio, texturas con proporciones elevadas de arenas, restringen considerablemente la formación de agregados, por lo que los suelos son sumamente erodibles. Las texturas con altos contenidos de arcillas, benefician la creación de agregados sustancialmente menos lábiles frente a la abrasión, que los agregados cuyo material de partida son texturas limosas.

La rugosidad del suelo, es un componente sustancial para el manejo de la erosión eólica, ya que es posible incrementarla a través de la utilización de herramientas de laboreo específicas. En el año 1983, Castro ejecutó en el sudoeste de la provincia de Chubut, una serie de tareas de acanalado (construcción de zanjas y orillas con orientación perpendicular a la dirección del viento dominante) con el objetivo de intentar contrarrestar el progreso de dunas y lenguas de erosión. El incremento de la rugosidad de los suelos, producto de la distribución a diferentes alturas del material retirado de las cavidades, conduce a una reducción de la velocidad del viento, mientras que los surcos cumplen la función de atrapar los fragmentos movilizados por los mecanismos de reptación y saltación. En suelos cuyo porcentaje de fragmentos gruesos es importante, se genera una especie de pavimento protector de la superficie del suelo, producto del retiro específico de las partículas finas, lo cual acrecenta la rugosidad del suelo y contribuye a reducir la tasa de erosión eólica.

La sustracción de partículas, está altamente condicionada por la longitud del campo en la dirección del viento, ya que la distancia viento abajo incrementa el torrente de partículas. El flujo de sedimentos adquiere su máxima expresión para ese viento, cuando el área tiene la extensión suficiente.

La velocidad del viento, en particular las ráfagas con velocidades muy superiores a la velocidad media, juegan un rol decisivo en la remoción de partículas. Algunos trabajos (Wilson and Cooke, 1980; Fryrear and Saleh, 1993) indican que para que las partículas de suelos de texturas gruesas (arenosa a franco arenosa) y baja rugosidad, comiencen a desplazarse, son necesarias velocidades de entre 5 y 7 m/s (18 y 25 km/h). Las arenas finas y sueltas, desprovistas de protección, pueden comenzar a ser transportadas por vientos menores a 1 m/s.

4.3. Principales causas que desencadenan la erosión eólica

La erosión eólica, puede ser potencialmente desencadenada e incrementada, a causa de alteraciones de cualquier índole sobre la superficie del suelo, que provoquen una degradación de la cobertura vegetal o una reducción de la cantidad de restos de materia orgánica.

El pastoreo del ganado doméstico en zonas naturales de pastizales, es capaz de degradar la cobertura vegetal hasta límites a partir de los cuales la erosión eólica comienza a incrementarse de manera alarmante (Castro, 1983). Un porcentaje de cobertura vegetal inferior al 20%, es aún considerado un valor eficaz para resguardar la superficie del suelo, sin embargo, el pastoreo indiscriminado ha contraído los porcentajes de cobertura vegetal a valores menores al 5% en algunos sitios.

Otra amenaza seria para los pastizales naturales son los incendios, lo cuales son capaces de dejar el suelo completamente indefenso, aumentando así la erosión eólica a magnitudes muy altas. En las regiones semiáridas con ciclos de cultivo primavera-verano, el suelo puede mantenerse desnudo a finales del invierno y comienzos de la primavera, períodos de tiempo en los que la potencia del viento es más fuerte y la erosión eólica se expresa muy severamente.

En este sentido, la provincia del Neuquén presenta prácticamente todas las características que tienden a potenciar la erosión eólica, tales como condiciones climáticas de aridez en la mayor parte de su territorio y actividades humanas que fomentan la degradación de los suelos, a saber, la cría de ganado principalmente caprino, ovino y bovino, la extracción de áridos y la explotación de hidrocarburos, entre otras.

4.3.1. La explotación ganadera y la degradación edáfica

La explotación ganadera y su relación con la degradación edáfica, involucra distintas líneas de investigación para el armado del estado de la cuestión. La mayor cantidad de trabajos existentes sobre el tema utilizaron un enfoque ecológico-ambiental, aunque también se observan muchos estudios enmarcados dentro de la problemática socio-económica y en menor medida la socio-cultural.

Enfoque ecológico-ambiental

Un ecosistema menos diverso, es menos resiliente ante cualquier cambio no asimilado que se produzca en él (Lewis, 1995). La intervención antrópica tiende a simplificar los ecosistemas, siendo la explotación ganadera principalmente ovina y caprina en la estepa Patagónica, la que ha degradado los suelos de forma más significativa.

En las décadas de 1940 y 1950, el Ing. Agr. A. Soriano pudo constatar alteraciones de consideración en la vegetación producto del pastoreo ovino en la Patagonia. Estos cambios fueron estudiados posteriormente por Borrelli et al. (1983, 1990). Más recientemente, Ares et al. (2003) analizaron la intensidad de los cambios estructurales producidos en la vegetación por el sobrepastoreo, mediante el análisis de parches de vegetación en la provincia de Chubut. Golluscio y Mercau (1994), en línea con los autores anteriores y mediante un abordaje a nivel ecosistémico, argumentan la desertificación es proseguida por una xerofitización.

Soriano y Movia (1986), se encomendaron la tarea de verificar los recursos y medidas que pudieran adoptarse para mitigar la desertificación. Como resultado, concluyen que, en el Plan de Reactivación Económica de 1980, no hubo indicios que traten la desertificación, para lo cual debieron analizar el estado de los ecosistemas y luego sugerir líneas de intervención para dichos

ambientes. En años venideros, y en concordancia con lo expuesto, proyectos como el PRECODEPA (1989)¹, LUDEPA² (1990), PAN³ (1996) y otros, fueron concebidos para fomentar la agricultura y la ganadería sostenibles en la Patagonia.

La asignación más precisa de la carga ganadera podría ser capaz de detener algunos procesos de degradación edáfica inducidos por el sobrepastoreo. Golluscio et al. (2008), suministran metodologías para calcular las cargas ganaderas adecuadas correspondientes a diferentes ecosistemas. Henestrosa (1983), esboza una alternativa ideada por la Fundación Vida Silvestre Argentina (FVSA) y William Conway (2006), quienes evalúan al guanaco como animal que podría reemplazar a la oveja dado su impacto sustancialmente menos degradante para el ambiente. Aunque la cría del guanaco produce menores beneficios económicos, permite mitigar la pérdida del recurso suelo dado que la alteración ecosistémica que produce por el sobrepastoreo es de menor magnitud en comparación con la provocada por la oveja.

Cada estrategia de manejo conlleva un determinado nivel de incertidumbre. Soriano y Paruelo (1990), estudiaron la dimensión de las alteraciones experimentadas por la vegetación en un estudio de caso en noroeste de Chubut, referido a una propuesta de metodología de manejo sustentable de la ganadería ovina.

El concepto de sustentabilidad, validado a nivel global a principios de la década de 1990, ha fomentado estudios vinculados con la desertificación en la Patagonia. Oliva et al. (1994), estudiaron la viabilidad de una utilización más sustentable de las densidades de carga de ganado ovino, mediante el resguardo de terrenos severamente degradados del sobrepastoreo. Por su parte, Rimoldi (2004) advierte que, dadas las condiciones ambientales patagónicas de gran variabilidad y severidad climática, es inevitable prescindir de un elevado rendimiento si el manejo se orienta a perpetrar la conservación ambiental y económica. En 2006, Oliva hace una revisión del estado de conocimiento sobre el tema, mencionando las opciones para frenar el avance de la desertificación y las perspectivas de la acción para su lucha y control.

Paruelo y Aguilar (2003), argumentan la importancia de la implementación de simuladores, sensores remotos y experimentos de campo a la hora de generar avances en la comprensión de los mecanismos y la dimensión del deterioro ambiental en zonas áridas. Además, mediante los recursos mencionados, proveen explicaciones para comprender los motivos por los cuales los ovinos provocan sobrepastoreo en la estepa patagónica y construyen un diagnóstico del estado de degradación de la vegetación y el ambiente. Del Valle (2003) y Paruelo (2005), destacan el rol de las imágenes satelitales a la hora de formular estrategias para afrontar los impactos negativos del sobrepastoreo en la región patagónica. Del Valle se enfoca en el análisis de las herramientas, tipos de imágenes y otras características de los sensores que puedan contribuir a la comprensión de la dinámica de la degradación. Paruelo estudia los primeros trabajos elaborados con sensores a finales de la década de 1980, los cuales adquirieron mayor protagonismo en la década de 1990. En este sentido, LUDEPA se propuso aprovechar el avance de la tecnología de procesamiento digital de imágenes satelitales para cartografiar el estado actual de desertificación en la totalidad del paisaje patagónico.

¹ Proyecto de Prevención y Control de Desertificación en Patagonia.

² Lucha contra la Desertificación en la Patagonia. Proyecto argentino-alemán.

³ Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación.

Enfoque económico-social

La explotación ovina en la Patagonia se gesta y consolida entre la Campaña al Desierto y la Primera Guerra Mundial. La conquista, el genocidio de buena parte de la población indígena y el reparto de la tierra, estructuraron la forma de producción (Gatti et al. 2009).

Giberti (1970), reconoce etapas de diferente utilización de la tierra en la provincia de Buenos Aires, identificando una etapa de masiva producción de lana, luego de la batalla de Caseros (1852). Posteriormente, con la alternativa de vender carne bovina al viejo mundo gracias a la posibilidad de enfriar y congelar la carne, el ganado lanar se ubicó en zonas alejadas, como la Patagonia.

La crisis productiva del ganado ovino en la década de 1980, produjo temáticas relacionadas a cuestiones socioculturales. En este sentido, Andrade et al. (2008), orientaron sus esfuerzos en comprender cómo pautas culturales, prácticas y actividades basadas en la renta influyeron en la dimensión socioeconómica. Por su parte, Beinstein (1994), quien puntualiza los aspectos sobre desocupación y migración rural-urbana y el despoblamiento de la meseta patagónica.

A partir de la década de 1980, comenzó a gestarse a la desertificación como un problema de origen socioeconómico en lo que respecta a sus orígenes como en sus impactos sobre el ambiente. “El hombre es uno de los causantes y es quien sufre sus resultados” afirmaba González (2000).

La consolidación de conceptos a partir de modelos de la ecología, aportaron a la comprensión de la influencia la actividad del hombre como motor de la degradación edáfica y de la vegetación (Movia, Soriano, 1986). La oferta forrajera reducida que deterioró o limitó los recursos alimenticios del ganado, la menor capacidad de los campos para sustentar adecuadamente las cargas ganaderas pretendidas y la contracción de la capacidad productiva, resultaron en la disrupción entre la compatibilidad de la cría extensiva de ganado con la preservación del recurso suelo y la diversidad biológica. A partir de los resultados obtenidos por proyectos como PRECODEPA, se hizo impostergerable la necesidad de modificar prácticas productivas.

Desde finales de la década de 1990, se han hecho esfuerzos en generar alternativas de manejo que permitan la coexistencia sustentable entre la explotación ganadera extensiva y la conservación de los ecosistemas. El Proyecto de Prevención y Control de la Desertificación por el Desarrollo Sustentable de la Patagonia (PRODESAR) concebido en 1995, fue un importante promotor de la concepción de sustentabilidad a nivel internacional, la cual se encuentra ampliamente difundida en la actualidad. Cingonali et al. (2008), establecen que es indispensable incorporar modalidades de manejo híbridas, y fundamentan que es por demás complicado conservar en el tiempo una sola secuencia de intervenciones. Existe una aprobación en aumento respecto a la planificación de estrategias a nivel regional que contemplen la heterogeneidad del paisaje. En este sentido, por ejemplo, el INTA Bariloche (Castro, 1983), ha diseñado técnicas de manejo de áreas medanosas con el fin de resguardar la infraestructura vial, zonas urbanizadas y suelo productivo de los perjuicios del proceso de desertificación.

Enfoque sociocultural

Los trabajos de Andrade (2002, 2003) y De Jong (2007), apuntan a tratar el tema mediante una óptica social. Andrade, fundamenta el problema de la utilización irracional del suelo desde la

incorporación del ganado ovino en la Patagonia, haciendo énfasis en la nula noción que los crianceros poseían y actualmente poseen acerca de la degradación y erosión de los suelos productivos. En tal sentido, se esfuerza en lograr identificar la apreciación que tienen los actores implicados en este proceso, y sugiere que debe modificarse la manera de pensar del ganadero, los cuales culpan de las dificultades que sufren a variables económicas y ambientales. De Jong, aborda el problema mediante un estudio de las relaciones sociales de producción globales, esgrimiendo que deben clasificarse los actores involucrados y su visión de la problemática; aquí es donde los autores coinciden.

Las entrevistas realizadas por Andrade en sus trabajos de 2002 y 2003, le permitieron revelar la peculiar comprensión que los ganaderos tienen de las variables que intervienen en las crisis. Pese a que los productores bovinos son conscientes del sobrepastoreo, atribuyen su estado de situación a, por ejemplo, los bajos precios de venta de la lana o a causas relacionadas con el clima y con fauna depredadora. Esta comprensión errada, provoca que se continúen manejando las tierras de la manera tradicional. Sumado a esto, la pobre incorporación de tecnología a la actividad y el acotado margen de beneficios, evitan que puedan llevarse a cabo prácticas de manejo adecuadas al tipo y estado de las pasturas. Estos dos últimos factores, sujetan aún más el valor de los productos a precios internacionales, lo cual genera un mercado sujeto a la volatilidad e incertidumbre.

Existe una sobreestimación del potencial forrajero de los pastizales, lo que, sumado a la falta de conocimientos para llevar a cabo una explotación racional del recurso acorde a la región, provocó que el sistema no pudiera mantener el rendimiento pretendido y comenzara a evidenciar signos de degradación ambiental y contracción en la capacidad de carga (Peralta, 1995).

En países desarrollados, se protege el recurso suelo mediante el subsidio de la actividad agropecuaria y la incorporación constante de tecnología, para evitar así su degradación en el tiempo. La realidad de los productores argentinos es diametralmente opuesta, más aún para los productores menores, quienes además de no contar con los recursos, se ven vulnerados por un sistema de ventas informal, en el cual generalmente el consumidor impone un precio y el ganadero lo acepta debido a la incertidumbre a no vender adecuadamente su mercancía (De Jong, 2007). Las condiciones laborales de los peones rurales se han deteriorado significativamente, quienes además han visto su calidad de vida afectada negativamente debido al cierre de establecimientos, despidos y el éxodo de la población rural a las ciudades desde la década de 1980 (Gatti et al. 2009).

La desertificación ha demostrado ser un motor de generación de pobreza, deterioro de la calidad de vida y marginación social, y sus efectos perjudiciales van más allá de los observados en las comunidades directamente involucradas. Los productores ganaderos se ven afectados no sólo por el deterioro del ambiente que brinda sustento a su actividad, sino también por el restringido acceso a los servicios de salud y ofertas educativas y por la escasez y deterioro de las vías de comunicación existentes, lo que provoca el cierre de establecimientos y muchas veces la migración del campo a la ciudad. Los migrantes padecen desarraigo, debido a que no pueden insertarse con facilidad en sus nuevos ámbitos, lo cual genera inconvenientes también para las poblaciones que los reciben (González, 2000).

Singularidades en la provincia del Neuquén

La ganadería extensiva, es una de las actividades que ha ejercido históricamente uno de los mayores niveles de influencia en el moldeado del territorio patagónico, siendo el fenómeno ocurrido en la provincia del Neuquén, de cualidades particulares. En relación a esto, la heterogeneidad del paisaje del territorio neuquino, ha originado un pastoreo de tipo trashumante que debió adaptarse a zonas de productividad cambiante a través del tiempo, siendo su presencia mayor en el centro y norte de la provincia.

Según Mare (2009), la trashumancia la llevan adelante generalmente productores de mediano o bajo porte sobre tierras de dominio fiscal, organizados en familias avocadas a la ganadería extensiva. Existe un traslado por estaciones entre dos sitios de pastoreo, que se corresponden con dos ecosistemas diferentes, lo cual sucede en 3 etapas bien diferenciadas de forrajeo y recuperación de los suelos:

- Invernada: llevada adelante en las zonas de menor altitud, ya que allí la estación invernal es más benévola. Estas áreas contienen generalmente suelos asociados a climas semiáridos con vegetación xerófila asociada, lo cual brinda una cantidad de recursos limitados al ganado.
- Ruta pecuaria: se corresponde con las vías para el traslado de los animales, sobre los que la presión sobre el ecosistema se expresa en su máxima magnitud.
- Veranada: sucede en sitios de mayor altitud capaces de proveer un suministro alimenticio esencial en cuanto a cantidad y calidad nutricional, que permite la reproducción del ganado y su acondicionamiento para la venta.

En el sur y centro-oeste de la provincia, la disponibilidad de pastizales más palatables para bovinos y ovinos, fomentaron la instalación de estancieros de gran magnitud con títulos de propiedad, que comercializan sus productos a escala provincial y nacional.

Los climas húmedos y sub-húmedos en el sector oeste de la provincia, distribuidos a lo largo de la Cordillera de los Andes, sustentan extensas áreas de bosque andino patagónico que brindan las condiciones necesarias para presencia de vigorosos pastizales y mallines de elevado potencial forrajero. Los mallines se corresponden con praderas de régimen de humedad ácuico, lo que significa que tienen tendencia a permanecer inundadas. La geografía física que constituye estos ecosistemas los vuelve propensos a la erosión, y debido a las modalidades de uso a las que fueron sometidos, caracterizadas por una excesiva carga ganadera, se desencadenaron procesos de degradación edáfica que se intensificaron en el tiempo.

Según datos de la Dirección Provincial de Estadística y Censos de la provincia del Neuquén, haciendo uso de datos de la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) y del Servicio Nacional de Sanidad Animal y Calidad Agroalimentaria (SENASA), Centro Regional Patagonia Norte, el territorio provincial sustenta actualmente más de un millón y medio de cabezas de ganado, siendo las de especie caprina, por amplio margen, la que mayor número de cabezas reúne, seguida por las especies bovina y ovina en cantidades similares y por último las especies porcina, equina, asnal y mular. En los últimos años, se ha consolidado una clara tendencia al aumento de las cabezas totales de ganado, y son las especies caprina, ovina y bovina las que mostraron mayores incrementos (tabla 4.1.). Estos datos, permiten comprender que el impacto que provoca la ganadería sobre la cobertura vegetal y los suelos, con su consecuente aumento a la vulnerabilidad eólica, está aún lejos de resolverse, ya que se mantiene o incrementa la carga

ganadera sobre ecosistemas que ya se encuentran severamente exigidos y en los cuales probablemente no se llevan a cabo prácticas de manejo orientadas a resguardar su conservación.

Tabla 4.1. Cabezas de ganado por especie según año (2015 - 2019). Fuente: Dirección Provincial de Estadística y Censos de la provincia del Neuquén

Año	Especie (cabezas de ganado)					
	Bovina	Ovina	Caprina	Porcina	Equina	Asnal y mular
2015	206.737	201.904	840.269	22.682	43.389	3.030
2016	213.079	210.563	932.078	22.204	45.577	3.077
2017	218.158	213.017	902.926	22.668	47.481	3.063
2018	219.879	210.167	915.742	20.856	48.863	3.013
2019	230.504	223.876	978.290	16.629	51.633	2.947

4.3.2. La explotación de hidrocarburos

La provincia del Neuquén se caracteriza por tener una gran tradición como productora de hidrocarburos, la cual se remonta a principios del siglo XX. Las áreas bajo explotación y exploración cubren una porción considerable de su superficie. Por este motivo, se posiciona como una de las actividades que pueden potencialmente afectar la velocidad de degradación de los suelos. El avance e instalación definitiva de la explotación de hidrocarburos no convencionales de la formación “Vaca Muerta”, ha acentuado estos procesos. Este tipo de explotación, a su vez, prevé más instalaciones y de mayores dimensiones que las preexistentes, la vida útil de cada pozo es menor a la de los convencionales, construcción de caminos, un importante aumento en el tránsito de camiones, lo cual genera una consecuente degradación de la cobertura vegetal, afectación a la fauna y eliminación y/o deterioro de los suelos, cambios en los sistemas de drenaje natural, aumento del riesgo aluvional y avance en el proceso de desertificación (FAO, 2015).

Según la Dirección Provincial de Estadística y Censos de la Provincia del Neuquén, en base a datos de la Secretaría de Gobierno de Energía de la Nación, la actividad hidrocarburífera en la provincia del Neuquén, ha experimentado altibajos en los últimos años, aunque la tendencia ha sido siempre a consolidar su crecimiento, últimamente gracias a la perforación y extracción de hidrocarburos en reservorios no convencionales (fig. 4.2.; fig. 4.3.). En este sentido, la provincia del Neuquén se ha convertido en el principal productor de gas y petróleo a nivel país.

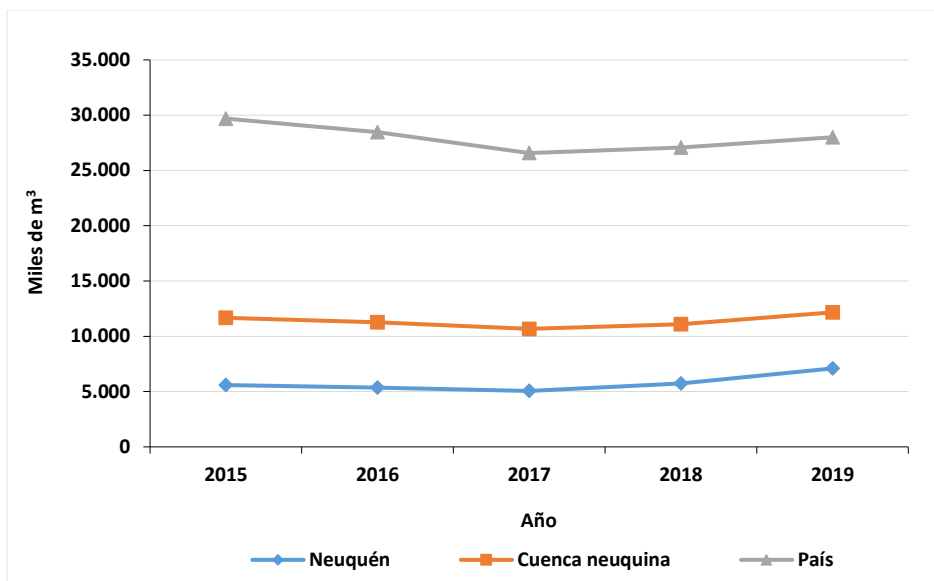


Figura 4.2. Producción de petróleo por año según jurisdicción. Fuente: Dirección Provincial de Estadística y Censos de la Provincia del Neuquén

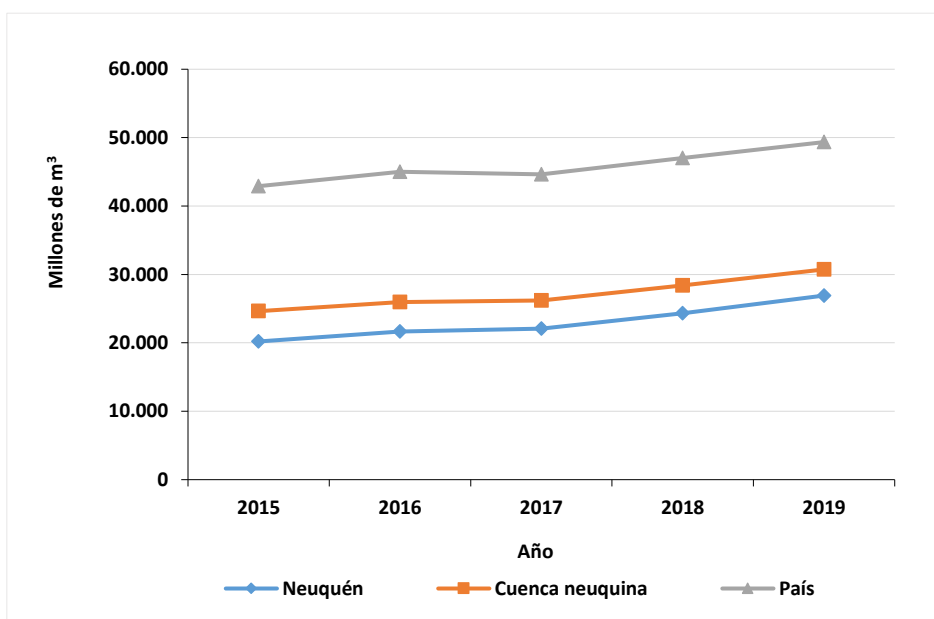


Figura 4.3. Producción de gas por año según jurisdicción. Fuente: Dirección Provincial de Estadística y Censos de la Provincia del Neuquén

4.4. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

El SIG es un sistema de información diseñado para trabajar con datos georreferenciados. En otros términos, un SIG es tanto un sistema de base de datos con capacidades específicas para datos espacialmente referidos, como una serie de operaciones para trabajar con los datos. En general, el SIG puede ser definido como una herramienta para recolectar, exhibir, manejar, analizar y producir datos espacialmente referenciados. Una capa de un mapa es un mapa geográfico en el cual cada ubicación está caracterizada por un solo tipo de dato (suelos, geología,

vegetación, etc.). Los estratos de datos SIG pueden considerarse como una pila de "mapas flotantes" con referencias espaciales comunes, lo que permite al usuario "mirar" hacia abajo y a través de los datos utilizando las capacidades de despliegue y análisis del SIG (Berry, 1987).

Los administradores del medio ambiente y los científicos han utilizado los SIG desde hace tiempo, en la realización de estudios de los hábitats de la vida silvestre (Tomlin et al. 1983), de la contaminación de fuentes no puntuales (Gilliland y Baxter Potter, 1987), la erosión del suelo (Oslin et al. 1988), y en modelación hidrológica (DeCoursey, 1988). Actualmente, el SIG es una herramienta básica en los estudios ambientales.

Los SIG representan los elementos que existen en la naturaleza mediante formas geométricas (puntos, líneas o polígonos, esto es, vectores) o mediante celdas con información (raster). El formato vectorial, es una forma intuitiva y versátil de ilustrar el espacio que ayuda a comprender mejor los elementos objeto de estudio según su naturaleza. El formato raster permite realizar operaciones de parámetros complejos, admite el almacenamiento de la información de modo regular en unidades predefinidas, representando la superficie en elementos divididos regularmente y a los cuales se les asocia un valor correspondiente a la variable estudiada en dicho elemento. En el caso más frecuente, estos suelen ser generalmente celdas de tipo cuadrado, lo que permite asimilar la estructura de mosaico con elementos cuadrados sobre la cual es posible efectuar los cálculos pertinentes. Este hecho da lugar a un análisis más sencillo y potente de las variaciones de las propiedades del espacio, permitiendo también un manejo eficiente y adecuado de información de tipo continuo.

El inconveniente principal del modelo ráster reside en la discretización del espacio a la que da lugar, responsable directa de una pérdida de precisión y la cual debe ser asumida desde un primer momento a la hora de trabajar bajo este modelo de almacenamiento. Si bien esta desventaja puede ser disminuida reduciendo el valor de las celdas en función de la escala a la que se desea representar los parámetros, esto implica también un aumento del peso de almacenamiento del formato.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Escala de análisis

La provincia del Neuquén dispone de una considerable cartografía temática considerando elementos aislados del medio geográfico (clima, geología, vegetación, etc.). Sin embargo, son escasas las contribuciones que integran esos elementos con el propósito de conformar una regionalización. En este sentido, los autores del Estudio Regional de Suelos de la provincia del Neuquén, han diseñado una regionalización de síntesis, sustentada en la distribución geográfica de los suelos según sus caracteres esenciales y procesos pedogenéticos como expresión integradora de los factores del medio geográfico en tanto agentes de formación de los suelos (clima, biota, roca y geoforma). Es decir, mediante un proceso inductivo, se reagruparon los suelos hasta conformar regiones homogéneas en términos de características climáticas, fitofisonómicas y geomorfológicas. De esta manera, se han definido dos regiones: Andina y Extrandina, desagregadas a su vez en dos y tres subregiones respectivamente, cuya distribución se aprecia en la figura 5.1. Se espera que la subdivisión territorial en regiones y subregiones sea de utilidad a los fines de una mejor exposición y comprensión de los resultados de este trabajo.

La escala de trabajo es de 1:500.000, selección resultante de la revisión previa de información disponible, en relación al nivel de detalle sugerido para la evaluación de la erosión eólica a diversas escalas, según lo establecido por la FAO (1980).

El sitio en el que se desarrollaron las tareas que comprende este trabajo, fue el Centro de Investigación de Geociencias (CIGPat), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue.

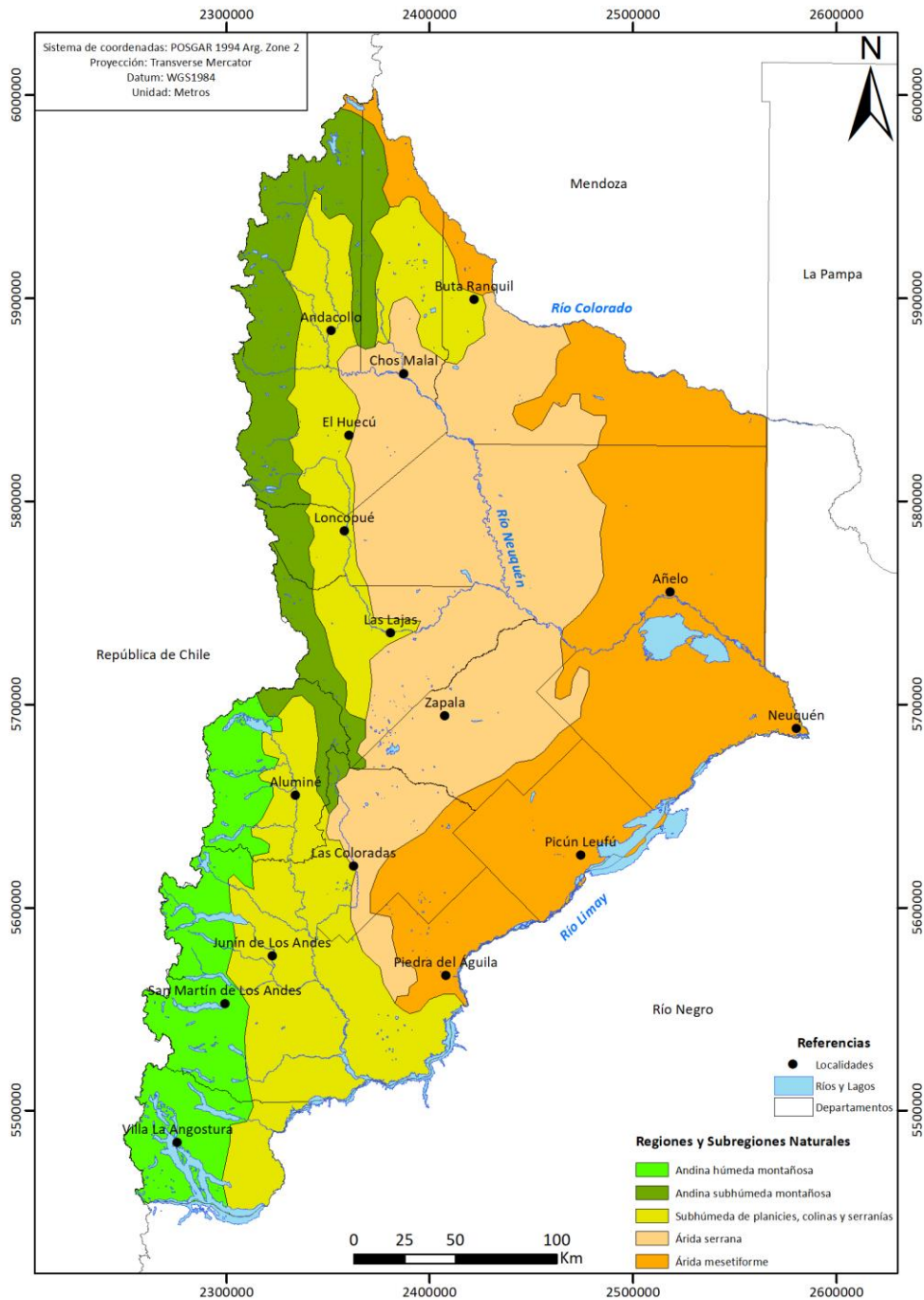


Figura 5.1. Regiones y subregiones naturales de la provincia del Neuquén. Fuente: Irisarri (2006).

5.2. La metodología de la FAO

El principio fundamental de la metodología de FAO (1980), es el análisis y evaluación de la degradación, permitiendo la comparación entre erosión potencial y erosión actual independientemente del historial de condiciones del lugar bajo estudio. Así, por ejemplo, como consecuencia de una evaluación basada en esta metodología, se puede hallar que un suelo se degrada con rapidez, pero que todavía no se ha degradado gravemente, o bien, por el contrario,

que se ha degradado gravemente en el pasado, pero que la velocidad de degradación actual es pequeña.

El otro principio es que la evaluación de los riesgos de erosión alcanza su máxima utilidad cuando se eliminan todos los factores relativamente inestables o no permanentes, es decir, la vegetación natural y el uso y explotación actuales de la tierra no se tienen en cuenta porque se los supone estándar.

La evaluación de los riesgos sólo tiene un valor independiente del tiempo cuando esta se basa en factores relativamente estables o permanentes. Para el riesgo de erosión eólica, se toma en cuenta la erodabilidad del suelo y el factor de agresión climático, y para la erosión actual además de estos parámetros, se incluye la vegetación.

La metodología de la FAO (1980) utiliza tres factores: factor clima (c), factor suelo (e), factor de cubierta vegetal y manejo de cultivos y residuos (u). Para la evaluación del riesgo de erosión eólica actual, se utilizan los tres factores, en la estimación del riesgo de erosión eólica potencial, se usan los dos primeros.

$$D = c \times e \times u$$

D = degradación del suelo por erosión eólica.

La erosión eólica resultante, se clasifica en las clases indicadas en la siguiente tabla:

Tabla 5.1. Clases de erosión eólica según FAO (1980)

Clase de erosión	Pérdida de suelos (t/ha/año)
Nula o ligera	Menos 10
Moderada	10 a 50
Alta	50 a 200
Muy alta	Mayor 200

5.3. Factores de degradación

5.3.1. Factor clima

Tiene en cuenta tanto la velocidad del viento como el contenido de humedad del suelo. Los cálculos de la velocidad del viento se basan en la suposición de que cuando ésta supera el umbral necesario para mover partículas, la intensidad del movimiento de las partículas del suelo es directamente proporcional al cubo de la velocidad del viento. Los procedimientos para determinar la erodabilidad del viento han sido descritos por Skidmore y Woodruff (1968). Se utiliza para el cálculo, la forma modificada por la FAO del índice de erodabilidad eólica de Chépil et al. (1962):

$$C = \frac{1}{100} \sum_{n=1}^{12} V^3 \left(\frac{ETP - P}{ETP} \times n \right)$$

Donde C = índice eólico de Chepil modificado, V = velocidad media mensual del viento en m/seg, ETP = evapotranspiración mensual (mm), P = precipitación mensual (mm), n = días mensuales sin precipitaciones.

El índice eólico de Chepil modificado, puede variar según la siguiente valoración:

Tabla 5.2. Clases de agresividad climática según Chepil, et al. (1962)

(C)	0 – 20	20 – 50	50 – 150	>150
Agresividad Climática	Nula a ligera	Moderada	Alta	Muy alta

En 1979, la FAO modificó el índice climático de Chepil (Chepil et al., 1962), y propuso un factor climático para determinar la pérdida media anual de suelos adaptado a condiciones climáticas áridas y semiáridas. El índice climático original, fue inicialmente formulado para la región de las Grandes Llanuras (Great Plains) de los Estados Unidos de América. Dado que, en la provincia del Neuquén, las condiciones climáticas áridas y semiáridas afectan a la mayor parte del territorio, es que se optó por aplicar el índice climático de Chepil modificado.

La ecuación del índice eólico se resolvió haciendo uso de una calculadora ráster de un sistema de información geográfica (SIG), previa representación espacial de la velocidad del viento, precipitación, evapotranspiración potencial y días mensuales sin precipitaciones.

Los datos de climáticos se obtuvieron de la base de datos de WorldClim, en su versión 2.1 (<https://www.worldclim.org/data/index.html#>). WorldClim es una base de datos climática global reciente de alta resolución espacial, ampliamente utilizada en el ámbito de la investigación y otras actividades relacionadas, que utiliza la información recolectada de casi 60.000 estaciones meteorológicas de todo el planeta. La información reunida, fue interpolada utilizando “*thin-plate-splines*”, con covariables que incluyen la elevación, distancia a la costa y tres covariables derivadas de satélites: temperatura máxima y mínima de la superficie terrestre y cobertura por nubosidad.

Para los datos de velocidad media mensual del viento (V) y precipitación mensual (P), se descargaron productos de WorldClim 2.1 en su versión histórica, la cual reúne información climática mensual promedio para el período de 1970 – 2000. Los productos consisten en imágenes globales mensuales en formato GeoTIFF, de cada una de las variables climáticas disponibles en distintas resoluciones espaciales, que van desde 1 km² hasta los 340 km². Los píxeles de las imágenes contienen los valores promedio mensuales de cada una de las variables para el período de tiempo mencionado. Posteriormente, se recortaron las imágenes para hacerlas coincidir con la extensión del presente trabajo, es decir, la Provincia del Neuquén. La información acerca de cómo han sido construidos los datos de WorldClim, se encuentra descripta en detalle por Fick and Hijmans (2017).

En lo que respecta a la evapotranspiración potencial (ETP), los datos se obtuvieron de las bases de datos generadas por Trabucco y Zomer (2018), quienes utilizaron la información disponible de WoldClim en su versión histórica 2.0 (1970 – 2000), para modelar la evapotranspiración potencial (ETP) a nivel global, basándose en la implementación de la ecuación de Penman - Monteith. Los productos se presentan de manera similar a los que ofrece WorldClim en su versión histórica 2.1, respetando el mismo formato (GeoTIFF) y resoluciones espaciales (se utilizó 1 km²). Los píxeles de las imágenes contienen los valores promedio mensuales de evapotranspiración potencial (ETP) para el período de tiempo mencionado. Los métodos utilizados para construir la base de datos se describen en Zomer et al. (2007) y Zomer et al. (2008).

Por último, los valores mensuales de días sin lluvias (n), se obtuvieron de los datos de un total de 28 estaciones meteorológicas de la Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas (AIC), el Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO) y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), para el período 2015 – 2020, distribuidas en toda la superficie de la Provincia del Neuquén. Los datos fueron volcados y sistematizados en planillas de cálculo, para poder obtener valores promedio mensuales de días sin precipitaciones para cada estación meteorológica. Mediante la utilización de un sistema de información geográfica (SIG), se realizó una interpolación de distancia inversa ponderada (IDW por sus siglas en inglés), para obtener un producto tipo ráster con una resolución espacial de 1 km², en el cual cada píxel contiene un valor promedio de días mensuales sin lluvias. El procedimiento se repitió para los 12 meses del año. El índice de Chepil modificado, considera los días mensuales sin lluvia debido a que la erosión eólica es inexistente en los días con lluvias, ya que la cohesión de las partículas del suelo generada por el carácter dipolar de las moléculas de agua que da lugar al fenómeno de tensión superficial, evita que se desarrolle erosión eólica independientemente de la velocidad del viento.

5.3.2. Factor suelo

Existe una correlación entre la textura del suelo y los que se denominan “grupos de erodabilidad eólica” definidos por Lyles (1975, 1977) y por Kimberlin et al. (1977):

Tabla 5.3. Grupos de erodabilidad eólica por Lyles (1975) y Kimberlin et al. (1977)

Clase Textural	1 - gruesa	2 - media	3 - fina
Composición textural	< 18 arcilla y >65 Arena	< 35 a y < 65 A	> 35 a
Valoración suelo calcáreo	3,5	1,25	1,85
Valoración suelo no calcáreo	3,5	1,75	1,85
Valoración suelo pedregoso	1,75	0,62 (no calcáreos) 0,87 (calcáreos)	0,92

Para asignar las valoraciones de los grupos de erodabilidad eólica, se utilizó el mapa del Estudio Regional de Suelos de la Provincia del Neuquén, elaborado por Ferrer, Irisarri y Mendiá (1990a). El mapa consta de 70 unidades cartográficas que cubren la totalidad de la superficie provincial, en una escala de detalle de 1:500.000; las unidades se componen de asociaciones de suelos con

suelos dominantes, subordinados y muy subordinados, por lo que los límites y la distribución de cada tipo de suelo dentro de cada asociación no están perfectamente definidos, ya que para ello sería necesario incrementar la densidad de muestreos. El mapa de suelos utiliza los regímenes de humedad de los suelos de la provincia como criterio para agrupar las unidades cartográficas (existe una variación notoria de humedad en sentido oeste – este) y, a su vez, muestra una fuerte relación con la geomorfología dominante del paisaje.

En el Volumen II, Tomo I del Estudio Regional de Suelos de la Provincia del Neuquén (Ferrer, Irisarri, Mendía 1990b), se encuentran los perfiles de suelo representativos de cada unidad cartográfica junto con sus respectivas planillas analíticas de laboratorio y, se esbozan además, detalles acerca de la pedregosidad superficial, afloramientos rocosos, limitaciones de uso, grosores de texturas, contenido de CaCO_3 , entre otras características. Haciendo uso de la información mencionada, se calculó el valor del grupo de erodabilidad eólica para cada unidad cartográfica, teniendo en consideración los siguientes criterios:

- Para aquellas unidades cartográficas en las que dos suelos comparten el rango de dominante, se calculó el valor del grupo de erodabilidad eólica para cada uno de ellos, y posteriormente se realizó un promedio para obtener el valor final a asignar a la unidad cartográfica.
- En aquellas unidades cartográficas en las que existe una ausencia virtual de suelos, se asignó un valor de grupo de erodabilidad eólica igual a 0 (cero). Esto incluye las superficies del mapa cubiertas por espejos de agua.
- Cuando en la descripción de la unidad cartográfica se menciona la presencia de afloramientos rocosos en un determinado porcentaje de la superficie, se calculó el valor del grupo de erodabilidad eólica correspondiente al suelo dominante y luego se lo rectificó considerando la superficie de asomos rocosos.
- En aquellas unidades cartográficas en las que la ausencia de suelos debido a asomos rocosos, coladas de lava, etc., representa la superficie dominante de la unidad cartográfica, se consideraron los datos analíticos del suelo subordinado o muy subordinado (según corresponda) para el cálculo del grupo de erodabilidad eólica y, este último, se ajustó según el porcentaje de la unidad cartográfica que no se encuentra cubierta por roca.
- En aquellas unidades cartográficas en las que existan suelos con un horizonte orgánico superficial, se consideraron los valores de la composición granulométrica del horizonte mineral subyacente al orgánico para calcular el valor grupo de erodabilidad eólica, ya que no puede inferirse la fracción erodable de los horizontes orgánicos mediante la metodología seleccionada para este trabajo.
- En aquellas unidades cartográficas con suelos de clase textural 1 - gruesa que son calcáreos y pedregosos a la vez, se seleccionó el valor de aquella propiedad más notoria, es decir, si son notablemente calcáreos, se asigna el valor de grupo de erodabilidad eólica de suelo calcáreo, y si son sumamente pedregosos, se asigna el valor de suelo pedregoso.

Los valores obtenidos, fueron utilizados para generar una capa ráster de la Provincia del Neuquén de una resolución de 1 km^2 , con los valores asignados de grupos de erodabilidad eólica para todas las unidades cartográficas.

5.3.3. Factor de cubierta vegetal y manejo de cultivos y residuos orgánicos

Dado que la escala de trabajo es pequeña (1:500.000 – bajo nivel de detalle), ya que se abordó la problemática de la erosión eólica a nivel provincial, la metodología de la FAO recomienda la utilización de imágenes satelitales de cobertura vegetal como medida de la rugosidad producida por la vegetación. Se descargaron productos desde el sitio web del repositorio de productos del Programa Copérnico (<https://land.copernicus.eu/global/>), específicamente los de FCover en su versión 2.0, con una resolución espacial de 1 km², una frecuencia temporal mensual y corrección atmosférica ya aplicada, como medida de la rugosidad producida por la vegetación. El FCover es un producto novedoso derivado de los satélites SPOT/VEGETATION y PROBA-V, que cuantifica directamente la fracción de suelo cubierto por vegetación verde, es decir, cuantifica la extensión espacial de la vegetación de forma continua y global. Para generar el producto, se aplica la tecnología de red neuronal en la capa más alta del dosel de la vegetación, para obtener reflectancias en el visible, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta en tamaños de píxel de 300 m² y 1 km². La característica más destacable del FCover es que se obtienen directamente los valores de cobertura vegetal por píxel, los cuales pueden variar de 0 a 1. Los detalles acerca del algoritmo utilizado para el cálculo del FCover y sobre su calidad y validación pueden consultarse en Verger et al. (2014) y Camacho et al. (2013), respectivamente. Los productos consisten en archivos ráster globales en formato netCDF4, por lo que posteriormente fueron convertidos a formato GeoTIFF y recortados a la extensión de la Provincia del Neuquén, haciendo uso de un sistema de información geográfica (SIG).

El factor de cubierta vegetal y manejo de cultivos y residuos orgánicos (u) fue valorado de la siguiente manera:

Tabla 5.4. Valoración del factor u según metodología de la FAO (1980)

Cobertura de suelos (%)	0-1	1-20	20-40	40-60	60-80	80-100
Valoración	1	0,7	0,5	0,3	0,15	0,05

5.4. Procedimientos en entorno SIG

El geoprocésamiento implica la ejecución metódica de una secuencia de operaciones en los datos geográficos para crear nueva información. En este sentido, las variables de base relacionadas con la erosión eólica fueron, en algunos casos, datos vectoriales posteriormente transformados en datos ráster, lo que permitió realizar el álgebra de mapas correspondiente.

Se utilizó un tamaño de píxel de 1000 m por 1000 m para todas las variables. Esta resolución espacial se consideró suficientemente pequeña para capturar el detalle necesario y lo suficientemente grande para realizar el análisis y el almacenamiento del equipo de manera eficaz.

La capacidad de localizar de manera precisa los datos es fundamental tanto en la representación cartográfica como en SIG. Los datos, tanto vectoriales como ráster, fueron trabajados mediante

un único sistema de coordenadas planas. Se empleó el marco de referencia geodésico nacional Posiciones Geodésicas Argentinas (POSGAR 94) del año 1994, faja N°2.

Una vez obtenidos los valores correspondientes para cada uno de los factores, se resolverá la ecuación de la metodología de la FAO (1980) haciendo uso de una calculadora ráster de un Sistema de Información Geográfica (SIG), específicamente Quantum Gis (QGIS) en su versión 3.18, el cual es de software libre y de código abierto. Se obtendrán los factores y la erosión a escala mensual y anual.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Influencia de la agresividad climática

6.1.1. Distribución de la agresividad climática en la provincia del Neuquén

La agresividad climática, expresado a través del índice eólico de Chepil modificado, muestra que el poder erosivo acumulado anual del viento en la provincia del Neuquén, se incrementa en dirección oeste – este, coincidiendo los valores mínimos a lo largo de toda la cordillera de los Andes, para luego expresar valores moderados en una estrecha franja de extensión análoga, y finalmente valores altos y muy altos para el resto del territorio provincial (fig. 6.1).

El poder erosivo anual del viento está conformado por la sumatoria mensual del factor clima, siendo los valores medios los que se muestran en la tabla 6.1. Estos últimos, nos brindan información acerca de los meses del año más problemáticos en términos de transporte de suelos por la acción del viento, y de los meses en los cuales, por el contrario, puede que se produzca acumulación o ganancia de material, lo que puede llegar a traducirse en engrosamiento edáfico. Los meses más agresivos climáticamente van desde noviembre a marzo, período de tiempo que coincide con las estaciones más cálidas (primavera – verano) y a su vez con la época de menores precipitaciones y mayor evapotranspiración potencial. Al respecto, Chepil (1956) demostró que la erodabilidad del suelo por el viento depende de la fuerza de cohesión de las películas de agua que rodean a las partículas de suelo, por lo que el poder erosivo del viento se verá incrementado en condiciones de déficit hídrico (fig. 6.2).

Los meses más benignos van desde mayo a agosto, período de tiempo que abarca los últimos días del otoño y la mayor parte del invierno, con el mayor volumen de las precipitaciones anuales concentrado en esta época, al igual que las menores tasas de evapotranspiración potencial. Los valores negativos de factor c obtenidos para los meses que van de mayo a agosto, significan que la agresividad climática es prácticamente nula, por lo que puede entenderse que, en este período de tiempo, es improbable que los agentes climáticos supongan riesgo alguno de provocar procesos erosivos. El valor anual obtenido, es la sumatoria de los valores mensuales positivos de factor c.

Tabla 6.1. Agresividad climática media mensual para el territorio provincial

Factor c	
Mes	Media
Enero	22,47
Febrero	12,13
Marzo	9,93
Abril	4,34
Mayo	-5,45
Junio	-13,71
Julio	-15,12
Agosto	-5,03
Septiembre	5,06

Octubre	11,99
Noviembre	16,75
Diciembre	23,55
Anual	106,26

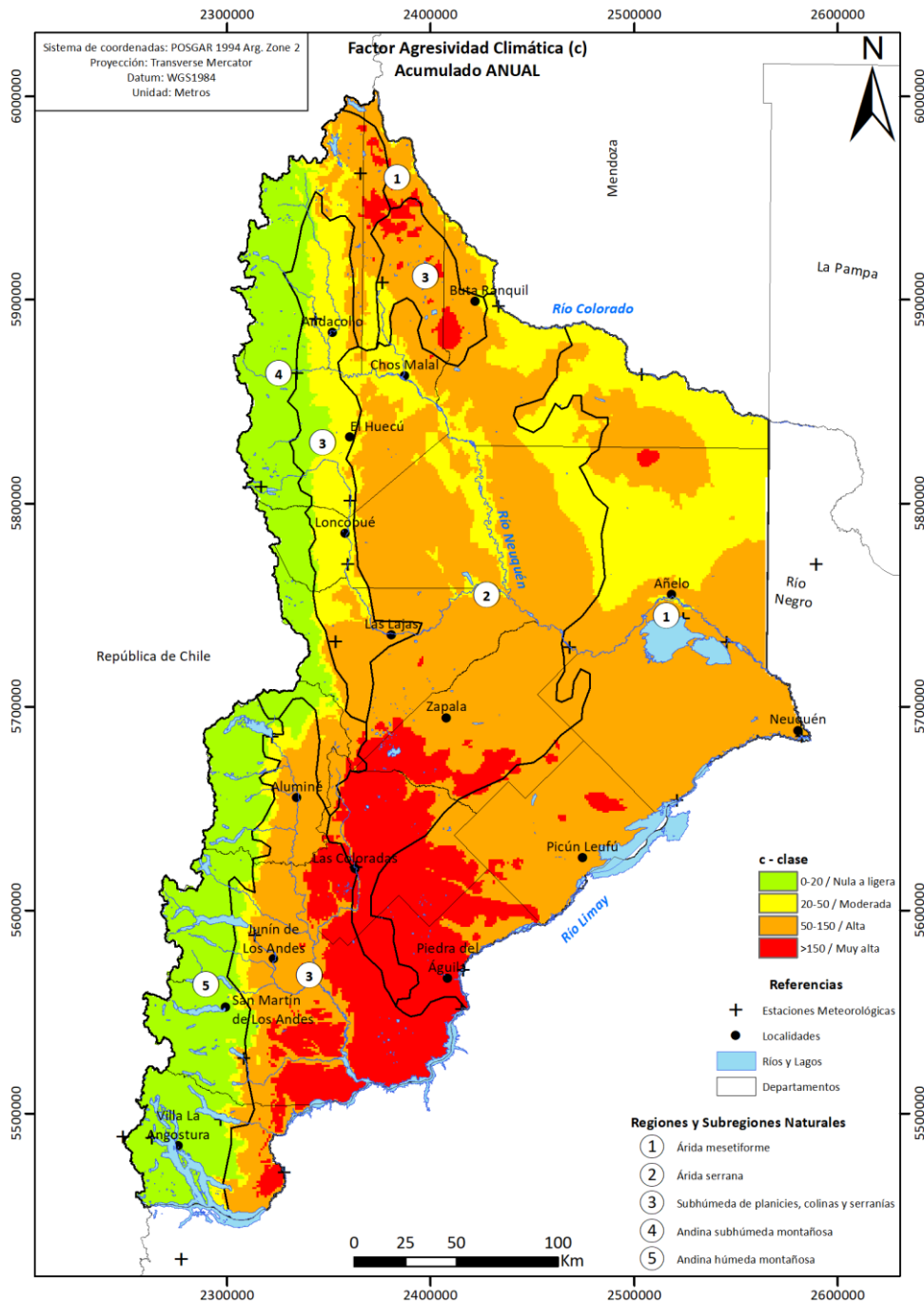


Figura 6.1. Agresividad climática acumulada anual. Obtenida a partir de la forma modificada por la FAO (1980) del índice de erodabilidad eólica de Chepil et al. (1962). Fuente de datos: AIC, COIRCO, WorldClim v2.1

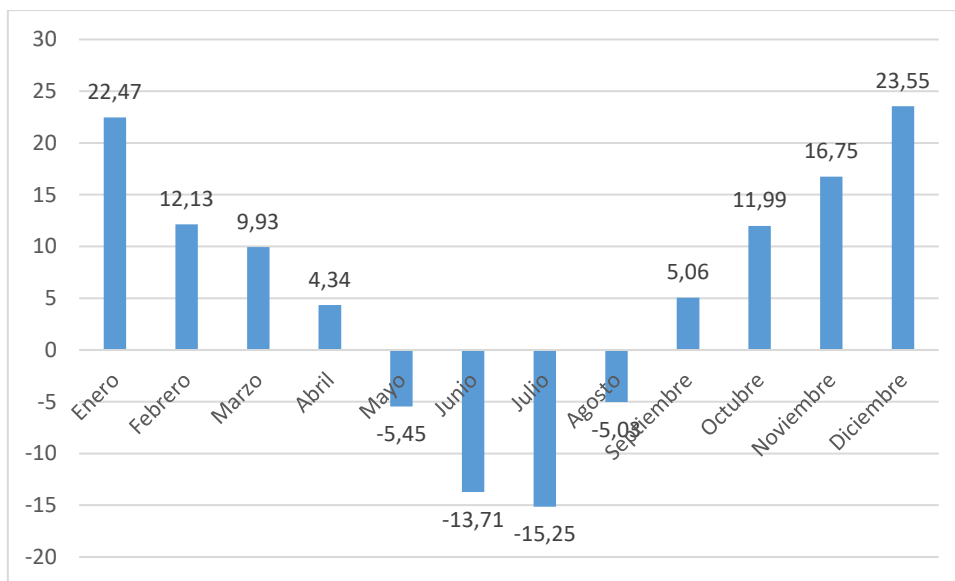


Figura 6.2. Agresividad climática media mensual para la provincia del Neuquén

La Provincia del Neuquén, se encuentra amenazada en más de un 50% por valoraciones de factor c de clase alta, y en casi un 15% de clase muy alta, lo que totaliza un 65% del territorio afectado por una agresividad climática de carácter considerable (tabla 6.2 y fig. 6.3).

Tabla 6.2. Superficies afectadas por las diferentes clases de agresividad climática a nivel provincial

Acumulado anual por clase (km ²)				Acumulado anual por clase (%)			
Nula a ligera	Moderada	Alta	Muy alta	Nula a ligera	Moderada	Alta	Muy alta
15721	17418	47688	13102	16,74	18,54	50,77	13,95

En coincidencia con los trabajos de Santanatoglia et al (1992) y Rivas et al. (2018), se pudo constatar que la agresividad climática es el factor que mayor incidencia tiene sobre la erosión eólica. En este sentido, la provincia del Neuquén, a excepción del extremo cordillerano occidental, está dominada en más de dos tercios de su superficie por condiciones climáticas de aridez, que reúnen bajas precipitaciones concentradas en pocos eventos anuales de muy baja efectividad dado su carácter frecuentemente torrencial, alta evapotranspiración potencial y vientos recurrentes predominantes del oeste, por lo que es común que la agresividad climática alcance valores elevados.

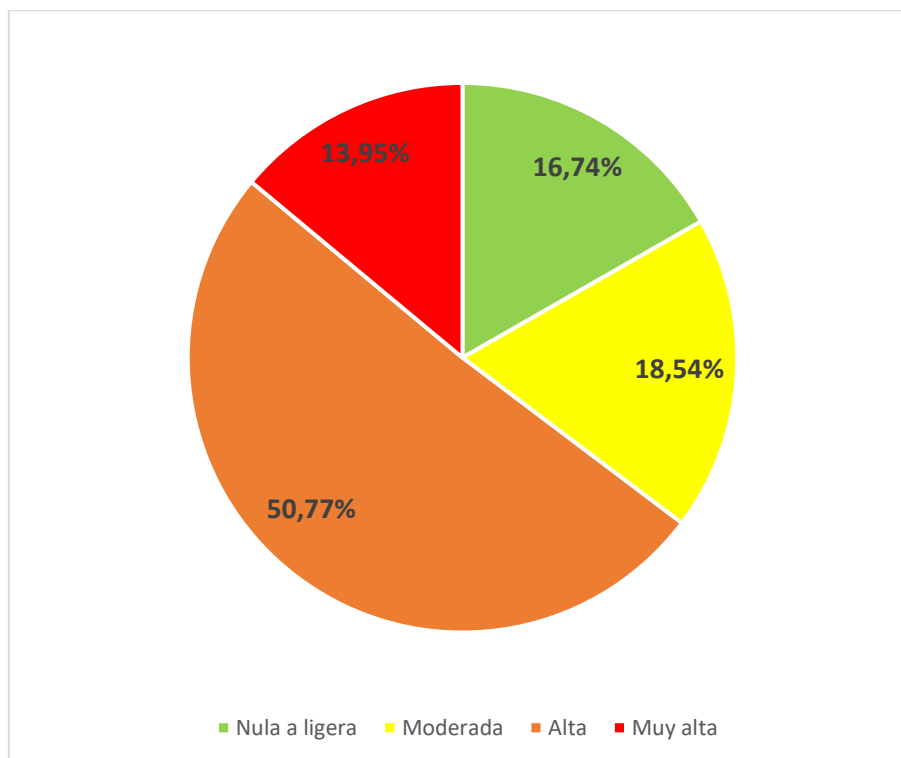


Figura 6.3. Agresividad climática acumulada anual por clase para la provincia del Neuquén

Si se analiza el mapa de agresividad climática (fig. 6.1) en comparación con el mapa de usos del suelo (fig. 3.6), se puede apreciar que la distribución espacial de la ganadería y la explotación de hidrocarburos, las cuales se constituyen como las actividades de mayor impacto degradante sobre el suelo, coinciden con prácticamente todas las zonas de elevada valoración del factor c. La evolución en los últimos años de estas dos actividades económicas, muestra una tendencia al crecimiento, lo que indica la necesidad de tomar las medidas preventivas necesarias para que el desarrollo de las actividades antrópicas mencionadas no resulte en la generación de condiciones que exponen a los suelos a la erosión eólica producto de la agresividad climática, tales como la reducción o eliminación de la cobertura vegetal.

Los productos ráster necesarios para el cálculo de las variables que componen el factor c, se obtuvieron por medio de interpolaciones de datos de estaciones meteorológicas distribuidas en el territorio provincial, por lo que la precisión de los datos está sujeta a su densidad y frecuencia espacial y temporal y puede que, en sitios determinados, no reflejen exactamente el nivel de agresividad climática que se corresponde con el real. Es por ello, que es importante mencionar que la precisión del cálculo del factor c puede mejorarse, siempre que exista información suficiente para incrementar la cantidad de datos de entrada.

La valoración de agresividad climática calculada en este trabajo, se basa en un rango limitado de datos de unos 30 años (1970 – 2000). Aunque podría considerarse como un rango de datos suficiente para satisfacer los objetivos planteados, probablemente la línea temporal empleada no refleje las variaciones climáticas que se han sucedido en el siglo pasado y el actual, producto principalmente de los fenómenos originados por el efecto invernadero desproporcionado como consecuencia de las emisiones generadas por la actividad antrópica (calentamiento global). Independientemente de este hecho, los mapeos realizados para el factor c, pueden utilizarse como un insumo valioso para realizar una buena aproximación a la hora de comprender la

manera en que se distribuye la agresividad climática a nivel provincial, y de este modo planificar estrategias de manejo que permitan explotar el recurso suelo de la manera más sustentable posible, sin que ello signifique la magnificación de los fenómenos que desencadenan la erosión eólica.

6.1.2. Distribución de la agresividad climática en las regiones naturales

Las regiones naturales andina subhúmeda montañosa y andina húmeda montañosa registraron los menores valores acumulados anuales de agresividad climática de clase moderada, alta y muy alta. Los valores máximos de se concentran en la zona centro – sur de la provincia, siendo los departamentos más afectados los de Zapala en zonas al sur de la cabecera de departamento homónima, Catán Lil en la mayor parte de su superficie con excepción del extremo noreste, Collón Cura casi en su totalidad salvo en zonas al noreste de Piedra del Águila y Lácar en áreas concentradas al oeste. En menor medida, se vieron también afectados por valoraciones muy altas de agresividad climática los departamentos de Chos Malal, Pehuenches, Picunches, Picún Leufú y Los Lagos. Estas áreas se corresponden con el sur de las regiones naturales árida mesetiforme, árida serrana y subhúmeda de planicies, colinas y serranías, las cuales nuclean los mayores valores acumulados de las clases moderada, alta y muy alta del factor c (fig. 6.3).

El territorio provincial restante, quedó definido por zonas de valoración moderada al norte de la localidad de Añelo y rodeando el Área Natural Protegida Auca Mahuida hasta el sureste de Buta Ranquil, junto con otras ubicadas entre los límites de los departamentos de Añelo y Loncopué, coincidentes con el norte de la región árida mesetiforme y subhúmeda de planicies, colinas y serranías respectivamente.

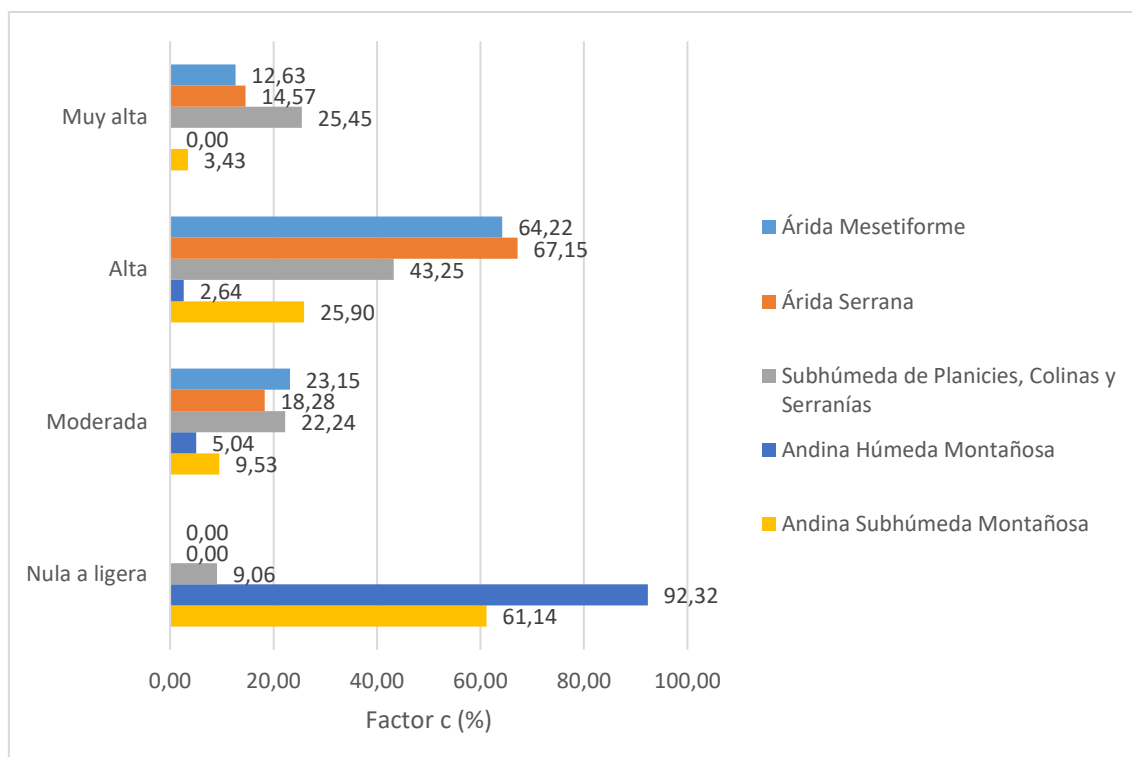


Figura 6.4. Agresividad climática acumulada anual por clase y región natural

El comportamiento mensual de la agresividad climática por región natural, evidencia un patrón similar al promedio mensual a escala provincial, concentrando los valores más reducidos desde fines del otoño hasta principios de la primavera, siendo las regiones subhúmeda de planicies, colinas y serranías, andina subhúmeda montañosa y andina húmeda montañosa, las que muestran los valores más reducidos (fig. 6.4). Las cifras más elevadas van desde octubre hasta marzo, meses en los cuales la evapotranspiración potencial aumenta significativamente debido en gran medida por el incremento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones (Tabla 6.3).

La temperatura y la humedad son factores determinantes a la hora de evaluar la agresividad climática, ya que las altas temperaturas incrementan la evapotranspiración potencial, reduciendo la cohesión entre las partículas de la superficie del suelo, lo cual las torna más susceptibles a ser desprendidas por el viento (Chepil, 1956).

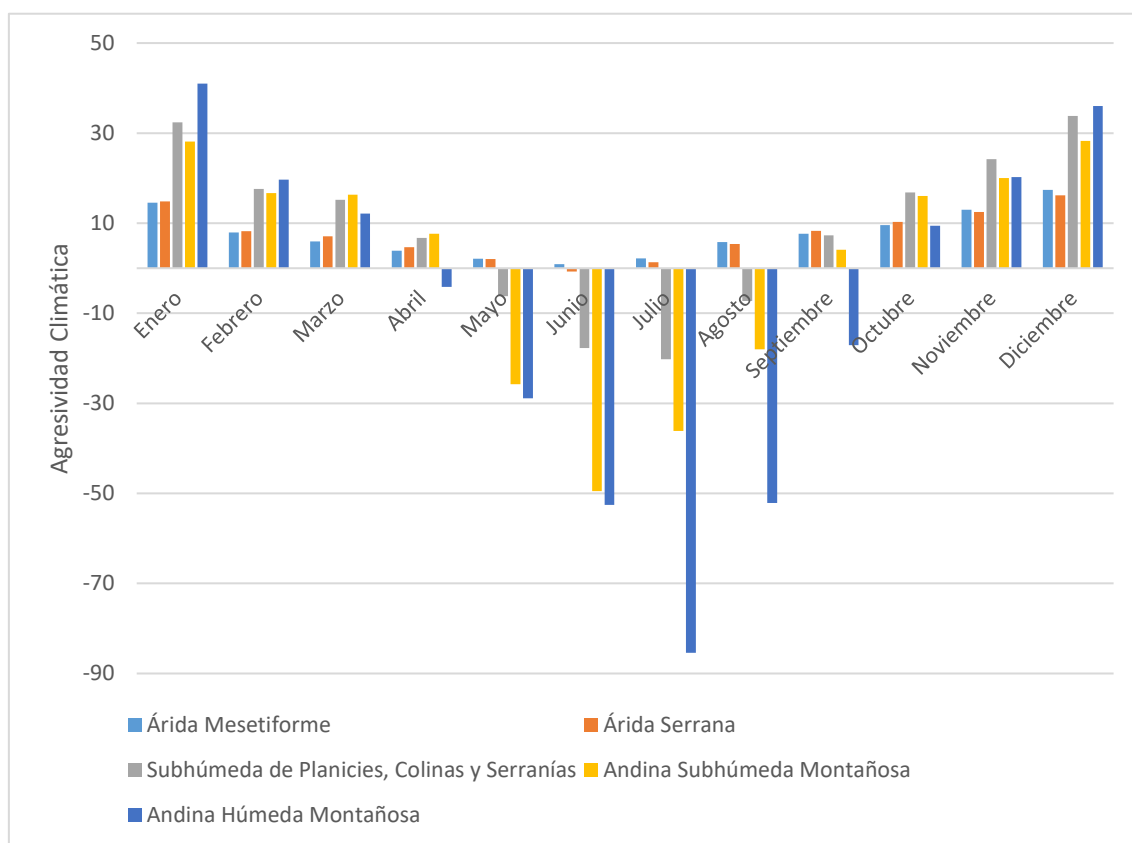


Figura 6.5. Agresividad climática media mensual por región natural

Tabla 6.3. Agresividad climática media mensual por región natural

Región Natural	Agresividad Climática - Media mensual											
	Dic	Nov	Oct	Sep	Ago	Jul	Jun	May	Abr	Mar	Feb	Ene
Árida Mesetiforme	17,4	13	9,54	7,68	5,83	2,2	0,87	2,09	3,86	5,93	7,92	14,6
Árida Serrana	16,2	12,5	10,3	8,28	5,41	1,33	-0,71	2,02	4,7	7,09	8,21	14,9

Subhúmeda de Planicies, Colinas y Serranías	33,8	24,2	16,8	7,28	-7,3	-20,2	-17,7	-6,21	6,71	15,2	17,6	32,4
Andina Subhúmeda Montañosa	28,3	20,1	16,1	4,08	-18	-36,2	-49,5	-25,8	7,65	16,4	16,7	28,2
Andina Húmeda Montañosa	36	20,3	9,42	-17,1	-52,2	-85,4	-52,6	-28,9	-4,14	12,1	19,7	41

6.2. Susceptibilidad de los suelos a la erosión eólica en la provincia del Neuquén

Los resultados obtenidos de los valores del factor erodabilidad eólica (e) de los suelos de la provincia del Neuquén, son de carácter heterogéneo. Si bien los “grupos de erodabilidad eólica” definidos por Lyles (1975, 1977) y por Kimberlin et al. (1977), consideran tres clases texturales según los porcentajes de arcilla y de arena y, a su vez, si son de carácter calcáreo o pedregoso para asignar el factor (e) a cada unidad cartográfica, el Estudio Regional de Suelos de la Provincia del Neuquén, elaborado por Ferrer, Irisarri y Mendía (1990a), brinda información adicional detallada que permite obtener valores más precisos. Esta información, se relaciona con variables que tienden a brindar protección a los suelos de los fenómenos erosivos por la acción del viento, por lo que sucede que suelos cuya clase textural los vuelve muy susceptibles a sufrir erosión, en realidad, no obtienen índices de erodabilidad eólica tan elevados como se esperaría. Sumada a los detalles sobre los porcentajes de superficie que ocupan los suelos dominantes, subordinados y muy subordinados, se brinda información acerca de cubiertas gravillosas y de detritos rocosos de variable densidad superficial y espesor, fragmentos gruesos superficiales de diferentes diámetros y orígenes (por ejemplo, basálticos, metamórficos, sedimentarios), mantos arenosos que sepultan los suelos, rocosidad superficial y asomos rocosos, etc., y el porcentaje de la superficie que ocupan en cada una de las unidades cartográficas.

La figura 6.6, muestra los resultados obtenidos para el factor e en el territorio provincial, siendo evidente la heterogeneidad mencionada previamente. La puntuación media provincial obtenida mediante los datos estadísticos calculados por el sistema de información geográfica, alcanza los 2,07 puntos, lo que indica que la valoración de la erodabilidad eólica de la mayor parte de la provincia del Neuquén, arroja valores intermedios a elevados. Si bien, en primera instancia, este resultado puede parecer alarmante, el factor e por sí sólo no es suficiente para estimar la erosión actual, ya que se debe considerar también la influencia del clima y de la vegetación. De esta manera, suelos que obtuvieron cifras elevadas de erodabilidad eólica, no necesariamente sufrirán erosión si existe una cubierta vegetal que brinde protección suficiente ante la agresividad climática, o puede que no exista dicha cubierta, pero ante un clima benigno los suelos tampoco serán considerablemente erosionados.

Habiendo hecho esta mención y observando los resultados de la figura 6.6, es posible intuir a priori, cuál sería el destino, por ejemplo, de los suelos de gran parte de la franja cordillerana, especialmente los ubicados al centro – sur de la provincia, los cuales arrojan una alta erodabilidad eólica, pero que en realidad no sufren procesos erosivos (o están atenuados), debido a la densa cubierta vegetal que los protege y a la humedad que reciben de las cuantiosas precipitaciones. Gran parte de los suelos de esta zona, se identifican dentro del orden de los

Andosoles (Kozue & Mitsumasa, 2018; Salinas, 2007; La Manna, Buduba e Irisarri, 2020), y sus distribuciones coinciden con las regiones naturales andina subhúmeda montañosa, húmeda montañosa y extremo oeste de la región subhúmeda de planicies, colinas y serranías. Independientemente del clima y la vegetación, los suelos que presentaron las mayores puntuaciones de erodabilidad son los que poseen clases texturales arenosas y arena francas, comportamiento que coincide con lo planteado por Chepil y Woodruff (1963), al indicar que suelos de texturas gruesas son más susceptibles a la erosión eólica, debido a que poseen menos propiedades cohesivas, desprendiéndose estos más fácilmente por acción del viento.

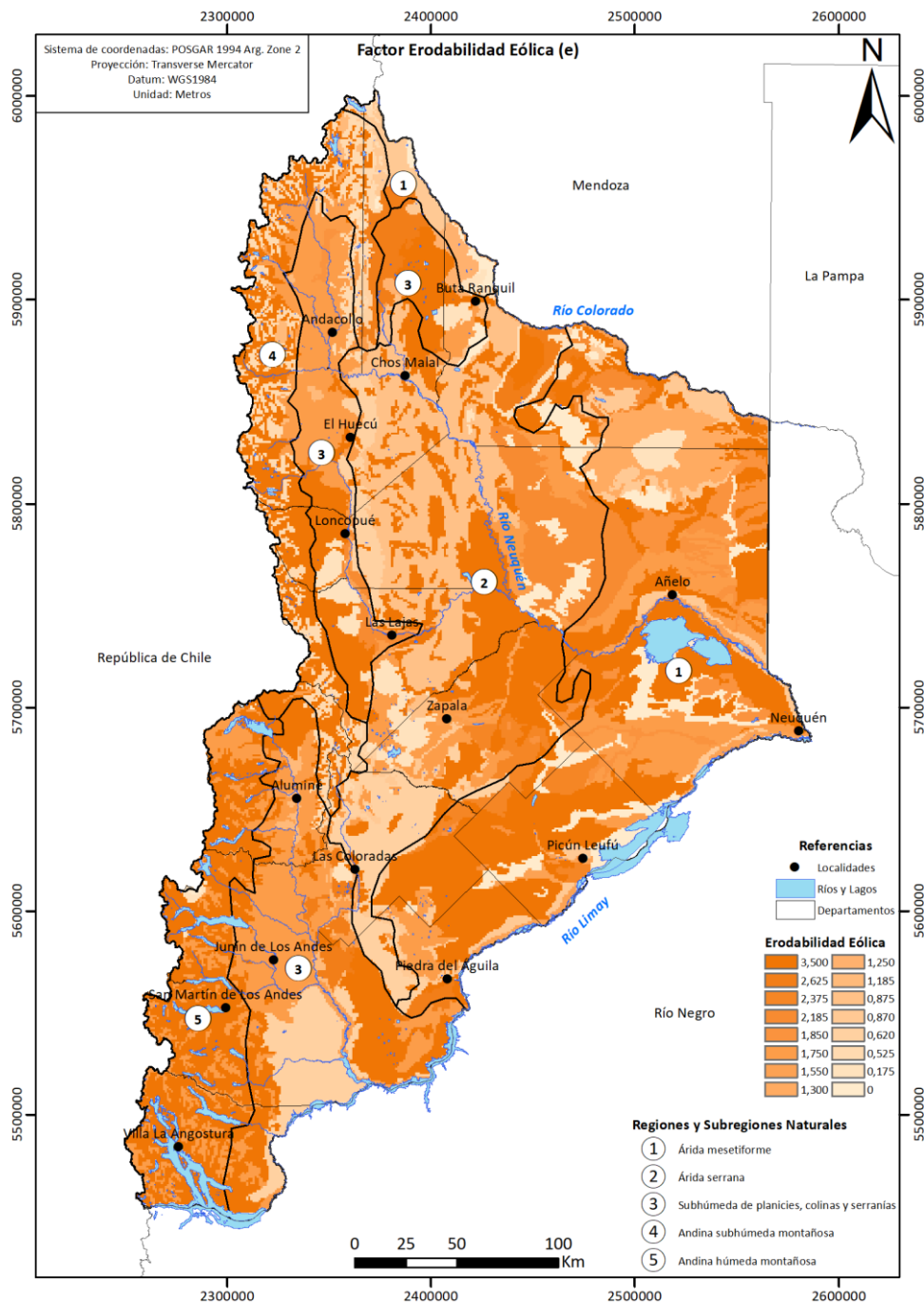


Figura 6.6. Erodabilidad eólica de los suelos de la provincia del Neuquén. Generada a partir de los "grupos de erodabilidad eólica" definidos por Lyles (1975, 1977) y Kimberlin et al. (1977). Fuente de datos: Ferrer et al. (1990)

El porcentaje y la superficie en km² que representa cada clase de erodabilidad de suelos en el territorio provincial, se muestran en la tabla 6.4 y la figura 6.7. Casi un 37% de la superficie de la provincia del Neuquén, obtuvo la máxima valoración de erodabilidad eólica de 3,5, mientras que alrededor de un 18% de los suelos puntuaron valores moderados de 1,75. Estos datos indican que, sin considerar la agresividad climática o la vegetación y sólo teniendo en cuenta sus propiedades físicas, al menos un 55% de los suelos de la provincia son moderada a altamente erodables por el viento, lo cual hace pensar en los recaudos que deberían tomarse a la hora de someterlos a determinados usos, independientemente del clima bajo el cual se encuentren o la cobertura vegetal que posean.

Tabla 6.4. Erodabilidad eólica media por clase para la provincia del Neuquén

Factor e	Superficie Km ²	Superficie %
3,5	34917,000	36,98
2,625	2465,000	2,61
2,375	1380,000	1,46
2,185	3780,000	4,00
1,85	2388,000	2,53
1,75	16898,000	17,90
1,55	1523,000	1,61
1,3	2009,000	2,12
1,25	437,000	0,46
1,185	583,000	0,61
0,875	7023,000	7,43
0,87	3163,000	3,35
0,62	6154,000	6,51
0,525	3588,000	3,80
0,175	2387,000	2,52
0	5708,000	6,04

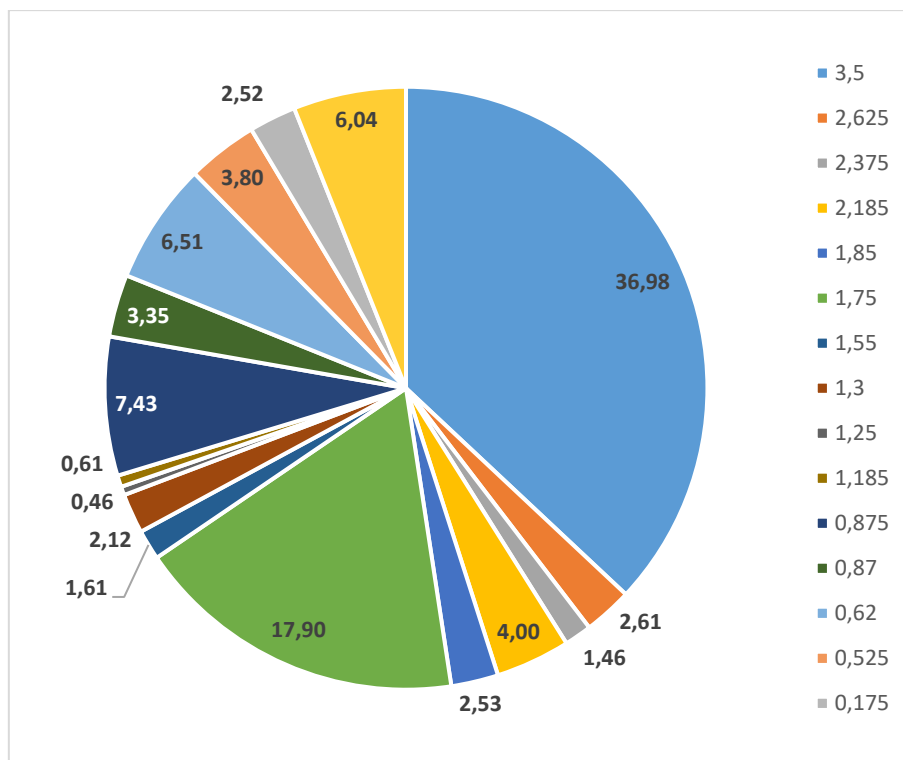


Figura 6.7. Erodabilidad eólica por clase para la provincia del Neuquén

El mapa de erodabilidad eólica provincial, puede resultar una herramienta sumamente útil a la hora de planificar medidas de manejo tendientes a minimizar los impactos negativos generados a partir de la utilización del suelo. Así, se deberá prestar especial atención a aquellos suelos que arrojan valores elevados de factor e, ya que la alteración o eliminación de la cobertura vegetal que sustentan, puede aumentar drásticamente su vulnerabilidad a la erosión eólica y derivar en la irremediable pérdida del recurso. Dado que la explotación ganadera ovino-caprina ha demostrado ser, históricamente, una eficiente fuerza destructiva de la vegetación de los suelos provinciales, el manejo de las cargas de ganado sobre campos y pastizales, al igual que las prácticas culturales como la trashumancia, deben abandonarse o replantearse bajo un enfoque tendiente a la sostenibilidad y conservación de los suelos, para garantizar el sustento económico de las poblaciones que dependen de ella. Este mismo cambio de mentalidad, debe extenderse a cualquier tipo de explotación que quiera emprenderse, siendo la extracción de hidrocarburos, una de ellas.

6.2.1. Susceptibilidad de los suelos a la erosión eólica en las regiones naturales

La figura 6.8, expone los valores promedio para el factor e de las 5 regiones naturales; si se analizan los datos, se puede observar que las regiones naturales andina subhúmeda montañosa, húmeda montañosa y subhúmeda de planicies, colinas y serranías, arrojan los mayores valores de erodabilidad eólica, sin embargo, las tasas de erosión eólica actual de sus suelos no son tan elevadas como se esperaría.

En lo que respecta a las regiones árida mesetiforme y árida serrana, aún con un considerable número de suelos en los cuales predominan las texturas gruesas, es evidente la protección que proveen la presencia de coberturas superficiales en forma de rocosidad y/o fragmentos gruesos, las cuales actúan formando capas protectoras que previenen o atenúan significativamente los mecanismos de erosión por el viento. Demás está decir que, si bien la erodabilidad eólica de los suelos de las regiones árida mesetiforme y árida serrana, es comparable a la de las regiones más húmedas, estos se encontrarán expuestos a un mayor riesgo de erosión y sufrirán mayor erosión eólica actual debido a que la influencia de la agresividad climática sobre ellos es mayor y la cobertura vegetal que presentan es menor.

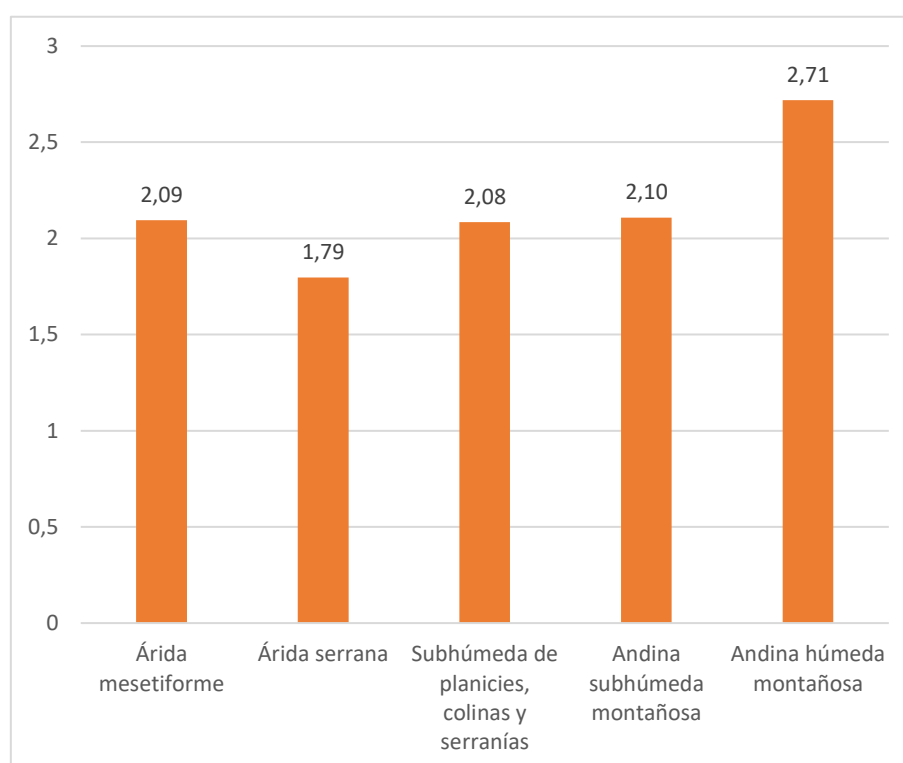


Figura 6.8. Erodabilidad eólica media por región natural

6.3. La influencia de la cobertura vegetal en la protección del suelo

Los resultados del factor de cubierta vegetal y manejo de cultivos y residuos orgánicos (u), muestran un claro patrón de variación oeste – este, coincidiendo todos los valores máximos de cobertura vegetal en toda la franja correspondiente a la Cordillera de los Andes. Dentro de esta franja, existe una clara diferencia centro – norte y centro – sur, evidenciando esta última, superficies más amplias de cobertura vegetal elevada. Posteriormente, la cubierta vegetal disminuye de manera muy marcada, presentando cifras relativamente homogéneas en el resto del territorio neuquino, con excepción de algunas áreas cultivadas principalmente en cercanías a cursos de agua (fig. 6.9).

Los valores de factor u, tal como se detalló en la metodología de este trabajo, son inversamente proporcionales a la cobertura vegetal. Por ello, aquellos resultados que arrojan valores elevados de factor u, indican porcentajes reducidos de cobertura vegetal y viceversa.

La cobertura vegetal varía estacionalmente, ya que gran parte de la vegetación renueva su follaje parcial o totalmente del invierno al verano. Por ello, los valores mínimos se registran en las estaciones de otoño – invierno (correspondientes con los valores más elevados de factor u), mientras que los máximos en las de primavera – verano (tabla 6.5 y fig. 6.10).

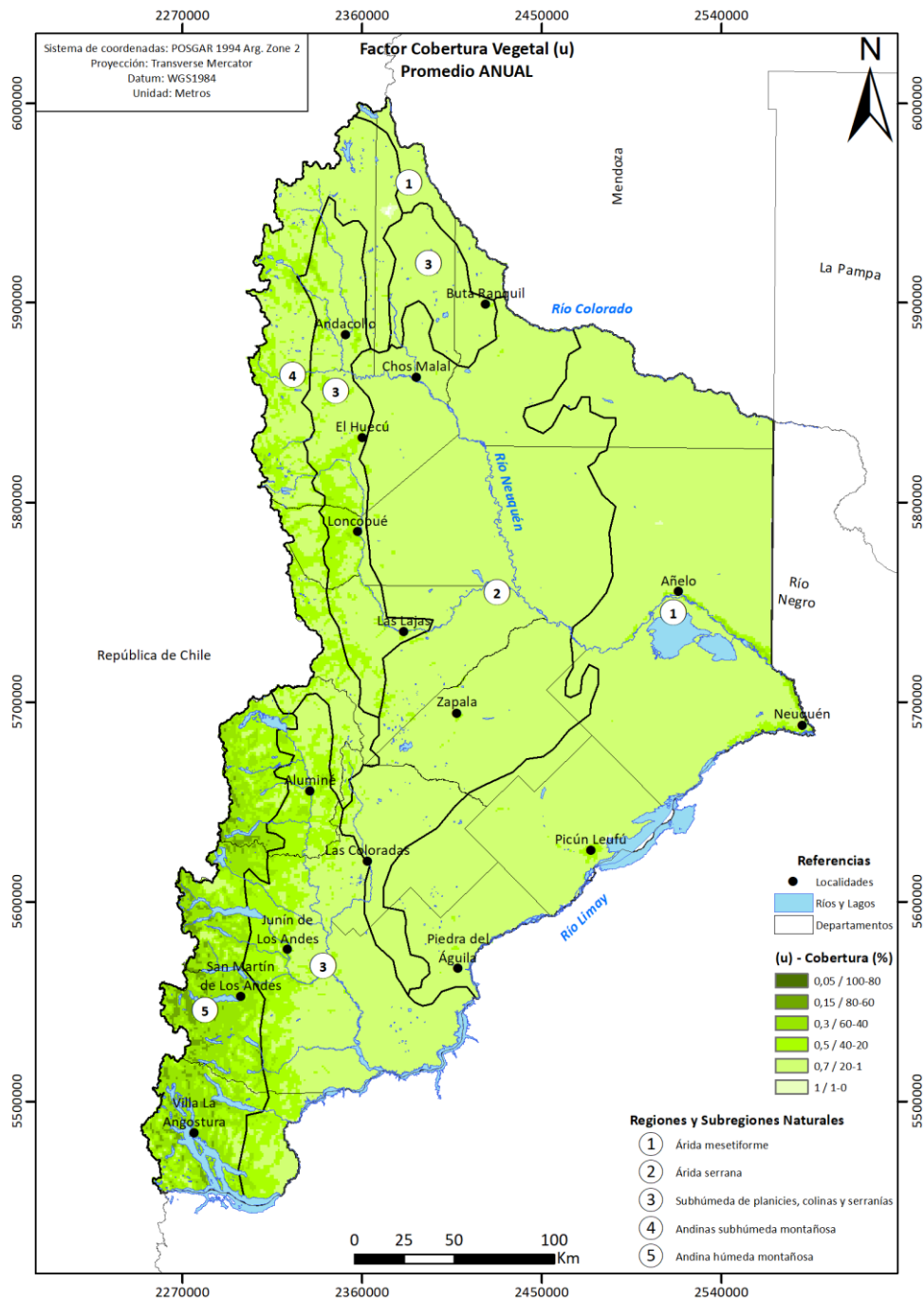


Figura 6.9. Factor u y cobertura vegetal media anual para la provincia del Neuquén. Fuente de datos: productos ráster del sitio web del Programa Copérnico, específicamente los de FCover (v2.0)

Tabla 6.5. Factor u medio mensual y anual para la provincia del Neuquén

Factor u	
Mes	Media
Enero	0,60
Febrero	0,61
Marzo	0,63
Abril	0,65
Mayo	0,67
Junio	0,68
Julio	0,68
Agosto	0,68
Septiembre	0,67
Octubre	0,66
Noviembre	0,62
Diciembre	0,60
Anual	0,65

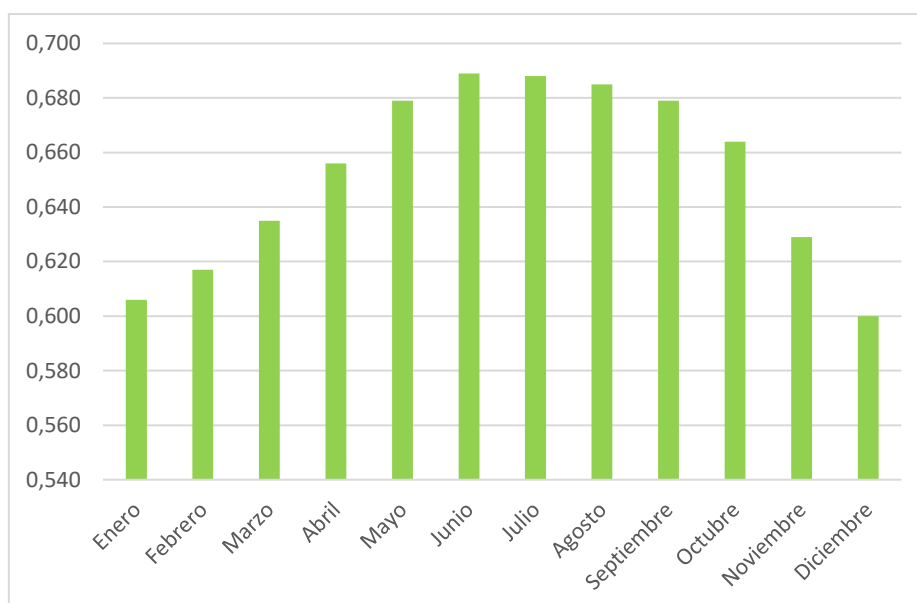


Figura 6.10. Factor u media mensual para la provincia del Neuquén

Esta variación, lógicamente impacta en la eficiencia con que la vegetación previene o disminuye la erosión eólica, por lo que dicha eficiencia también se verá modificada de manera estacional.

La vegetación, a través de las estructuras de sus cuerpos, incrementa la rugosidad del terreno, lo que se traduce en una capacidad aumentada para interceptar partículas del suelo que han sido puestas en movimiento por el viento mediante los mecanismos de saltación, rodamiento y suspensión. La cobertura vegetal es especialmente eficiente para cesar o disminuir el transporte por saltación y rodamiento, ya que los mayores tamaños de partícula que involucran estos mecanismos, hacen más probable que al impactar, caigan al suelo y no continúen su trayectoria

en otra dirección, como lo hace el material en suspensión. De todas maneras, la capacidad de las plantas de disminuir el transporte mediante suspensión no debe subestimarse, ya que muchas partículas tienden a quedar adheridas a ellas y posteriormente pueden retornar al suelo arrastradas por el agua en eventos de precipitaciones. Mientras más densa, diversa y de mayor porte sea la cubierta vegetal, más efectiva será para reducir la erosión eólica, por ende, los bosques cordilleranos serán más efectivos que la estepa arbustiva que cubre gran parte del territorio neuquino. Sin embargo, un porcentaje de cobertura inferior a un 20%, sigue siendo un factor efectivo de protección del suelo y por ello no deben despreciarse las cualidades de estructuras vegetales de menor complejidad.

Por otro lado, la cobertura vegetal es responsable en gran medida, de la mayor parte del contenido de materia orgánica que contienen los suelos. La materia orgánica, es fundamental para potenciar los procesos de agregación de los constituyentes del suelo, ya que posee una capacidad de intercambio aniónico y catiónico que le permite formar enlaces con múltiples especies químicas. Esto se suma a su capacidad de retener agua, lo cual hace posible que las condiciones cohesivas entre partículas persistan por más tiempo, y la pérdida de humedad por evapotranspiración potencial sea más gradual; la sombra que proyecta la vegetación contribuye también a reducir las pérdidas de humedad al disminuir la temperatura superficial del suelo y a evitar degradación de la materia orgánica debida a la radiación solar. Los efectos de la presencia de un adecuado contenido de materia orgánica conducen a una agregación más potente, lo que se traduce en un proceso de estructuración que forma agregados edáficos fuertes, con una resistencia a la alteración significativamente más elevada y, por ende, más resistentes al desmoronamiento eólico. La estabilidad de los agregados, es un factor determinante a la hora de definir la erodabilidad de los suelos (Chepil, 1950). Cualquier disturbio que produzca una disminución de la cobertura vegetal o de restos de materia orgánica sobre la superficie del suelo puede potencialmente acelerar la erosión eólica (Buschiazzo y Aimar, 2003).

Del total de la superficie del territorio provincial, casi el 75% se corresponde con valores de cobertura vegetal en el intervalo del 1 – 20%, aproximadamente un 15% en el intervalo del 20 – 40%, mientras que las demás clases se distribuyen alrededor del 10% de la superficie restante de manera relativamente equitativa (tabla 6.6 y figura 6.11).

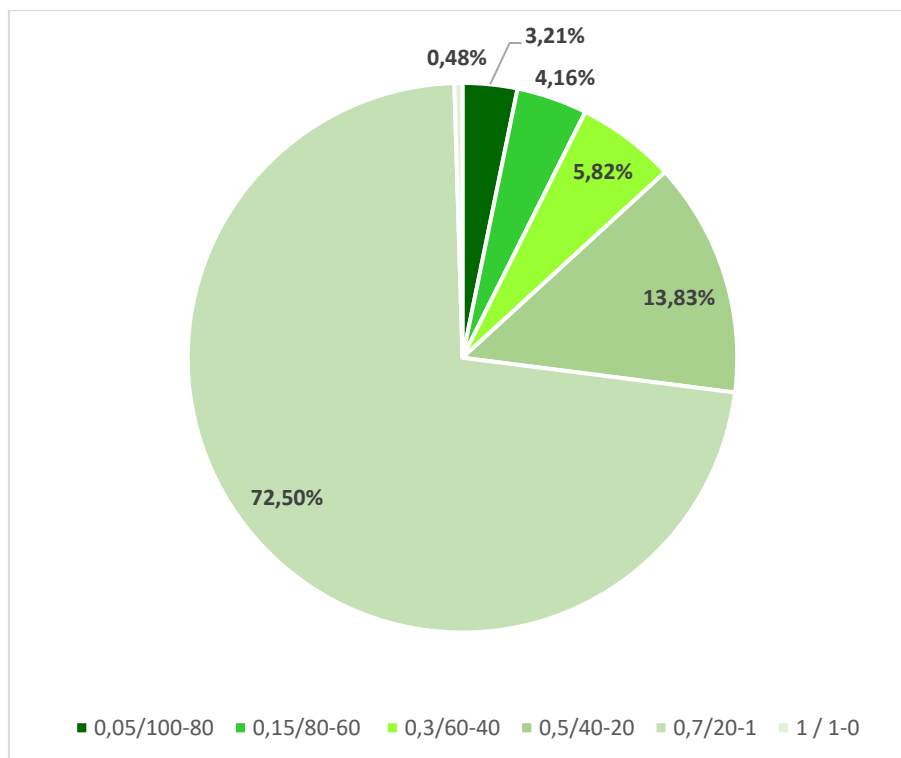


Figura 6.11. Factor u medio anual por clase para la provincia del Neuquén

Tabla 6.6. Factor u medio anual por clase para la provincia del Neuquén

Factor (u) / Cobertura (%)	Superficie (km²)	Superficie (%)
0,05/100-80	3031	3,21
0,15/80-60	3922	4,16
0,3/60-40	5488	5,82
0,5/40-20	13038	13,83
0,7/20-1	68359	72,50
1 / 1-0	448	0,48

Si se compara el mapa de valoración del factor u a nivel provincial (fig. 6.8) con el mapa de usos del suelo (fig. 3.6), se puede constatar que las actividades que involucran un impacto más nocivo para las cualidades del suelo que influyen en su vulnerabilidad ante los procesos de erosión eólica (ganadería y extracción de hidrocarburos), se desarrollan en todo el territorio cuya cobertura vegetal es sustancialmente baja. Las regiones árida mesetiforme y árida serrana promedian coberturas vegetales inferiores al 20% en toda su extensión, por lo que se constituyen como las más amenazadas por los usos del suelo que son capaces de degradar la cubierta vegetal. Habiendo mencionado la incuestionable capacidad de las estructuras vegetales para reducir la potencia o prevenir los fenómenos de erosión eólica, es preocupante pensar en el destino que sufrirán los suelos presentes en áreas naturalmente poco provistas de cobertura vegetal que son sometidas a los usos mencionados. En última instancia, si no se replantean las actividades desde un enfoque sustentable, la cobertura vegetal terminará siendo tan

severamente degradada al punto en que el suelo quedará totalmente expuesto a la erosión y terminará por desaparecer.

Independientemente de los resultados obtenidos en el mapa del factor u , es importante mencionar que los datos generados se encuentran sujetos a una variabilidad que puede no representar de manera perfecta, lo que acontece realmente en el terreno. Esto se debe a que el origen de los datos que sirvieron de entrada para la ecuación de erosión eólica, es de imágenes obtenidas por sensores ópticos instalados en satélites. Sin embargo, las tareas de post procesado y corrección de defectos a la que fueron sometidos los productos tipo ráster utilizados en este trabajo, permiten reducir sustancialmente el margen de error, con lo cual se logra generar resultados confiables. Una alternativa para mejorar la precisión del cálculo de la cobertura vegetal es la medición en campo, sin embargo, este método puede resultar complejo de realizar en la escala de trabajo de esta tesis.

El estado actual de la cobertura vegetal en gran parte del territorio de la provincia del Neuquén, es el resultado de décadas de una utilización desmesuradamente extractiva de sus ecosistemas por parte del hombre, especialmente la ganadería ovino-caprina, la cual ha contribuido activamente a deteriorar la protección que mitiga o detiene los fenómenos que desencadenan la degradación del suelo producto de la erosión eólica. Las motivaciones económicas, sociales y culturales, tales como los constantes intentos de maximizar los beneficios y la acumulación de capital, el desconocimiento o la negación sobre las verdaderas causas que provocan el deterioro del recurso suelo y prácticas nocivas como la trashumancia y el sobre pastoreo, deben ser modificadas radicalmente, si lo que se desea es orientar el rumbo a la sostenibilidad ecológica, económica y cultural. En adición a la ganadería, la explotación hidrocarburífera es otra actividad que ha cobrado fuerza desde el siglo pasado y ha tenido un impulso aún mayor desde el año 2010, con la perforación mediante técnicas no convencionales, conocidas también como fractura hidráulica o *fracking*. Los desmontes requeridos para construir las locaciones en las que se emplazan los equipos, las piletas de almacenamiento de agua de fractura, los múltiples caminos para la circulación de equipos y camiones, la minería de áridos, entre otras, son algunas de las acciones con las que la extracción de hidrocarburos alienta la erosión eólica y la consecuente degradación edáfica.

6.3.1. Evolución media mensual del factor u por región natural

La variación del factor u mensual en las regiones naturales, arroja una tendencia similar a la provincial, principalmente para la región andina húmeda montañosa, y en menor medida para la andina subhúmeda montañosa y la subhúmeda de planicies, colinas y serranías. Por el contrario, las regiones árida mesetiforme y árida serrana, manifestaron valores muy similares durante todos los meses del año (fig. 6.12).

Las diferencias entre regiones, se explican debido al tipo de vegetación que sustenta cada una de ellas. Las regiones más húmedas, presentan una superficie considerable de vegetación de hoja caduca, lo que provoca que, durante los meses de estaciones frías, los valores del factor u se vean incrementados, lo que se traduce en un menor porcentaje de cobertura vegetal. Por otro lado, las regiones más áridas, cuentan con especies vegetales perennes adaptadas a condiciones de estrés hídrico, y por ello la variación de la superficie foliar es muy acotada a través de los meses (tabla 6.7).

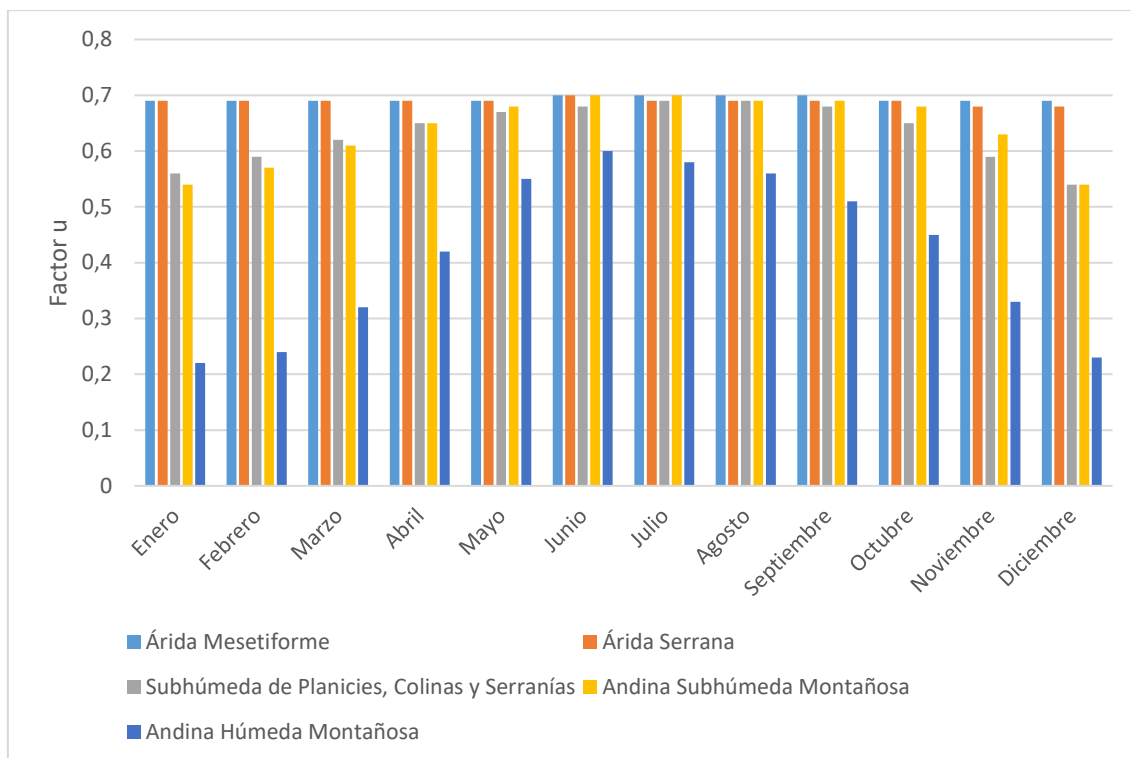


Figura 6.12. Variación media mensual del factor u por región natural

Tabla 6.7. Valoración media mensual del factor u por región natural

Región Natural	Factor u - Media mensual											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Árida Mesetiforme	0,7	0,7	0,7	0,7	0,69	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Árida Serrana	0,7	0,7	0,7	0,7	0,69	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Subhúmeda de Planicies, Colinas y Serranías	0,6	0,6	0,6	0,7	0,67	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5
Andina Subhúmeda Montañosa	0,5	0,6	0,6	0,7	0,68	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5
Andina Húmeda Montañosa	0,2	0,2	0,3	0,4	0,55	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,3	0,2

El factor u, alcanza el valor medio anual más elevado para la región natural árida mesetiforme, seguida por la región árida serrana, mientras que las regiones andina subhúmeda montañosa, subhúmeda de planicies colinas y serranías y andina húmeda montañosa, obtuvieron los valores más bajos respectivamente (fig. 6.13).

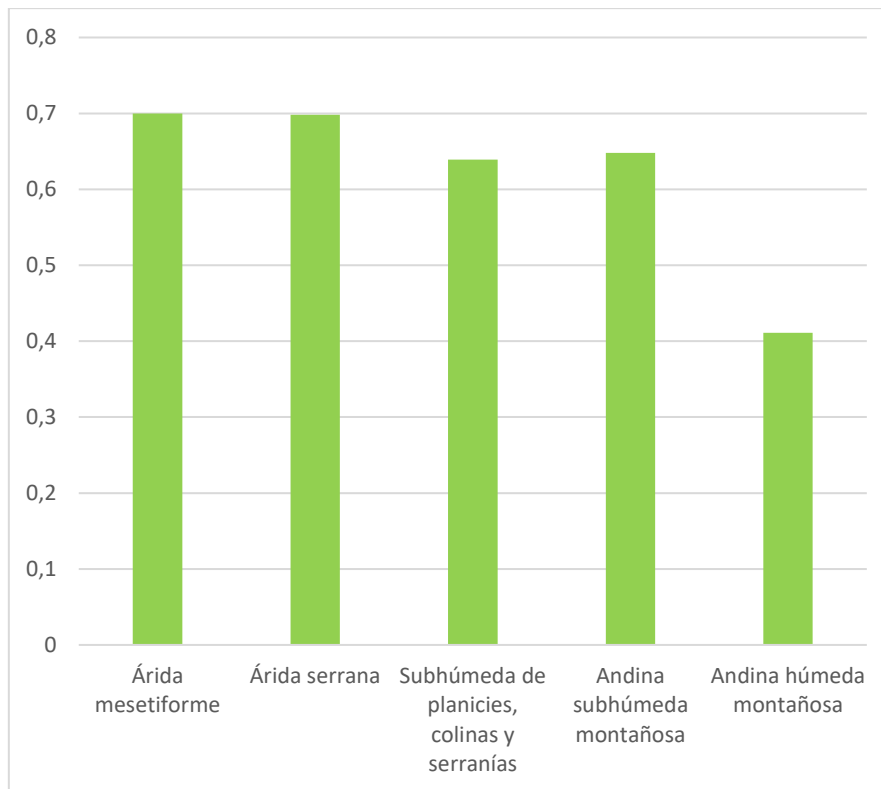


Figura 6.13. Factor u media anual por región natural

6.4. La Erosión Eólica Potencial en la provincia del Neuquén

La Erosión Eólica Potencial (EEP), resulta del producto entre el factor agresividad climática (c), y factor suelos o erodabilidad eólica (e) de los suelos de la Provincia del Neuquén, sin considerar la influencia del factor cobertura vegetal (u). Puede entenderse a la EEP como el riesgo de los suelos a padecer procesos erosivos de diferente magnitud producto de la acción del viento.

En la figura 6.14, se puede apreciar que el territorio provincial presenta numerosas superficies cuya clase de EEP es muy alta, distribuyéndose desde el centro en la localidad de Zapala y sus alrededores, hacia el sur por las localidades de Picún Leufú, Las Coloradas, este de Junín de los Andes y Piedra del Águila. Otras zonas de EEP de clase muy alta, se localizan en la zona este de la provincia, desde el sur de la localidad de Añelo hasta la zona noroeste de la capital neuquina, y también al norte de Chos Malal y noroeste de Buta Ranquil.

Las zonas que presentaron la clase nula o ligera de EEP, se concentran principalmente en una franja al oeste provincial, coincidentes con la Cordillera de los Andes, mientras que la clase de EEP moderada se halla casi exclusivamente al noroeste, en las inmediaciones de las localidades de Andacollo, Chos Malal, El Huecú y Loncopué. Finalmente, la clase de EEP alta se distribuye de manera relativamente homogénea en toda la provincia, siendo su presencia predominante en el noreste provincial, al norte de la localidad de Añelo.

Los valores más elevados de EEP, se registran en los meses más cálidos del año, posteriores al inicio de la primavera y anteriores al inicio del otoño, con máximos en los meses de diciembre y

enero. Los valores más reducidos de EEP, coinciden con los meses más fríos, siguientes al inicio del otoño y previos al inicio de la primavera, con mínimos en los meses de junio y julio (tabla 6.8 y fig. 6.15). Los valores negativos de EEP obtenidos para los meses que van de mayo a agosto, significan que el riesgo de erosión es prácticamente nulo, por lo que puede entenderse que, en este período de tiempo, el riesgo de ocurrencia de procesos erosivos es insignificante. El valor anual obtenido, es la sumatoria de los valores mensuales positivos de EEP.

Del total de los suelos provinciales, el riesgo de erosión eólica de los suelos se compone de aproximadamente un 30% de superficie bajo riesgo muy alto y casi un 40% bajo riesgo alto, cifras que resultan preocupantes debido a que prácticamente un 70% del territorio neuquino tiene el potencial para sufrir procesos erosivos de gravedad considerable, en el caso de que la cobertura vegetal que le brinda protección resulte alterada. Aproximadamente el 20% y el 10% de la superficie restante, arrojaron valores de riesgo de erosión eólica nulos a ligeros y moderados respectivamente (tabla 6.9 y fig. 6.16).

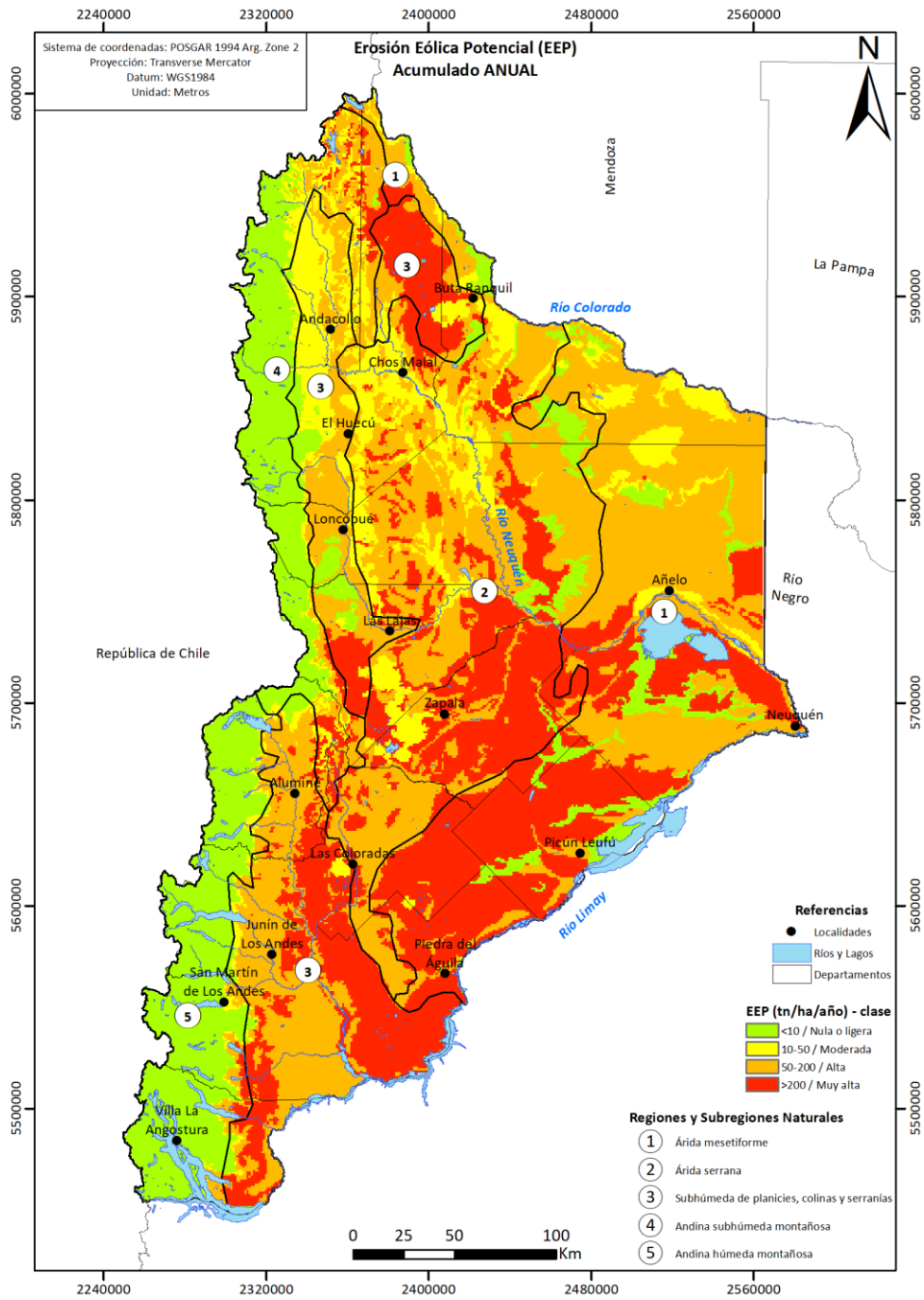


Figura 6.14. Erosión Eólica Potencial acumulada anual para la provincia del Neuquén. Obtenida a partir de la sumatoria mensual de EEP (factor c x factor e)

Tabla 6.8. EEP media mensual para la provincia del Neuquén

EEP – Valores medios	
Mes	Tn/ha
Enero	48,02
Febrero	25,66
Marzo	20,60
Abril	8,29
Mayo	-13,09
Junio	-31,36
Julio	-36,99
Agosto	-14,17
Septiembre	8,66
Octubre	24,65
Noviembre	35,12
Diciembre	49,86
Anual	220,9

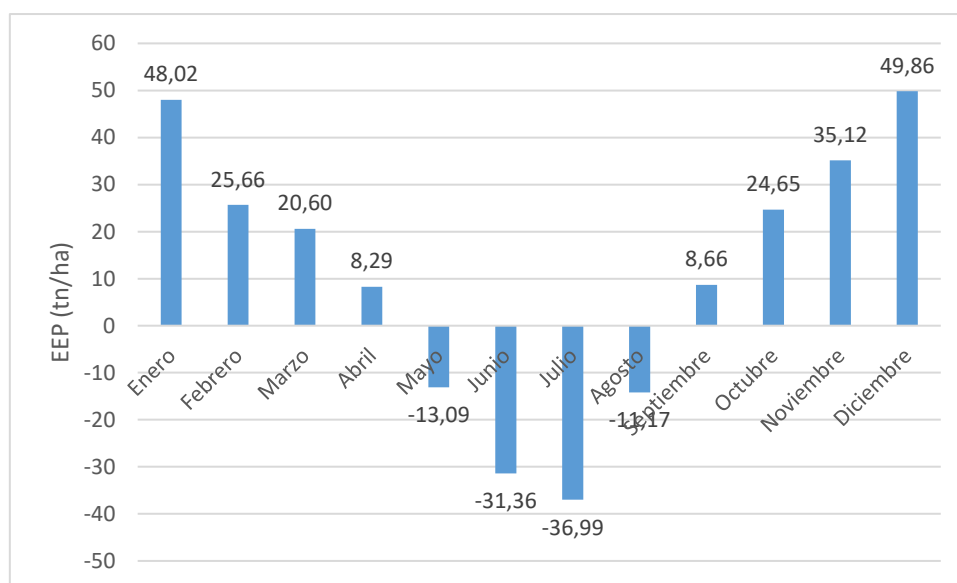


Figura 6.15. EEP media mensual para la provincia del Neuquén

Tabla 6.9. EEP acumulada anual por clase para la provincia del Neuquén

Acumulado anual por clase (km ²)				Acumulado anual por clase (%)			
Nula a ligera	Moderada	Alta	Muy alta	Nula a ligera	Moderada	Alta	Muy alta
18986	10755	37472	26698	20,22	11,45	39,90	28,43

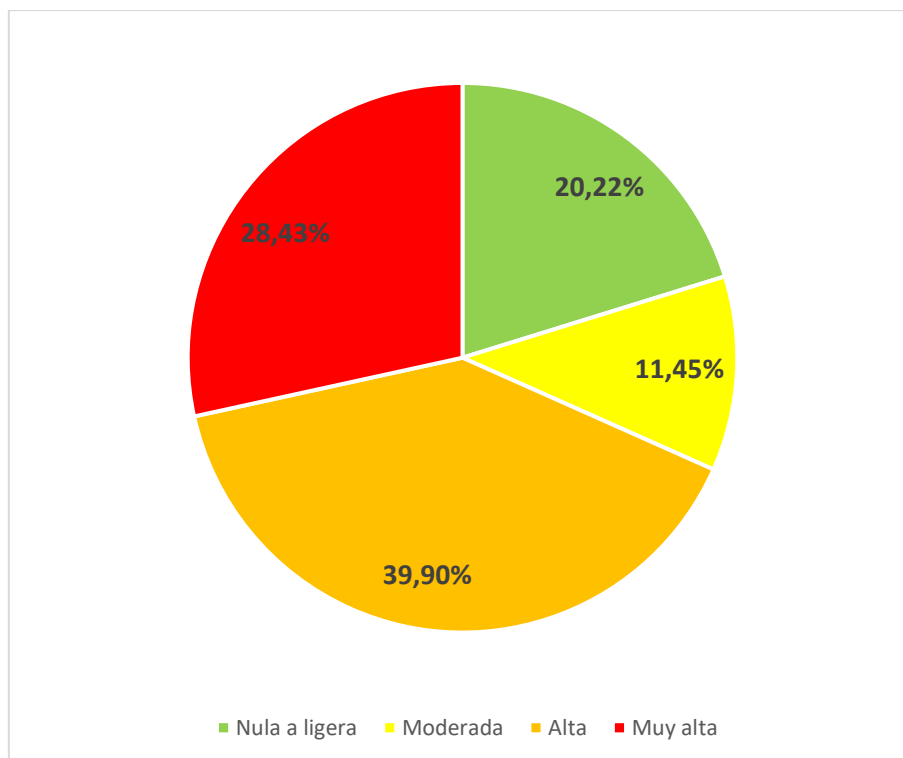


Figura 6.16. EEP acumulada anual por clase para la provincia del Neuquén

Analizando el mapa de usos del suelo de la provincia del Neuquén (fig. 3.6), junto con el mapa de EEP acumulada anual (fig. 6.14), se puede apreciar un escenario complicado, en el que la mayor parte de los suelos cuya clase de riesgo de erosión eólica es alto o muy alto, se encuentra sometido a actividades que tienden a degradar la cobertura vegetal y las cualidades del suelo que previenen los fenómenos erosivos por el viento, estas son principalmente, la ganadería y la actividad hidrocarburífera. Si bien el mapa de EEP provincial no considera la influencia de la cubierta vegetal protectora, por lo que la magnitud real de la erosión eólica se presume menor, evidencia la sustancial superficie de suelo que podría erosionarse de mayor gravedad a futuro, en el caso que no se implementen prácticas de manejo y conservación responsables, tanto de los suelos como de la vegetación.

6.4.1. La Erosión Eólica Potencial en las regiones naturales

Las regiones naturales árida mesetiforme, árida serrana y subhúmeda de planicies, colinas y serranías, concentran la mayor parte de las superficies con suelos afectados por EEP de clases alta y muy alta, la clase moderada se atribuye principalmente a las regiones andina subhúmeda montañosa, subhúmeda de planicies, colinas y serranías y árida serrana, mientras que las regiones andina húmeda montañosa y andina subhúmeda montañosa poseen la mayor parte del territorio con EEP de clase nula a ligera (fig. 6.17).

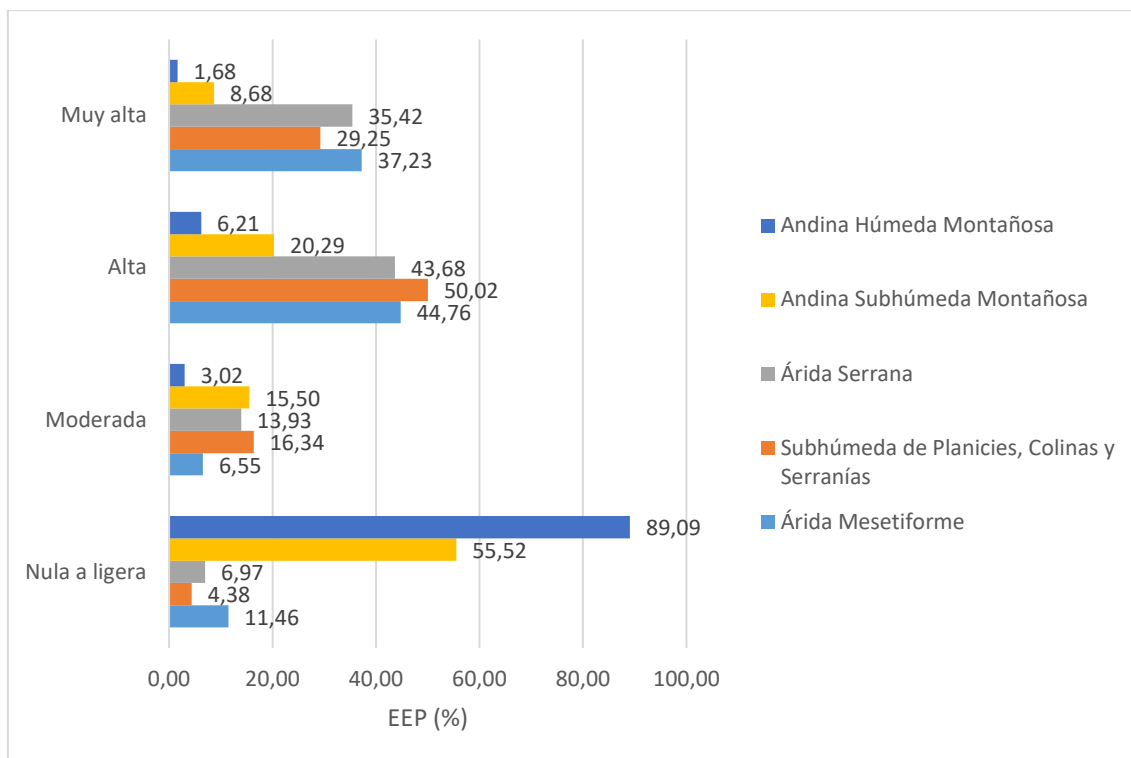


Figura 6.17. EEP acumulada anual por clase y región natural

La variación media mensual de la EEP por región natural, se caracterizó por mostrar una tendencia similar a la provincial. Los meses de menor riesgo de erosión, van desde abril hasta septiembre, período que coincide con las menores cifras de agresividad climática producto del aumento de las precipitaciones y la reducción de la evapotranspiración potencial. Por otro lado, los meses con mayor riesgo de erosión potencial, van desde octubre hasta marzo, época coincidente con los meses de primavera y verano, en los cuales se produce un incremento de las temperaturas, de la evapotranspiración potencial y una disminución de las precipitaciones (fig. 6.18).

Como se puede observar en la evolución mensual de la EEP para la región andina húmeda montañosa, los meses de verano presentan máximos que superan inclusive a los de las regiones naturales más áridas (tabla 6.10). Este comportamiento se explica cuando se analiza el tipo de suelos presentes en la región mencionada, los cuales se componen de texturas gruesas, con predominio de arenas de origen volcánico, coincidentes con el orden de los Andosoles. Esta particularidad, evidencia que sin la presencia de la importante cobertura vegetal que sustentan esta región natural, los suelos se verían gravemente afectados por los mecanismos de la erosión eólica. Es por ello que, si bien deben adoptarse medidas destinadas a prevenir o mitigar el riesgo de erosión eólica a través de la conservación de la cobertura vegetal, es fundamental que dichas acciones o recaudos, se extremen durante los meses que arrojan los mayores valores de EEP.

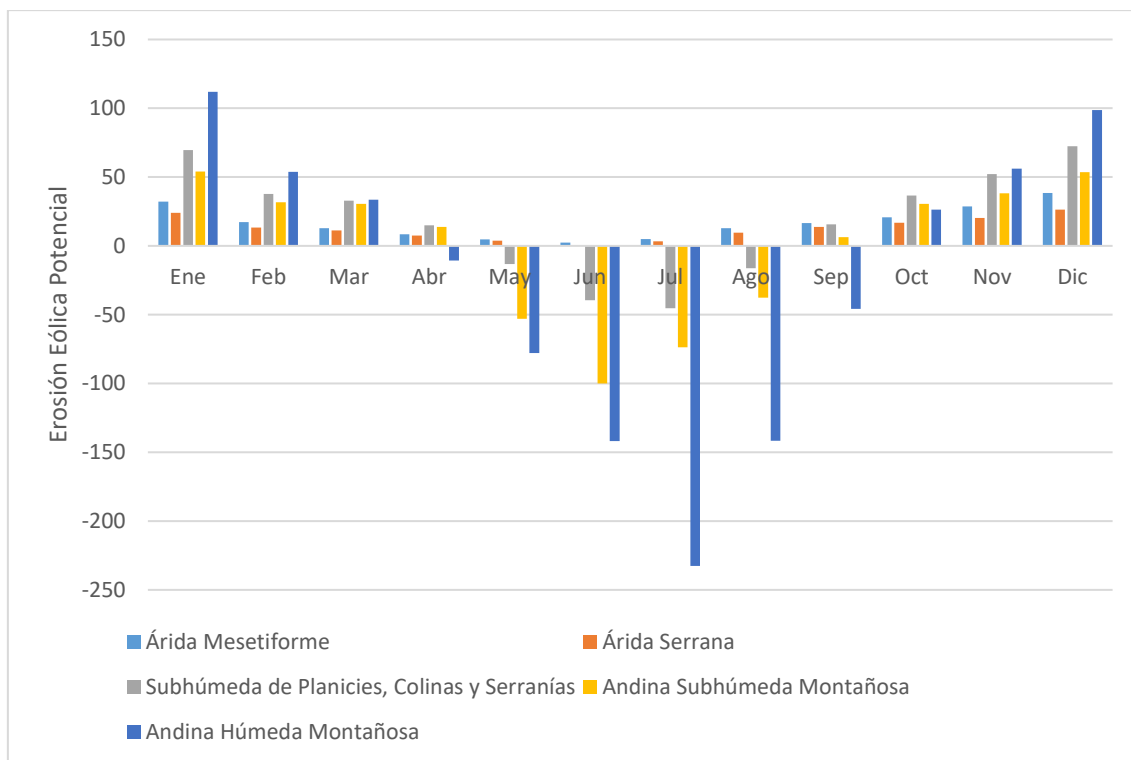


Figura 6.18. Variación media mensual de la EEP por región natural

Tabla 6.10. Valoración media mensual de la EEP por región natural

Región Natural	Erosión Eólica Potencial - Media mensual											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Árida Mesetiforme	32,24	17,4	13	8,4	4,72	2,31	4,99	12,95	16,59	20,8	28,7	38,4
Árida Serrana	24,05	13,3	11,2	7,53	3,83	0,06	3,3	9,6	13,81	16,7	20,3	26,4
Subhúmeda de Planicies, Colinas y Serranías	69,65	37,8	33	14,84	-13,2	-39,55	-45,21	-16,29	15,66	36,6	52,2	72,4
Andina Subhúmeda Montañosa	54	31,7	30,6	13,69	-52,9	-99,91	-73,75	-37,72	6,26	30,6	38,2	53,6
Andina Húmeda Montañosa	112	53,9	33,5	-10,7	-77,9	-141,8	-232,6	-141,7	-45,8	26,3	56,1	98,8

6.5. Erosión Eólica Actual (EEA)

La Erosión Eólica Actual (EEA), considera en su cálculo el porcentaje de cobertura vegetal presente en el terreno (factor u), por lo que es de esperar que los resultados obtenidos manifiesten tasas de erosión eólica de menor magnitud que las de los valores calculados para la Erosión Eólica Potencial (EEP). La EEA, nos brinda una aproximación de la cantidad de suelo que actualmente se está erosionando por el viento en el territorio provincial.

Las EEA se expresa de manera más potente (clase de tipo muy alta) principalmente en el centro y centro sur de la provincia, en un área que va desde sitios circundantes a la localidad de Zapala, hacia el sureste y suroeste en inmediaciones a Picún Leufú y Las Coloradas, y finalmente hacia zonas al sur de la localidad de Piedra del Águila. Se suman también las áreas ubicadas en el noroeste provincial, específicamente al norte de Chos Malal y noroeste de Buta Ranquil.

La clase de EEA de tipo alta, se distribuye con mayor presencia en el sector este, al norte y alrededores de Añelo, mientras que, en el resto del territorio, se hace más frecuente en latitudes que van desde Zapala hacia el sur, en un patrón intrincado que la combina principalmente con la clase de tipo muy alta. Este patrón, cambia considerablemente en latitudes al norte de Zapala, ya que la clase de tipo alta se torna menos relevante para pasar a cobrar una mayor importancia la clase de EEA de tipo moderada, hasta el extremo noroeste del Neuquén. Esta última, se manifiesta además al norte de la localidad de Añelo, distribuyéndose de un modo relativamente equitativo con la clase de tipo alta. Por último, la clase de tipo nula o ligera, limita su extensión casi exclusivamente a la franja cordillerana, con mayor presencia en el sur que en el norte (fig. 6.19).

Los valores más elevados de EEA, van desde el mes de octubre hasta marzo, con los máximos correspondientes a los meses de diciembre y enero. Los valores más reducidos de EEA, coinciden con los meses de abril a septiembre, con mínimos en los meses de junio y julio (tabla 6.11 y fig. 6.20). Los valores negativos de EEA obtenidos para los meses que van de mayo a agosto, significan que la erosión actual es prácticamente nula, por lo que puede entenderse que, en este período de tiempo, es improbable que se desencadenen mecanismos erosivos. El valor anual obtenido, es la sumatoria de los valores mensuales positivos de EEA.

El total de la superficie provincial que se atribuye a la clase alta de erosión eólica actual de los suelos, es de casi un 40% y de un poco más de un 15% para la clase muy alta. Aproximadamente el 25% y el 20% de la superficie restante, arrojaron valores de erosión eólica actual nulos a ligeros y moderados respectivamente (tabla 6.12 y fig. 6.21).

Si se efectúan las respectivas comparaciones entre el mapa de EEA (fig. 6.19.) y el mapa de usos del suelo de la provincia del Neuquén (fig. 3.6), se puede apreciar que la distribución de las zonas que actualmente se están degradando con mayor severidad, es similar a la que se muestra en el mapa de EEP (fig. 6.14), para las zonas con mayor riesgo de erosión. Estas zonas se concentran en el centro – sur del territorio provincial y en el norte. Nuevamente, la ganadería (en sus diferentes variantes) y la extracción hidrocarburífera, son las modalidades de utilización del suelo con mayor presencia en estas zonas.

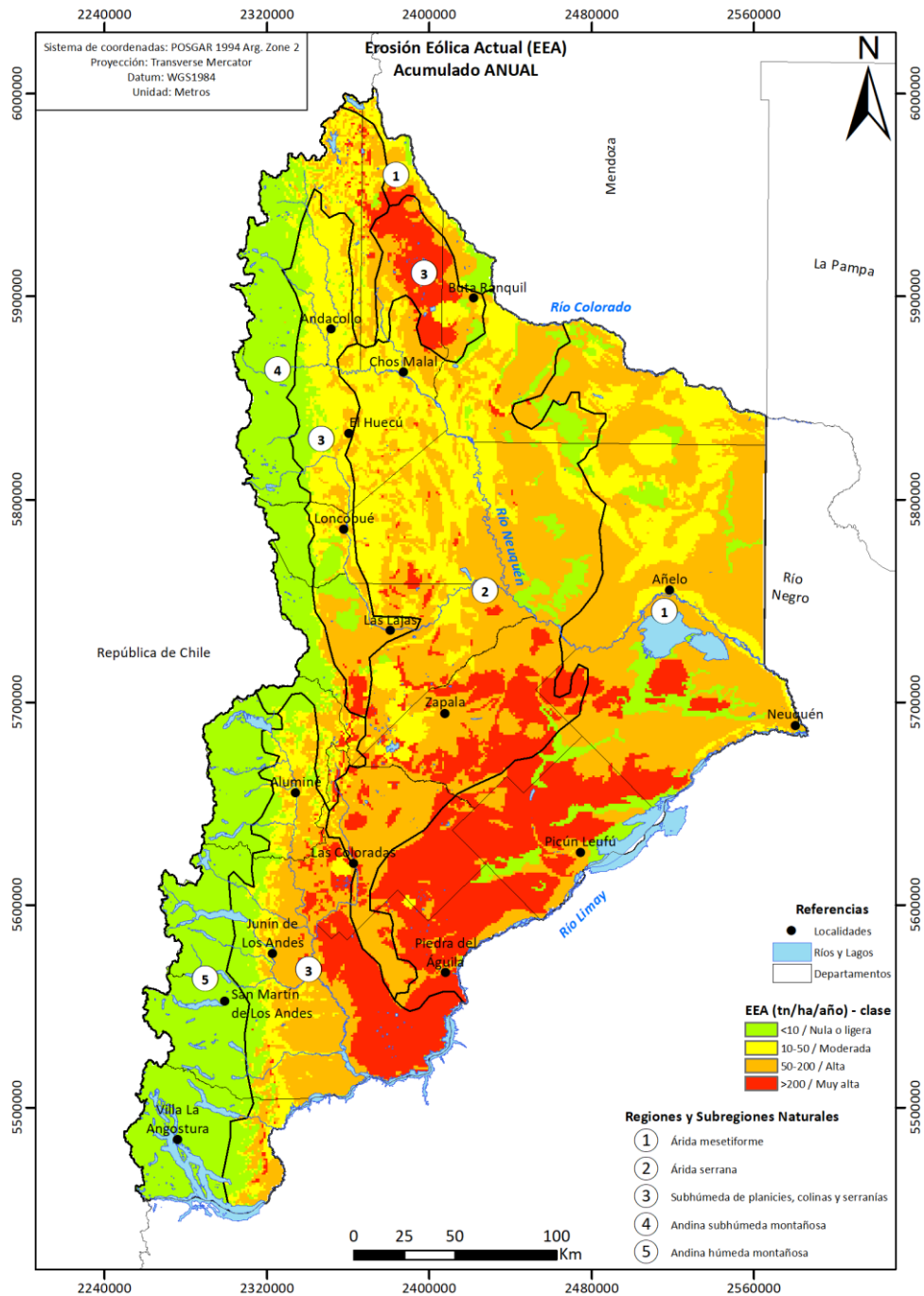


Figura 6.19. Erosión Eólica Actual acumulada anual para la provincia del Neuquén. Obtenida a partir de la sumatoria mensual de EEA (Factor c x Factor e x Factor u)

Tabla 6.11. EEA media mensual para la provincia del Neuquén

EEA – Valores medios	
Mes	Tn/ha
Enero	24,62
Febrero	13,88
Marzo	12,14
Abril	5,97
Mayo	-7,73
Junio	-20,58
Julio	-22,88
Agosto	-7,58
Septiembre	7,158
Octubre	16,39
Noviembre	20,94
Diciembre	26,49
Anual	189,3

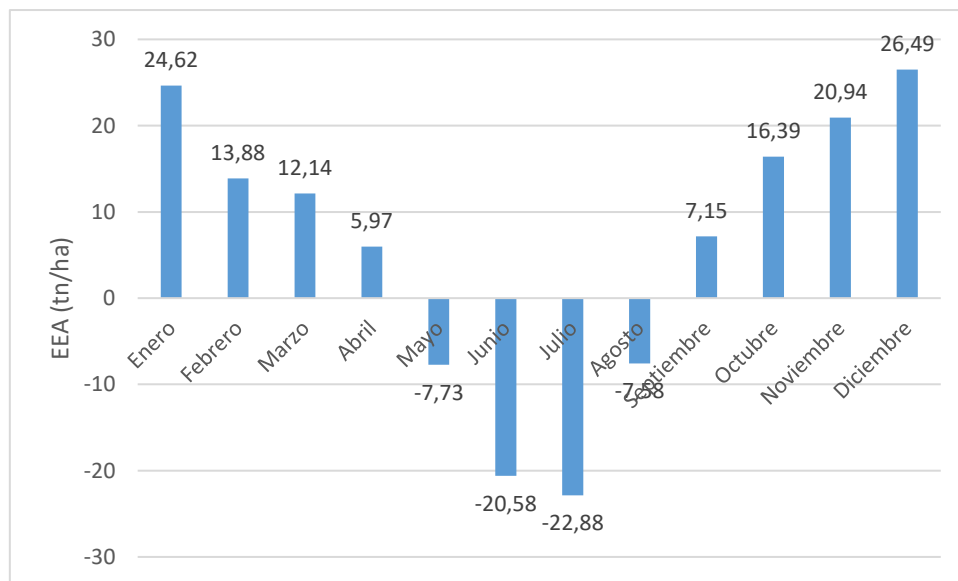


Figura 6.20. EEA promedio mensual para la provincia del Neuquén

Tabla 6.12. EEA acumulada anual por clase para la provincia del Neuquén

Acumulado anual por clase (km ²)				Acumulado anual por clase (%)			
Nula a ligera	Moderada	Alta	Muy alta	Nula a ligera	Moderada	Alta	Muy alta
23310	19045	36174	15179	24,88	20,32	38,60	16,20

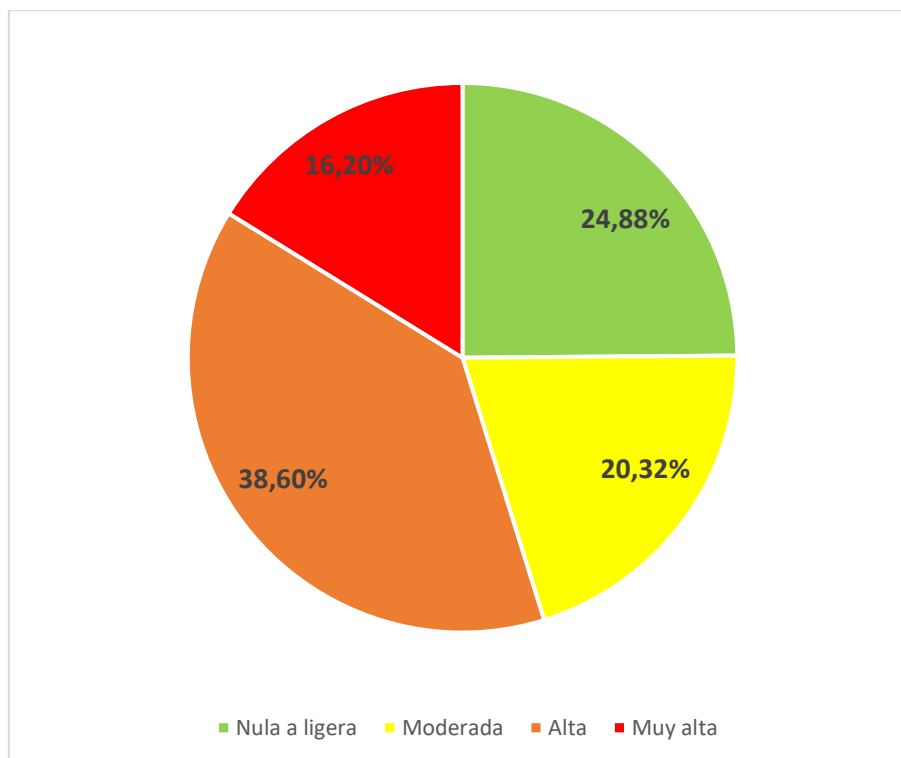


Figura 6.21. EEA acumulada anual por clase para la provincia del Neuquén

Si se cotejan los resultados obtenidos por los mapas de EEA acumulada anual (fig. 6.19) con los del mapa de usos del suelo de la provincia del Neuquén (fig. 3.6), surge que toda porción de territorio identificada con clases de EEA alta o muy alta, está sometida a la ganadería y a la dinámica de la extracción de hidrocarburos, esta última con mayor presencia en el sector este de la provincia, principalmente en la región natural árida mesetiforme. Es notable el efecto mitigador que ejerce la vegetación sobre los procesos erosivos eólicos, apreciándose diferencias notables con respecto al mapa de EEP acumulada anual (fig. 6.14). Aunque este resultado pueda parecer alentador, la realidad es que superficies de gran extensión se encuentran erosionándose de manera muy significativa, cuyos suelos continúan siendo utilizados para sustentar actividades incompatibles respecto a su tolerancia, al menos en la manera en que están planteadas.

El panorama presente de la erosión eólica actual, como ya se ha mencionado en este trabajo, se explica mediante una secuencia de causas de diferente enfoque, siendo estos el ecológico-ambiental, el económico-social y el sociocultural. A modo de síntesis, puede decirse que la influencia del hombre sobre el ambiente a lo largo del tiempo, impulsada por medio de diferentes motivaciones e intereses, ha provocado interrupciones en la dinámica del funcionamiento de los ecosistemas de la provincia del Neuquén, lo cual impactó negativamente en la diversidad y densidad de la cobertura vegetal protectora de los suelos, aumentando drásticamente su vulnerabilidad a la erosión eólica y generando, en última instancia, la degradación y posterior pérdida del recurso suelo.

6.5.1. La Erosión Eólica Actual en las regiones naturales

Las regiones naturales árida mesetiforme, árida serrana y subhúmeda de planicies, colinas y serranías, concentran la mayor parte de las superficies con suelos afectados por EEA de clases

alta y muy alta, la clase moderada se atribuye principalmente a las regiones árida serrana y subhúmeda de planicies, colinas y serranías, mientras que las regiones andina húmeda montañosa y andina subhúmeda montañosa poseen la mayor parte del territorio con EEA de clase nula a ligera. Cabe aclarar que la región andina húmeda montañosa expresa una EEA de clase casi exclusivamente nula a ligera (fig. 6.22).

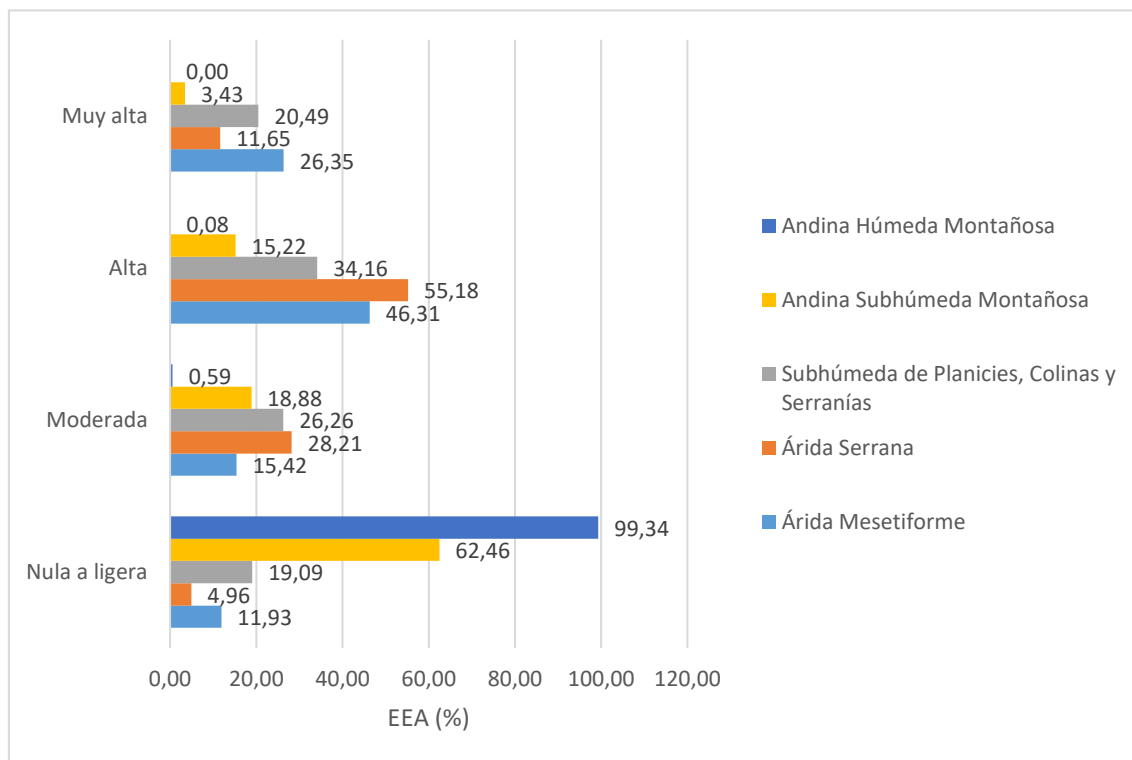


Figura 6.22. EEA acumulada anual por clase y región natural

El comportamiento de la EEA media mensual por región natural, se asemeja al escenario presente a nivel provincial. Los meses en los que los suelos se ven menos erosionados por el viento, van desde mayo hasta agosto; la región andina húmeda montañosa, evidencia valores muy bajos de EEA desde abril hasta septiembre inclusive (fig. 6.23). Durante los meses que van desde octubre hasta abril, las regiones subhúmeda de planicies, colinas y serranías, y la región andina subhúmeda montañosa, padecen los valores más elevados de erosión eólica actual, mientras que las regiones árida mesetiforme y árida serrana, son las únicas que sufren erosión durante los meses de mayo a agosto, en los cuales las demás regiones naturales no se ven afectadas significativamente (tabla 6.13).

El análisis de la evolución mensual de la EEA, permite dimensionar el rol de la cobertura vegetal a la hora de interferir con los mecanismos de traslado por partículas por el viento. Si se compara, por ejemplo, la variación mensual del riesgo de erosión eólica (fig. 6.18) para la región andina húmeda montañosa, con la variación de la EEA para la misma región natural (fig. 6.23), es posible percibir una atenuación importante en la masa de suelo que el viento sería capaz de remover si no existiera vegetación protectora. Si se comparan las tablas 6.10 y 6.13, estas reducciones significan decenas de toneladas de suelos que logran ser protegidos de la erosión mensualmente.

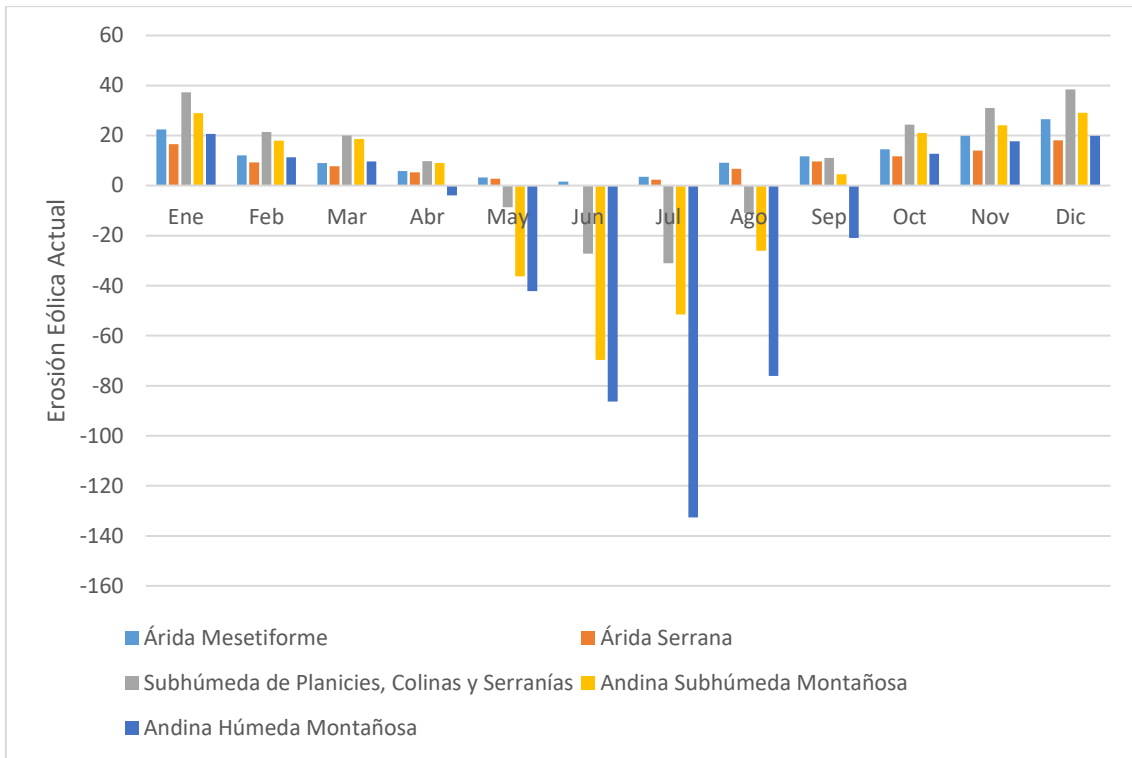


Figura 6.23. Variación media mensual de la Erosión Eólica Actual por región natural

Tabla 6.13. Valoración media mensual de la EEA por región natural

Región Natural	Erosión Eólica Actual - Media mensual											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Árida Mesetiforme	22,5	12,1	9,06	5,87	3,31	1,61	3,48	9,08	11,65	14,5	19,9	26,6
Árida Serrana	16,6	9,22	7,76	5,25	2,68	0,04	2,3	6,72	9,66	11,7	14	18,1
Subhúmeda de Planicies, Colinas y Serranías	37,3	21,5	20,1	9,84	-8,62	-27,2	-31,07	-10,91	11,01	24,4	31,1	38,5
Andina Subhúmeda Montañosa	29	17,9	18,6	9	-36,3	-69,6	-51,53	-26,11	4,49	21	24,1	29,2
Andina Húmeda Montañosa	20,7	11,3	9,65	-3,9	-42,2	-86,3	-132,6	-76,13	-20,9	12,7	17,7	19,9

6.6. Erosión Eólica Actual vs Erosión Eólica Potencial

La comparación entre los resultados obtenidos para la EEA y la EEP, permite dimensionar la importancia de la función que desempeña la vegetación a la hora de prevenir o mitigar la erosión eólica de los suelos ya que, a diferencia de la EEP, la EEA tiene en consideración la cobertura vegetal de los suelos.

La distribución espacial de las diferencias entre la EEP y la EEA, puede visualizarse en la figura 6.24, pudiendo apreciarse en qué sitios se producen las mayores variaciones entre ambas. Las áreas de tonalidad más oscura, son aquellas en las que la diferencia entre la EEP y la EEA es de clase muy alta y equivale a más de 200 tn/ha/año. Las zonas con tonalidades más claras, evidencian diferencias de menor magnitud, debido a la mayor eficacia de la cobertura vegetal de los suelos que las componen, para mitigar la erosión eólica.

A nivel provincial, para las clases de EEA de tipo nula a ligera y de tipo moderada, se obtuvieron incrementos de aproximadamente un 5 y 10%, o lo que es igual, 4324 y 8290 km² respectivamente. El incremento se explica interpretando las operaciones aritméticas que realiza el GIS para calcular la EEA haciendo uso de la ecuación de la FAO. Debido a que los valores asignados para el factor u son ≤ 1 (menores o iguales a uno), a la hora de multiplicar la EEP por el factor u, muchos píxeles provenientes de clases de erosión elevada, fueron categorizados en clases más bajas o benignas. Siendo que el número de píxeles totales contabilizados para la provincia del Neuquén para el cálculo de la EEP y la EEA es constante, se entiende que los valores obtenidos para la EEA de clase nula o ligera y de moderada, no implican que se haya incrementado la erosión, sino que se contabilizan píxeles provenientes de clases más severas de erosión (alta y muy alta), lo que en efecto es beneficioso, ya que se reduce la superficie sobre la cual la erosión es más grave. Estos resultados, evidencian que la vegetación efectivamente cumple con su valiosa función protectora del suelo.

En cambio, para las clases de EEA de tipo alta y de tipo muy alta, se percibieron reducciones en torno al 1,5 y 12,5%, o 1298 y 11519 km² respectivamente. En base a estos resultados, se puede apreciar que la vegetación es más eficiente para reducir la superficie de suelos bajo riesgo de erosión eólica de clase muy alta, pero su impacto no es tan notorio para la clase de tipo alta (tabla 6.14 y fig. 6.25).

Tabla 6.14. EEP vs EEA

Clases de erosión eólica	EEP (%)	EEA (%)	EEP (km ²)	EEA (km ²)	Diferencia por clase (%)	Diferencia por clase (km ²)
Nula a ligera	20,22	24,88	18986	23310	4,66	4324
Moderada	11,45	20,32	10755	19045	8,87	8290
Alta	39,90	38,60	37472	36174	1,30	1298
Muy Alta	28,43	16,20	26698	15179	12,30	11519
TOTAL	100	100	93911	93911	27,13	25431

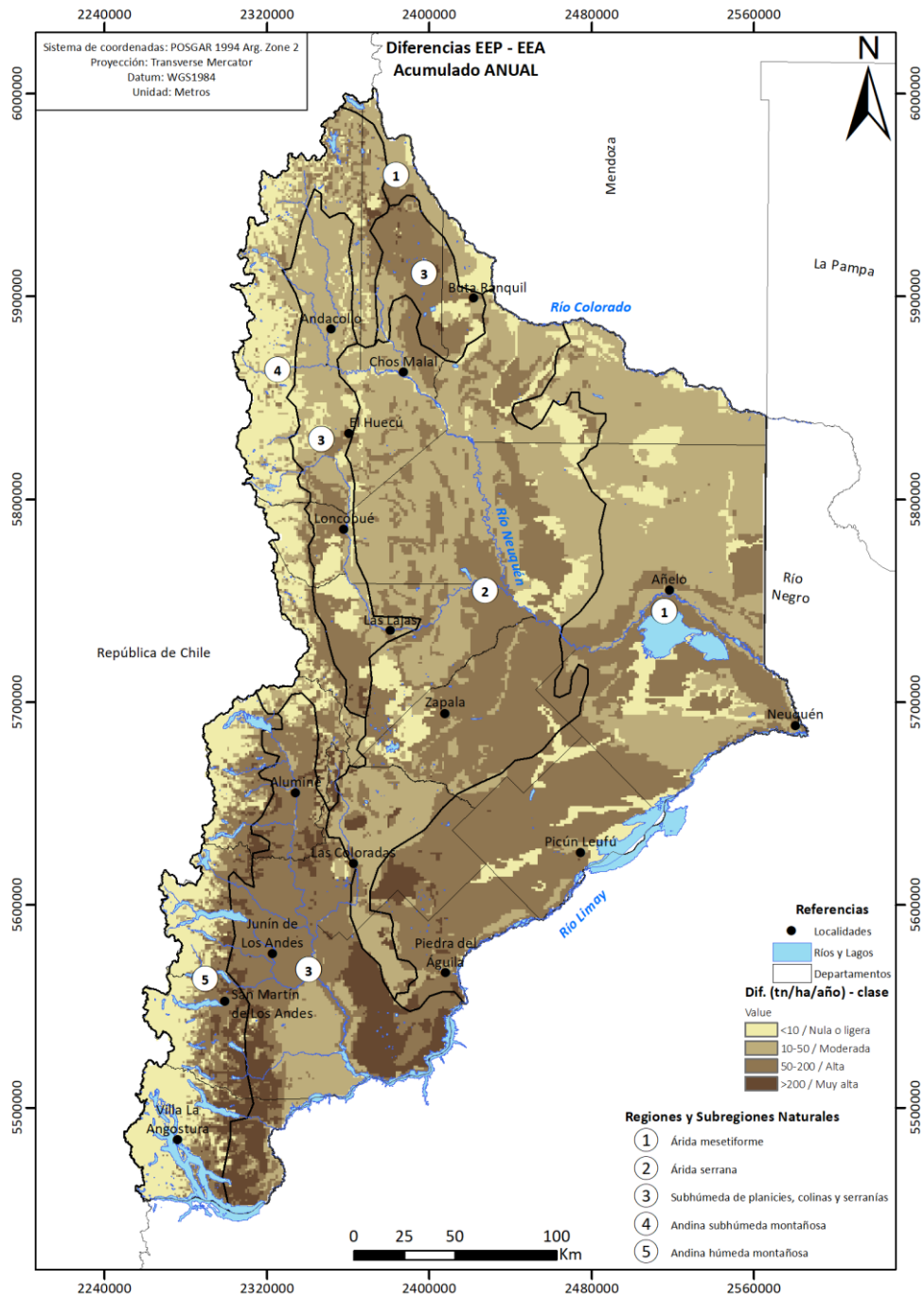


Figura 6.24. Diferencias entre la EEP y la EEA.

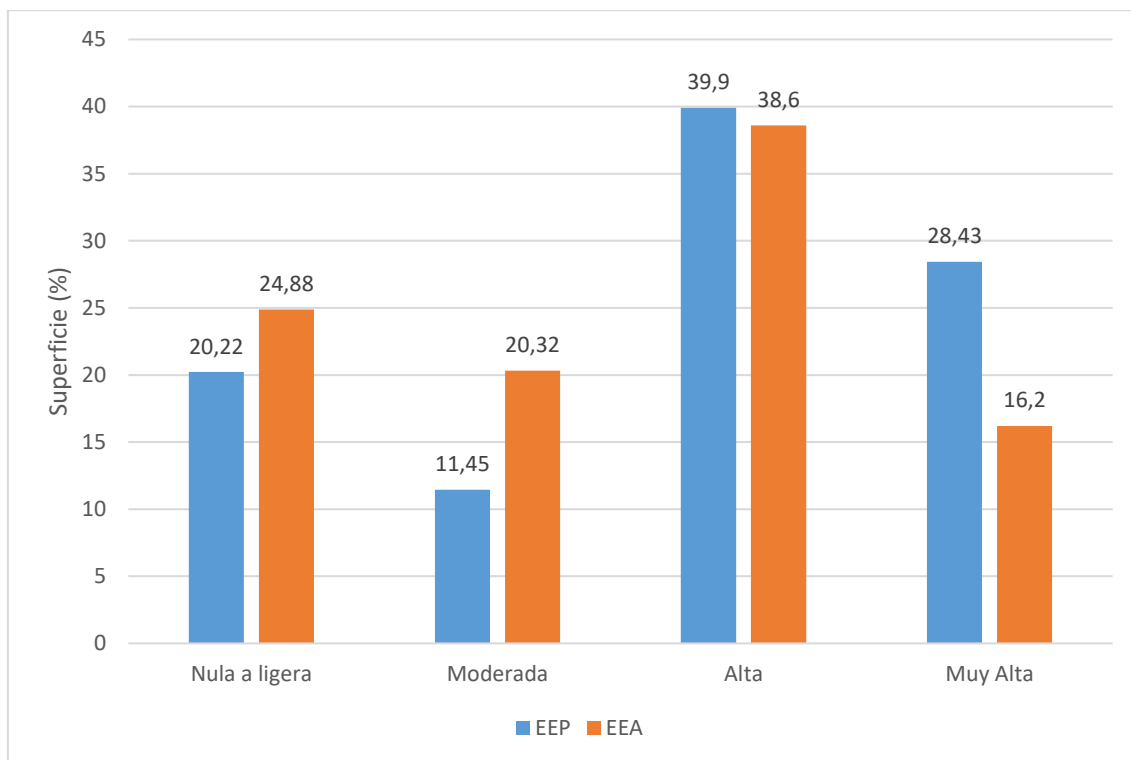


Figura 6.25. Superficie provincial de EEP y EEA por clase

En lo que respecta al análisis por regiones naturales, las regiones árida serrana, subhúmeda de planicies, colinas y serranías y árida mesetiforme, arrojaron los mayores porcentajes de reducción de EEP de clase muy alta. Este resultado, demuestra el impacto significativo que tiene la cobertura vegetal (aún con valores inferiores al 20%) a la hora de brindar protección contra la erosión eólica, y reafirma la importancia de mantener los esfuerzos para su preservación.

El valor de reducción más significativo para la clase alta, se corresponde con la región subhúmeda de planicies, colinas y serranías, mientras que los valores para las regiones andina húmeda montañosa, andina subhúmeda montañosa y árida serrana, son similares; el menor valor de reducción de la EEP de clase alta, lo obtuvo la región árida mesetiforme. El valor de la limitada reducción de la región árida mesetiforme, puede deberse a que sea necesaria un porcentaje de cobertura vegetal sustancialmente mayor, para disminuir la degradación por erosión eólica por debajo de las 50 tn/ha/año. Nótese, que la clase de pérdida de suelo por erosión eólica de tipo “alta”, establece un rango que va desde las 50 a las 200 tn/ha/año, por lo que es probable que píxeles que arrojaron valores de EEP elevados, continúen categorizados dentro de la clase “alta” de EEA, por más que se contemple la acción protectora de la vegetación. Esto se debe a que la flora predominante en la región árida mesetiforme es xerofítica, con estratos arbustivos y herbáceos que generalmente no alcanzan elevadas coberturas, aún menos si presentan signos de degradación.

Los resultados para la clase moderada, evidencian porcentajes de reducción considerables para las regiones subhúmeda de planicies, colinas y serranías, árida serrana y árida mesetiforme, siendo menos importantes los valores para las restantes. Por último, las regiones subhúmeda

de planicies, colinas y serranías, andina subhúmeda montañosa fueron las que evidenciaron los mayores valores de reducción de EEP de tipo nula a ligera (fig. 6.26).

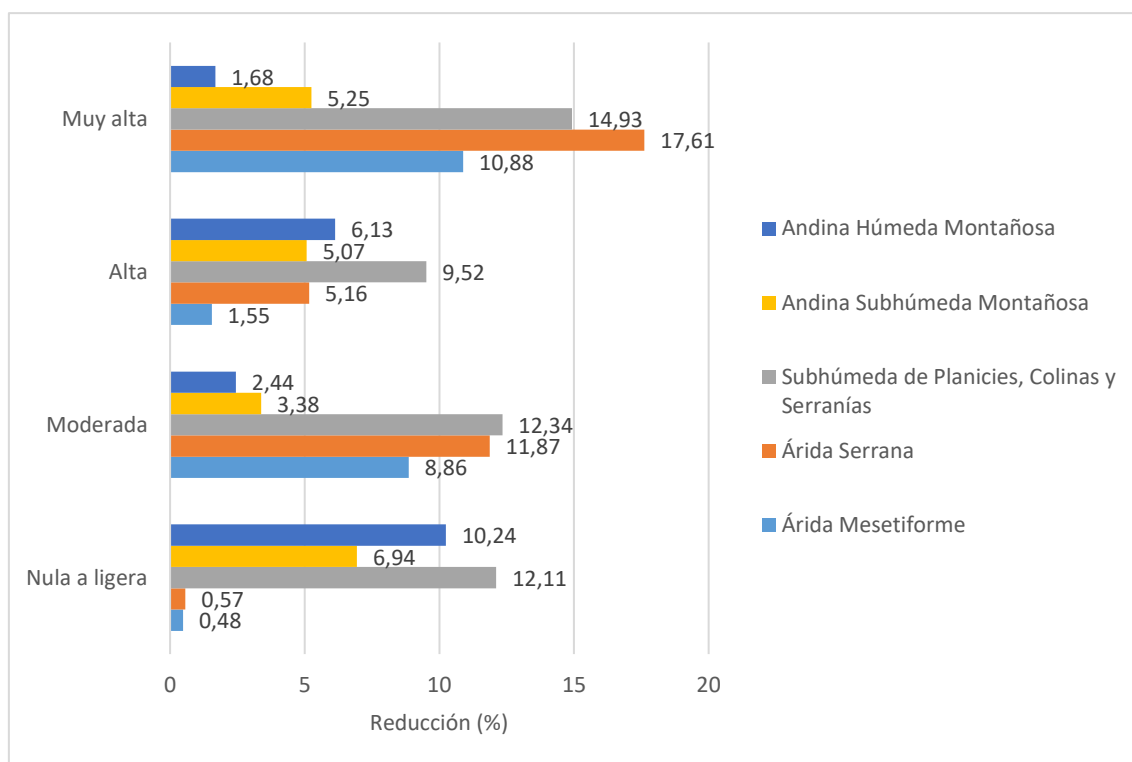


Figura 6.26. Influencia de la vegetación en la reducción de la EEP por clase y región natural

Los resultados que se esbozan en las figuras 6.25 y 6.26, reafirman, una vez más, el papel esencial que desempeña la cubierta vegetal en la mitigación de la erosión eólica. Los trabajos de Santanatoglia et al. (1992) y Rivas et al. (2018), también arriban a esta conclusión, y enfatizan en la necesidad de conservación de la cobertura vegetal como mecanismo eficiente para el control de los procesos erosivos provocados por el viento. En este sentido, dados los usos del suelo señalados en la figura 3.6, resulta interesante detenerse a pensar cuanto más podría haberse reducido la erosión eólica actual, tanto en su extensión como en la severidad de sus clases, si no se desarrollaran sobre los suelos actividades cuyo manejo es deficiente y deriva irremediablemente de procesos de degradación edáfica, principalmente la explotación ganadera y de hidrocarburos.

6.7. Ganadería, trashumancia y actividad hidrocarburífera vs EEA y EEP

6.7.1. La ganadería y la trashumancia vs la EEP

En la figura 6.27, se muestran las áreas de explotación ganadera por tipo y las rutas de arreo relevadas por el Ministerio de Producción e Industria de la provincia del Neuquén, superpuestas sobre el mapa de EEP. Existen aproximadamente 3.300 km de rutas de arreo en la provincia del Neuquén, las cuales son utilizadas para llevar a cabo la práctica de la trashumancia. Aproximadamente el 74% de las rutas de arreo, se ubica en suelos con una clase de EEP alta o muy alta (tabla 6.15; fig. 6.28), lo cual resulta ser un dato preocupante, ya que el desplazamiento de ganado provoca que los suelos sean más vulnerables a la erosión eólica al contribuir con la degradación de sus propiedades físicas y la alteración o remoción de la cobertura vegetal protectora por pastoreo. El 20% de las rutas de arreo se ubican sobre suelos con EEP de tipo moderada, y las restantes sobre sitios de clase nula a ligera.

En lo que respecta a la distribución de la actividad ganadera en relación a la EEP (fig. 6.29), más del 80% de la ganadería muy extensiva se desarrolla en zonas de riesgo de erosión eólica alto y muy alto y, análogamente, aproximadamente el 60% de la ganadería extensiva. Las actividades ganaderas restantes, se distribuyen en alrededor de un 27% en zonas de EEP nula a ligera, 33% en moderada, 22% en alta y 16% en muy alta (tabla 6.16). La superficie de suelos sometidos a ganadería extensiva y muy extensiva asociadas a clases de EEP alta y muy alta, totalizan unos 60.500 km², lo que equivale a cerca del 65% del territorio provincial. Cabe aclarar que, por amplio margen, la ganadería muy extensiva llevada a cabo en zonas de EEP alta y muy alta, es la que mayor superficie comprende, alcanzando una cifra de 52.650 km², es decir, el 56% de los suelos provinciales. Por su parte, la ganadería extensiva suma unos 7.900 km², que constituyen casi el 8,5% y, por último, las demás actividades ganaderas aportan unos 2.700 km², equivalentes a menos del 3% del total.

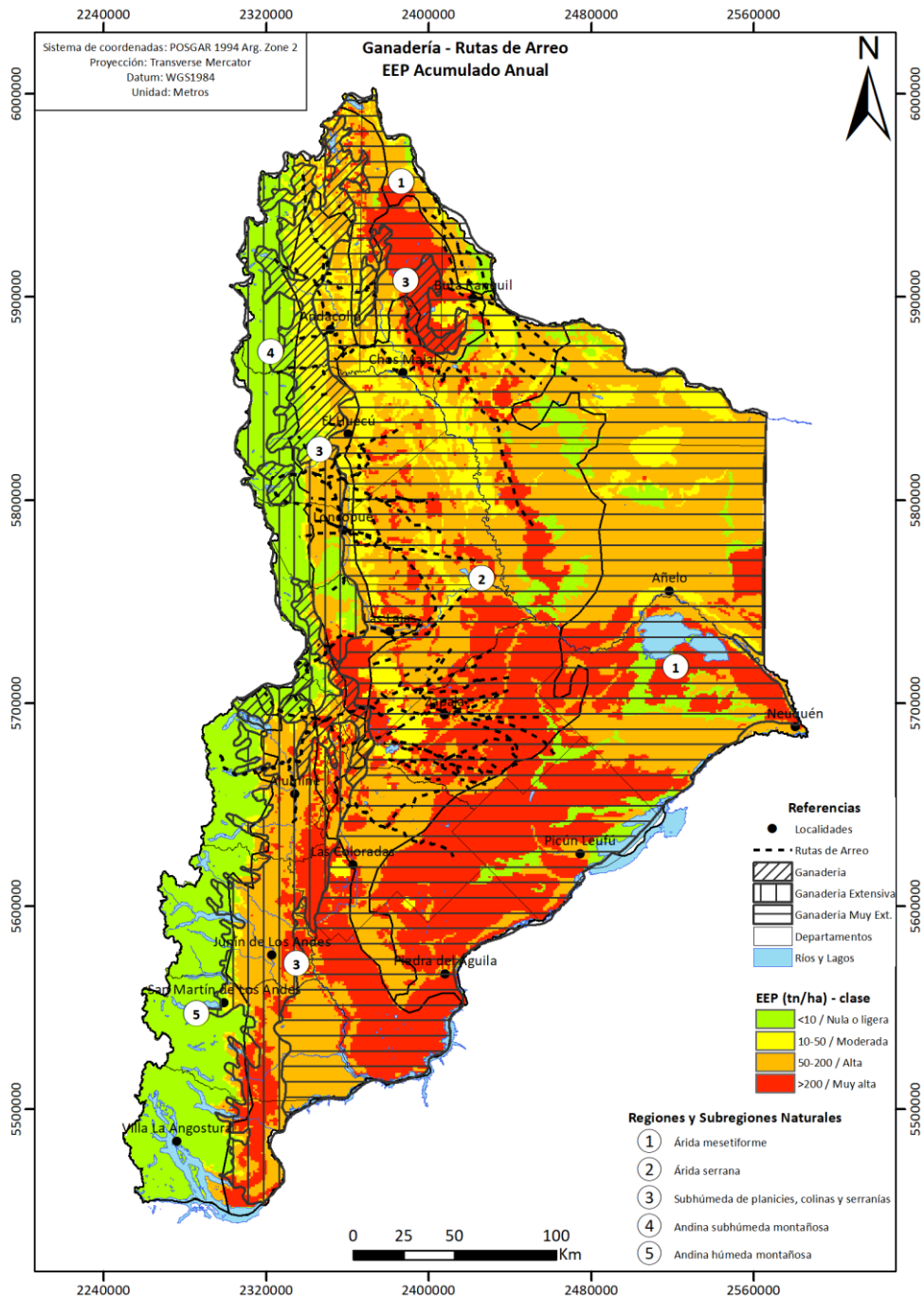


Figura 6.27. Distribución de la ganadería y las rutas de arreo respecto a la EEP acumulada anual. Fuente: catálogo GIS del Ministerio de Producción e Industria de la provincia del Neuquén

Tabla 6.15. Rutas de arreo vs EEP

EEP	Km por clase	% por clase
Nula a ligera	239	7,22
Moderada	632	19,1
Alta	1524	46,07
Muy Alta	913	27,59

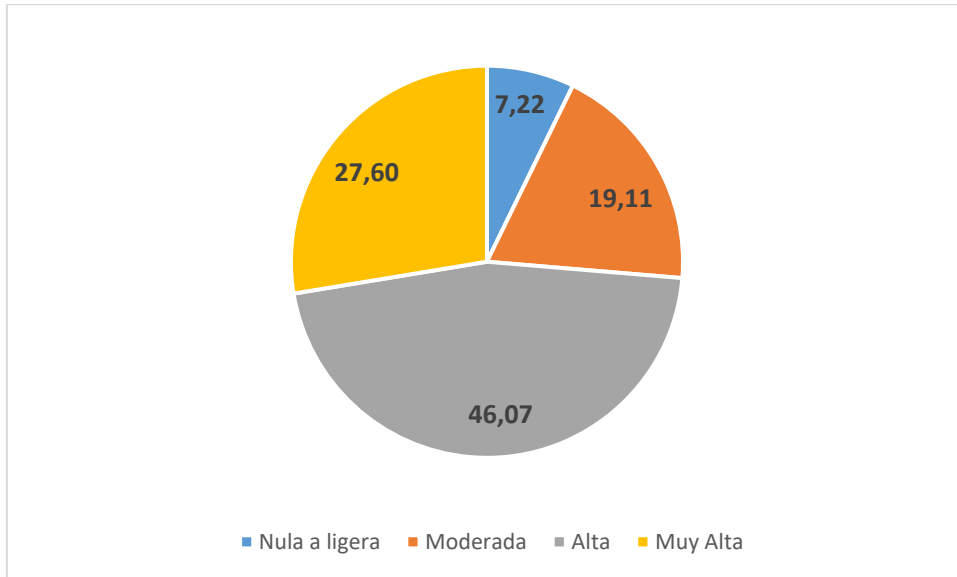


Figura 6.28. Distribución de rutas de arreo según clase de EEP (%)

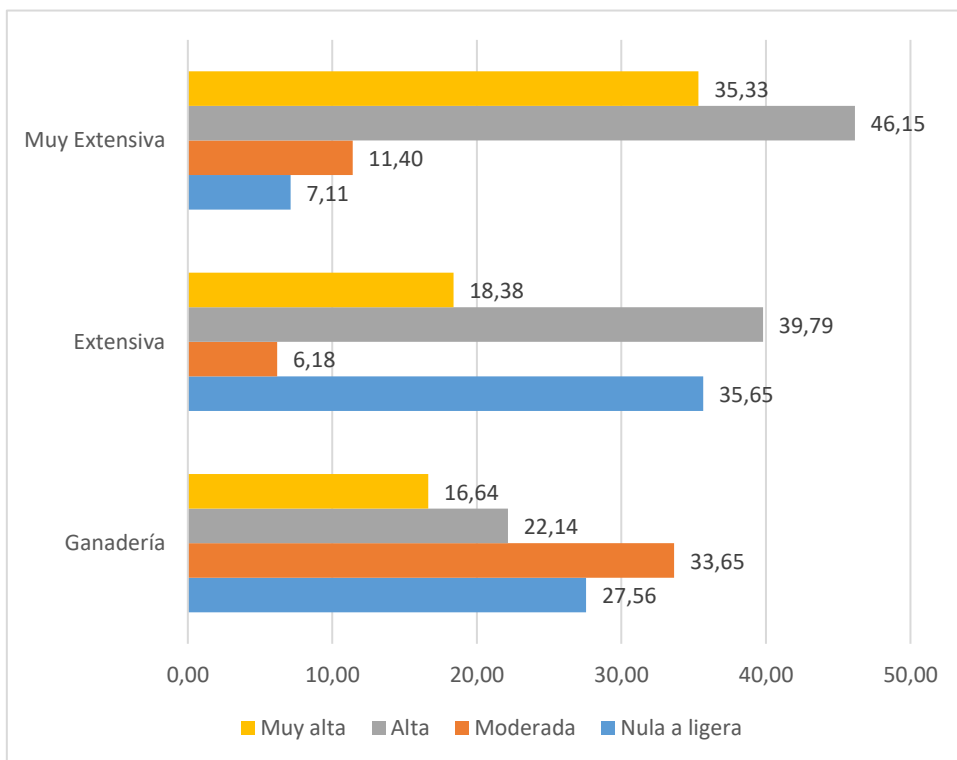


Figura 6.29. Distribución de la actividad ganadera respecto de la EEP (%)

Tabla 6.16. Ganadería vs EEP

EEP	Sup. por clase (km ²)			Sup. por clase (%)		
	Ganadería	Extensiva	Muy Ext.	Ganadería	Extensiva	Muy Ext.
Nula a ligera	1896	4848	4596	27,56	35,65	7,11
Moderada	2315	840	7365	33,65	6,17	11,39
Alta	1523	5411	29821	22,13	39,79	46,15
Muy Alta	1145	2499	22831	16,64	18,37	35,33

6.7.2. La ganadería y la trashumancia vs la EEA

Cuando se analizan las rutas de arreo respecto a la EEA acumulada anual (fig. 6.30), el panorama no cambia significativamente, ya que la mayor parte de las rutas de arreo se distribuyen en áreas que muestran zonas con clases de erosión eólica actual alta o muy alta (tabla 6.17; fig. 6.31). En este sentido, es esperable que, si en el futuro no se revierte esta tendencia, las clases de EEA se vuelvan más graves en las zonas afectadas por rutas de arreo. Las regiones naturales más afectadas por las rutas de arreo son la árida serrana y la subhúmeda de planicies, colinas y serranías.

En la figura 6.32, es posible, además, observar la distribución de la EEA respecto de la actividad ganadera. Del total de los suelos sobre los cuales se practica la ganadería muy extensiva, el 70% se halla sobre zonas con categoría de EEA alta y muy alta. Lo mismo sucede con la ganadería extensiva y las demás actividades ganaderas, las cuales se llevan a cabo en un 26% y un 27%, sobre zonas de erosión eólica actual de clase alta y muy alta, respectivamente. La superficie de suelos bajo ganadería extensiva y muy extensiva vinculada a clases de EEA alta y muy alta, asciende a casi 50.000 km², equivalente al 53% del territorio de la provincia del Neuquén (tabla 6.18). Nuevamente, la ganadería muy extensiva sobre suelos con EEA alta y muy alta, es por lejos, la más importante en términos de área, alcanzando casi 46.000 km², lo que es igual al 49% de la superficie provincial. La ganadería extensiva suma apenas 3.500 km² (menos del 4%) entre las clases de EEA alta y muy alta, mientras que las actividades ganaderas restantes comprenden apenas 1.900 km², lo que es igual a un 2% del total.

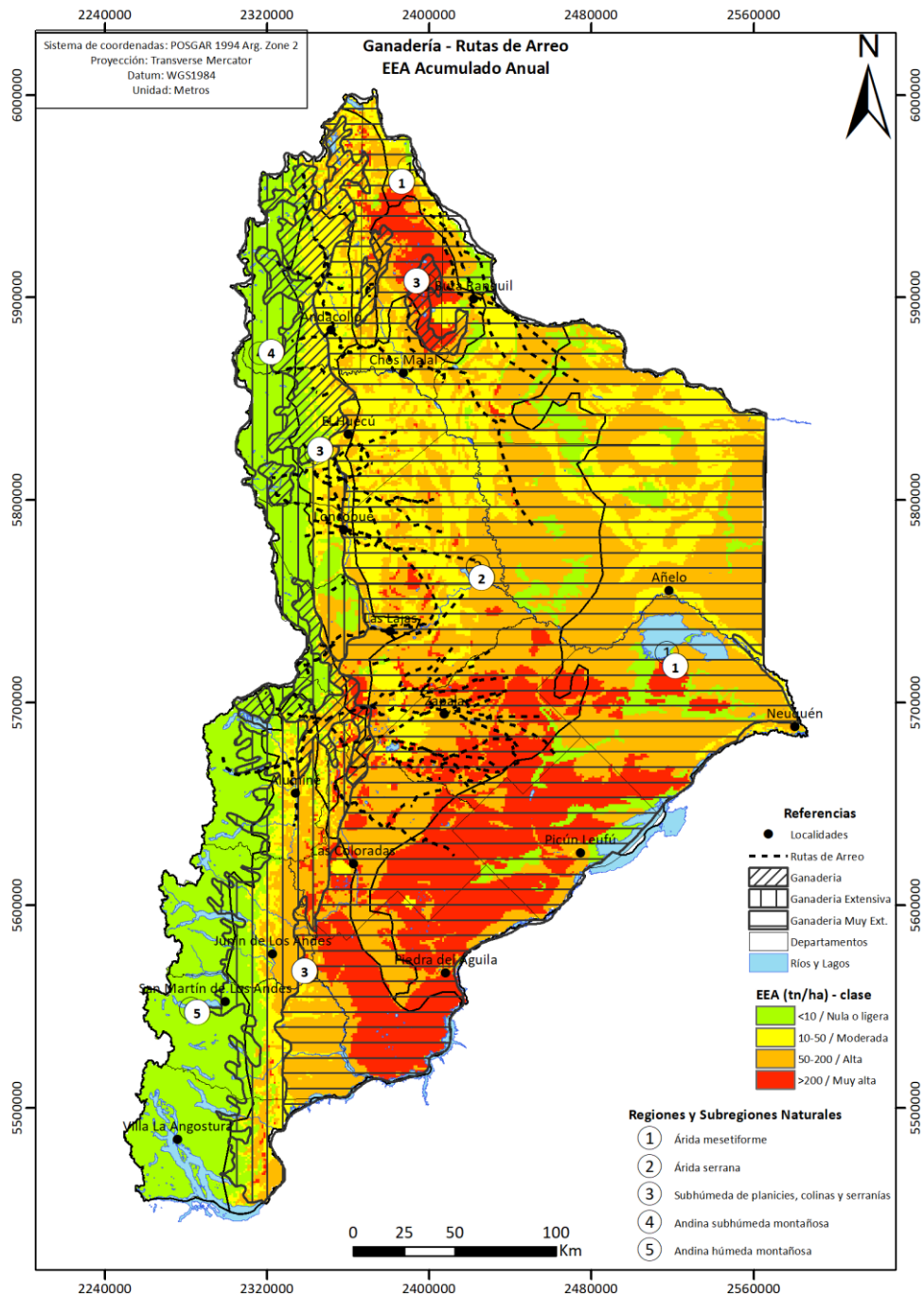


Figura 6.30. Distribución de la ganadería y las rutas de arreo respecto a la EEP acumulada anual. Fuente: catálogo GIS del Ministerio de Producción e Industria de la provincia del Neuquén

Tabla 6.17. Rutas de arreo vs EEA

EEA	Km por clase	% por clase
Nula a ligera	377	11,43
Moderada	1088	32,99
Alta	1350	40,94
Muy Alta	482	14,61

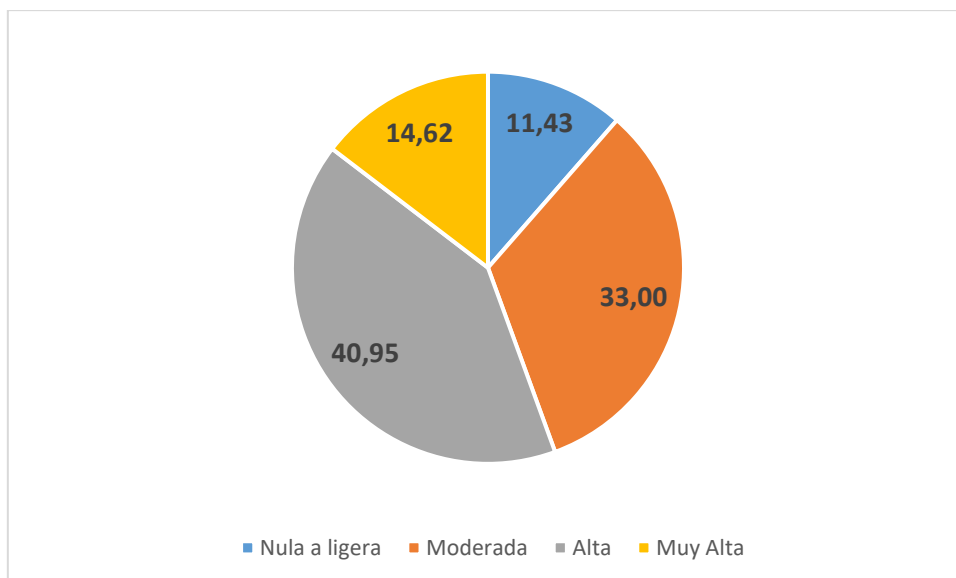


Figura 6.31. Distribución de rutas de arreo según clase de EEA (%)

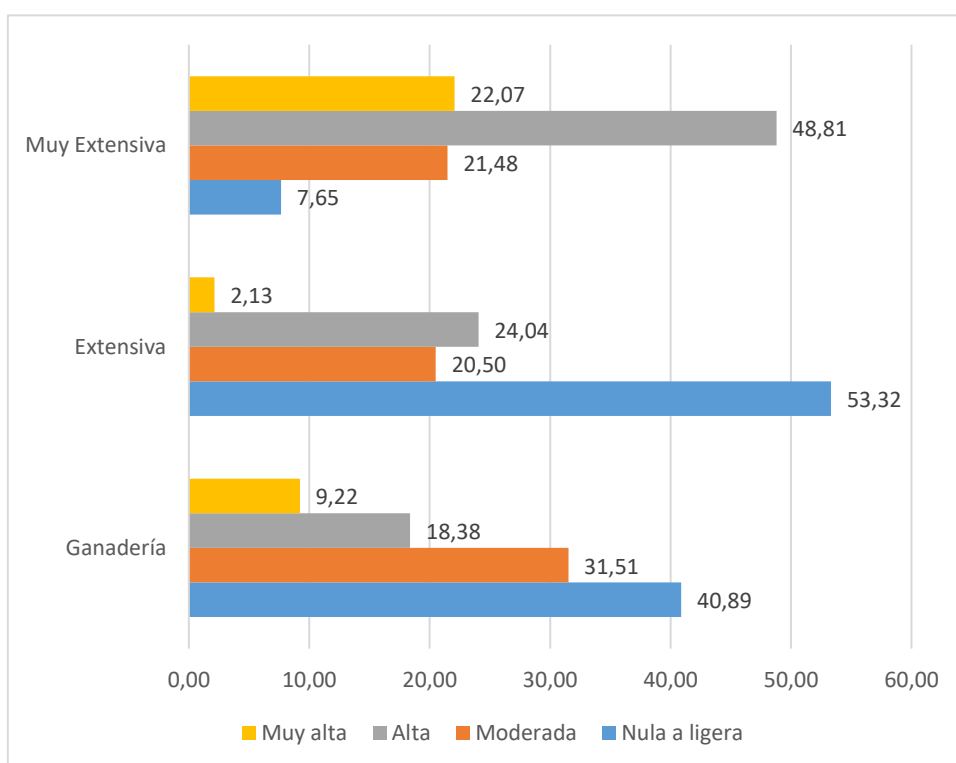


Figura 6.32. Distribución de la actividad ganadera respecto de la EEA (%)

Tabla 6.18. Ganadería vs EEA

EEA	Sup. por clase (km2)			Sup. por clase (%)		
	Ganadería	Extensiva	Muy Ext.	Ganadería	Extensiva	Muy Extensiva
Nula a ligera	2812	7241	4933	40,89	53,32	7,65
Moderada	2167	2784	13855	31,51	20,50	21,48
Alta	1264	3265	31484	18,38	24,04	48,81
Muy Alta	634	289	14236	9,22	2,13	22,07

6.7.3. La actividad hidrocarburífera vs la EEP y la EEA

Las figuras 6.33 y 6.34, muestran la distribución de la infraestructura destinada a la explotación de hidrocarburos en la provincia del Neuquén, específicamente los pozos, oleoductos, gasoductos, acueductos y locaciones, en contraste con los mapas de EEP y EEA acumuladas, respectivamente. Como se puede apreciar en ambas figuras, la actividad hidrocarburífera se concentra en una franja al este de la provincia, coincidente con las regiones naturales árida mesetiforme y árida serrana, esta última en sectores al este.

La mayor parte de la infraestructura se ubica en zonas identificadas con clases de erosión eólica de tipo alta o muy alta, siendo el panorama más grave para la EEP en comparación con la EEA (tablas 6.19 y 6.20). Las tareas de construcción de caminos y locaciones, perforación de pozos, construcción de ductos e instalaciones para la separación y acondicionamiento de los hidrocarburos (entre otras edificaciones), provoca que extensas superficies de suelo vean sus propiedades físicas alteradas de manera significativa o irreversible, lo cual incrementa considerablemente su erodabilidad eólica o su valoración del factor e. Este aspecto, sumado a la eliminación parcial o total de la cobertura vegetal, termina por generar las condiciones para que los procesos erosivos desencadenados por el viento, se desarrollen con mayor facilidad.

Prácticamente el 80% (aproximadamente 34.000 km²) de la actividad hidrocarburífera se lleva adelante sobre suelos clasificados dentro de las clases de EEP alta y muy alta (tabla 6.19). En comparación con la EEA, el panorama no es sustancialmente diferente, ya que la cifra alcanza el 70%, es decir, unos 30.000 km² (tabla 6.20). Estos valores, constituyen el 36% y el 32% del territorio de la provincia. Dada la dinámica de expansión territorial constante de la infraestructura de la industria hidrocarburífera para incrementar continuamente la producción, es esperable que el escenario a futuro se agrave aún más.

Las zonas de color verde claro que se superponen con la actividad hidrocarburífera en las figuras 6.33 y 6.34, se corresponden con sitios en los que el factor erodabilidad del suelo (e), es sustancialmente bajo. Esto se debe a que los suelos hallados en dichas áreas, se encuentran provistos de alguna cubierta protectora, como pueden ser fragmentos gruesos o pedregosidad, o puede que no existan suelos que puedan erosionarse debido a la presencia de afloramientos rocosos. Es por ello, que por más que en dichos sitios la agresividad climática sea elevada y la cobertura vegetal baja, el riesgo de erosión eólica es bajo al igual que la erosión eólica actual.

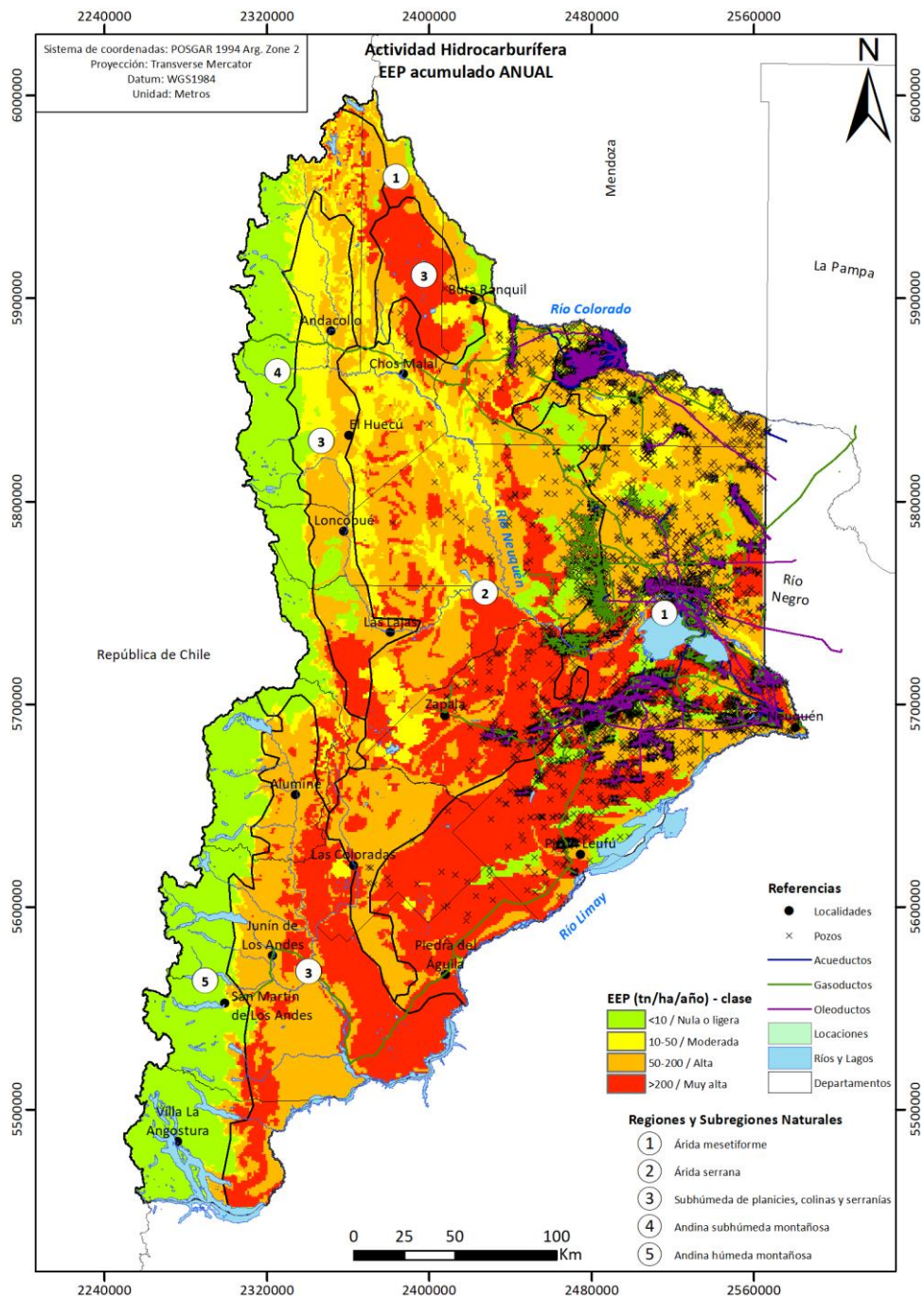


Figura 6.33. Distribución de la infraestructura hidrocarburífera respecto de la EEP acumulada anual. Fuente: catálogo GIS de la Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos de la provincia del Neuquén

Tabla 6.19. Actividad hidrocarburífera vs EEP

EEP	Sup. por clase (km ²)	Sup. por clase (%)
Nula a ligera	4339	10,35
Moderada	3728	8,9
Alta	18830	44,95
Muy Alta	14990	35,78

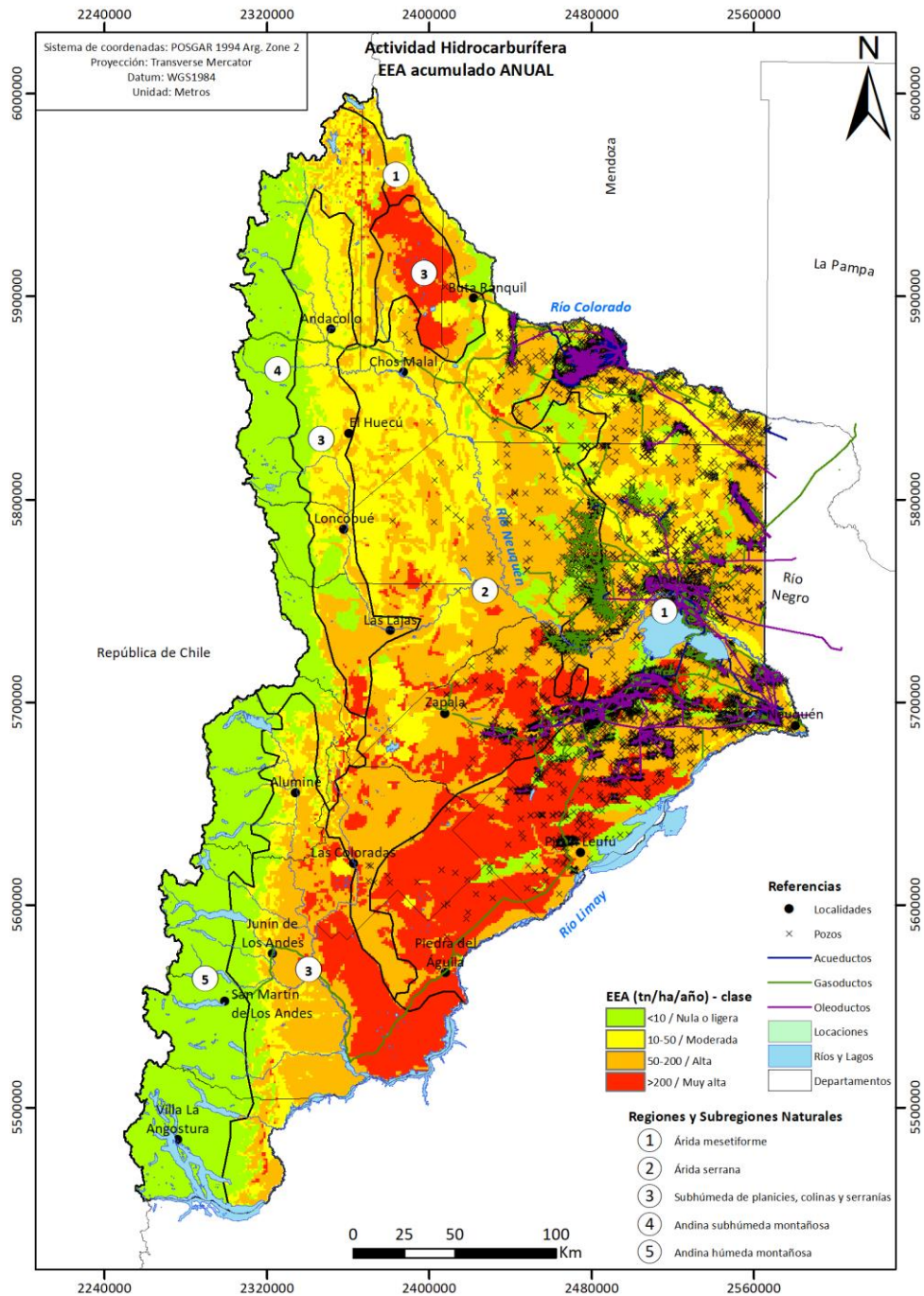


Figura 6.34. Distribución de la infraestructura hidrocarburífera respecto de la EEA acumulada anual. Fuente: catálogo GIS de la Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos de la provincia del Neuquén

Tabla 6.20. Actividad hidrocarburífera vs EEA

EEA	Sup. por clase (km ²)	Sup. por clase (%)
Nula a ligera	4619	11,04
Moderada	7404	17,7
Alta	21174	50,63
Muy Alta	8622	20,61

6.8. Alcances de los resultados obtenidos

Existen ciertas consideraciones que deben valorarse a la hora de evaluar los resultados obtenidos mediante la aplicación de la metodología utilizada en este trabajo.

La información de suelos empleada para el cálculo de la susceptibilidad a la erosión, se basa en el Estudio Regional de Suelos de la Provincia del Neuquén, cuyo alcance fue definido por la Secretaría de Estado del Consejo de Planificación y Acción para el Desarrollo (COPADE), ente gubernamental responsable de la planificación para el desarrollo social y económico de la provincia. Como organismo de planificación, se erige como inicial usuario, aunque no único ni principal beneficiario. En tal sentido, el estudio de suelos se adecúa al concepto de levantamiento de suelos con propósitos múltiples, y sus resultados son de amplio uso potencial. La información que suministra es de carácter global, es una visión de conjunto, sintética y regional, no es una investigación analítica a nivel de parcelas o sitios de experimentación/investigación o predio de explotación agropecuario.

Esta definición, fija el alcance de la información, es decir, el nivel de percepción y alcance de los resultados. Estos objetivos y alcances de la información de suelos, determinan el Estudio Regional de Suelos de la Provincia del Neuquén, como levantamiento de reconocimiento. El término “levantamiento”, involucra la identificación de los suelos según los siguientes pasos: descripción morfológica, análisis de sus propiedades, nombre taxonómico y límites geográficos. La expresión “reconocimiento”, involucra la categoría del levantamiento, implica un elevado grado de generalización de la información dado por la escala (1:500000, 1cm² – 2500 has), los controles son extrapolados, no exentos de errores, pues se trata de predicciones de carácter espacial, basadas en conceptos del paisaje, su origen e historia.

Tomando como punto de partida el nivel de detalle de la información de base y la escala de trabajo, es de esperarse que los resultados expuestos en este trabajo hayan generado estimación con cierto grado de error, lo que puede afectar las tendencias espaciales de los riesgos de erosión.

En la actualidad, se encuentran disponibles técnicas más modernas que la propuesta por la FAO para el cálculo de la erosión provocada por el viento, como lo es el Sistema de Predicción de la Erosión Eólica (WEPS) (Hagen, 1991), y la Ecuación Revisada de la Erosión Eólica, RWEQ por sus siglas en inglés (Fryrear et al, 1998). Las principales diferencias que permiten la obtención de resultados más precisos mediante las metodologías mencionadas, radican en los parámetros que constituyen las subrutinas de cálculo que las componen, como lo son el factor climático, la cobertura o rugosidad de la superficie, y el factor que hace referencia a la susceptibilidad de los suelos a la erosión, relacionado principalmente con características físicas de los suelos, tales como la textura, estructura y la presencia de costras, entre otras.

A modo de ejemplo, si tomamos el factor climático, la RWEQ considera la velocidad y dirección del viento (preponderancia) combinados con datos de volumen de precipitaciones, temperatura del aire y radiación solar, lo que permite simular el comportamiento de la humedad del suelo cada 15 días. La WEPS, requiere información aún más detallada, que consiste en 8 mediciones diarias de los parámetros antes mencionados. Estos exigentes requerimientos, hacen poco aplicables a los mencionados modelos, dadas las bases de datos climáticas escasas para la provincia del Neuquén, las cuales muchas veces no sólo carecen de todas las variables requeridas, sino que su baja resolución temporal es insuficiente, permitiendo en el mejor de los casos, predicciones mensuales o anuales (Aimar et al, 2011). Siendo que se ha considerado que

el factor climático es uno de los más importantes, sino el más importante, para realizar predicciones apropiadas de erosión eólica (Panebianco & Buschiazzi, 2008), es de esperar que el factor climático empleado en la metodología de la FAO, pueda generar desviaciones respecto de la situación real de riesgo de erosión y erosión actual.

Análogamente, la información disponible para satisfacer los requerimientos edáficos de los modelos, es también insuficiente, ya que exigen mediciones de la fracción erodable de los suelos (agregados <0,84 mm de diámetro) (Chepil, 1950), las cuales no están disponibles para la totalidad de los suelos provinciales. Adicionalmente, López et al (2007), demostró que la fracción erodable de los suelos varía no sólo según el método de determinación, sino también según el uso y las condiciones de manejo a la que se someten los suelos, lo que complejiza el cálculo para los suelos de la provincia del Neuquén, la cual presenta un escenario sumamente heterogéneo de condiciones ambientales y de uso. En su lugar, la fracción erodable de los suelos, fue definida mediante los grupos de erodabilidad eólica por Lyles (1975) y Kimberlin et al. (1977), los cuales no cumplimentan los estándares de los modelos antes citados.

Debido a que la metodología no contempla la definición de un valor de fracción erodable para aquellos suelos que poseen horizontes orgánicos superficiales, se optó por considerar el valor de la fracción erodable del horizonte mineral inmediatamente subyacente, por lo que los valores de EEP y EEA calculados para estos suelos, pueden no reflejar lo que realmente ocurre en el terreno.

Finalmente, se entiende que, si bien la metodología de la FAO posee limitaciones que pueden generar resultados con un determinado nivel de error, es una técnica valiosa para obtener una primera aproximación del riesgo de erosión eólica y la erosión actual de los suelos, adaptándose a situaciones en las que la disponibilidad de datos para incorporar modelos más precisos, es sumamente limitada para una escala similar a la utilizada en esta tesis. Los resultados obtenidos, pueden también utilizarse para comparar los producidos mediante otras técnicas en trabajos futuros, siempre que se disponga de la información necesaria. Es por ello, que existe la necesidad de continuar y mejorar las bases de datos disponibles, a partir de trabajos experimentales específicamente diseñados para tal fin, y que hagan uso de metodologías más precisas.

7. CONCLUSIONES

En el presente estudio, se determinaron la erosión eólica potencial y actual de la provincia del Neuquén mediante el cálculo de la agresividad climática, la erodabilidad del suelo y la cobertura vegetal/ usos del suelo, utilizando métodos empíricos ajustados a las condiciones climáticas, edafológicas, de vegetación, geomorfológicas y geológicas presentes en la provincia, aplicados con SIG.

El escenario en la provincia del Neuquén respecto a la erosión eólica actual, muestra tasas moderadas a muy altas en la mayor parte del territorio, excepto en una franja al oeste coincidente con la Cordillera de los Andes o con las regiones naturales andina subhúmeda montañosa y andina húmeda montañosa, las cuales exhiben tasas ligeras o nulas. Si bien los suelos de estas zonas muestran en promedio los valores más elevados de erodabilidad eólica, es evidente que ante una baja agresividad climática y un porcentaje de cobertura vegetal que

genere condiciones de rugosidad considerables en el terreno, los suelos no sufrirán erosión eólica significativa.

Las zonas que manifestaron los mayores valores de erosión eólica actual provincial, se ubican principalmente en el centro y centro sur de la provincia, en un área que va desde sitios circundantes a la localidad de Zapala, hacia el sureste y suroeste en inmediaciones a Picún Leufú y Las Coloradas, y finalmente hacia zonas al sur de la localidad de Piedra del Águila. Se suman también las áreas ubicadas en el noroeste provincial, específicamente al norte de Chos Malal y noroeste de Buta Ranquil. Si se observa la valoración de la erodabilidad para los suelos comprendidos en las zonas mencionadas, se puede apreciar que son heterogéneos, por lo que los elevados valores de EEA se atribuyen a la elevada agresividad climática, siendo que la cobertura vegetal promedio es relativamente homogénea en todas ellas. Este hecho, denota que la variable de mayor peso a la hora de definir la intensidad de los procesos erosivos, es el factor c o agresividad climática.

Los resultados obtenidos respecto a la erosión eólica potencial para la provincia del Neuquén, reivindican la importancia fundamental que tiene la vegetación a la hora de incrementar la rugosidad del terreno para prevenir el desarrollo de los procesos de saltación, rodamiento y suspensión que caracterizan el transporte de partículas por el viento. Aún en bajos porcentajes de cobertura, la vegetación mostró ser eficaz para reducir de manera considerable el porcentaje de suelos sometidos a tasas de erosión eólica de clase muy alta. Estos resultados, reafirman que es preciso llevar a cabo acciones tendientes a conservar la cobertura vegetal del suelo a fin de evitar la erosión provocada por el viento. En este sentido, es preciso implementar medidas para asegurar un correcto manejo del recurso suelo y de la cubierta vegetal que lo protege, en aquellas superficies que se encuentran bajo usos que pueden desencadenar procesos de degradación.

La acción del hombre puede hacer que un proceso erosivo inexistente hasta ese momento comience a manifestarse o también puede acelerar un proceso natural ya existente. Las prácticas agrícolas, ganaderas o industriales llevadas a cabo sin considerar el potencial natural que tiene un sistema a deteriorarse, son las que desencadenan o agravan los procesos de erosión eólica. En la provincia del Neuquén, el sobrepastoreo caprino, bovino y ovino junto con la actividad hidrocarburífera, que reducen o eliminan la cubierta protectora vegetal y compactan o destruyen la estructura del suelo, son probablemente, las principales causas de erosión edáfica mediada por el viento.

Habiendo comprendido los procesos históricos que hicieron de la Patagonia la principal zona productora ovina-caprina, es posible inferir que el actual panorama de degradación edáfica de la provincia del Neuquén, se debe principalmente a la motivación económica por la cual fueron introducidos el ovino y el caprino a esta zona. Las decisiones orientadas a lograr extraer el máximo beneficio de los ecosistemas y a priorizar el incremento del capital, que tuvieron y que actualmente tienen los productores, hacen posible comprender con más facilidad el panorama actual de erosión eólica al que se encuentra sometido la provincia del Neuquén.

El presente permite observar, además de una inexorable degradación del suelo, una falta de conciencia en aquellos que hicieron de esta actividad su forma de vida y que ahora no encuentran sustento en ella, debido a que gran parte de los suelos que suministraban alimento a su ganado, se encuentran severamente degradados, estériles o han sido completamente removidos. En este sentido, el Estado ha contribuido igualmente a la actual condición de deterioro de los suelos provinciales, dada la falta o insuficientes políticas de desarrollo, fomento

y protección de los suelos, por ejemplo, a través de la expansión del riego. La carencia de iniciativas de información y capacitación de los productores, a la hora de manejar sitios para el pastoreo y establecer cargas ganaderas compatibles para evitar la sobreexplotación del recurso, es igualmente responsabilidad del Estado, y es también quien debe velar por la conservación del ambiente, de sus recursos naturales y del futuro sus pobladores.

Para frenar los procesos erosivos de los suelos, es necesario un cambio de pauta frente al modelo actual, en el cual las decisiones sean abordadas tomando en cuenta todas las posibles implicancias de un manejo irresponsable del recurso. Esto es, no entender a la degradación edáfica como una consecuencia directa y lineal del sobrepastoreo ovino-caprino o de la explotación industrial, sino comprender que fueron múltiples decisiones desafortunadas que no consideraron las repercusiones a futuro, las que terminaron por generar la situación actual.

La metodología de cálculo cuantitativo de suelo erosionado por el viento que se empleó en este documento, es perfectible. De ser necesario, la recopilación de una mayor cantidad de datos a la hora de realizar el cálculo de los factores que componen la ecuación de la erosión eólica actual y potencial, puede generar resultados más precisos para un área determinada, ya que los sistemas de información geográfica se benefician de una mayor densidad espacial de información. En este sentido, es indispensable que el gobierno provincial y los organismos que de él dependen, aúnen esfuerzos para incrementar el repertorio de datos de índole ambiental, mediante, por ejemplo, la expansión de la red de estaciones meteorológicas o la generación de mapas de suelo con mayor nivel de detalle, entre otras. Para que esto suceda, es condición que exista una percepción por parte de las autoridades, más acorde a la magnitud de los fenómenos de erosión eólica que actualmente ocurren en la provincia del Neuquén, y de las vastas extensiones de suelos que se encuentran en riesgo de padecer degradación. Al respecto, los SIG, han demostrado ser una herramienta poderosa, dada su capacidad de representar variables de interés de manera continua en amplias superficies del territorio. Si bien la información geográfica gubernamental es accesible con relativa facilidad, sería valioso que exista una interacción transectorial más fluida, para así disponer de productos con mayor valor agregado, por ejemplo, a la hora de construir mapas de variables meteorológicas, de usos del suelo, económicas, dinámicas poblacionales, productivas, etc., a escala provincial. Está claro que problemáticas ambientales de origen multicausal como la erosión eólica, deben ser abordadas bajo este enfoque, para así comprender su dinámica y poder formular estrategias que permitan mitigar o prevenir su avance de manera efectiva.

Por otro lado, deberán tenerse en cuenta los efectos del cambio climático que ya se encuentra en progreso, pese a las tempranas advertencias provenientes de la comunidad científica, las cuales no han sido tomadas en cuenta con la seriedad y celeridad suficiente. Es de esperar, que el volumen de precipitaciones descargado sobre los suelos de la provincia del Neuquén, y en general en el resto del territorio de la Patagonia, vaya disminuyendo con el correr de los años; los períodos de sequía se volverán más frecuentes y prolongados. El aumento de la temperatura, contribuirá también a acrecentar la evapotranspiración potencial, lo que provocará que las ya deficientes precipitaciones, sean menos útiles para reestablecer las reservas de agua de los suelos que sustentan la cobertura vegetal protectora (SMN, 2022). Este escenario, plantea un desafío aún más complejo de abordar, en el que el cambio climático se traducirá en una exacerbación de la agresividad climática y, consecuentemente, en un incremento de la potencia de los mecanismos de erosión eólica.

Es importante resaltar que se pretende que la herramienta desarrollada en esta tesis, se constituya como un recurso a la hora de generar un diagnóstico que permita determinar en qué sitios los suelos se están degradando por erosión eólica y con que intensidad, y también proveer

un escenario futuro aproximado sobre los suelos que se encuentran en riesgo de erosionarse. La aplicación de esta herramienta, puede extenderse a la confección de estudios e informes de impacto ambiental, planes de manejo ambiental, programas de restauración de ambientes degradados, programas de desarrollo productivo, inventarios de recursos naturales, elaboración de índices de productividad del suelo, entre otros. Se procura también, que sea un insumo de utilidad para aquellos actores, entes u organizaciones encargados de abordar la problemática ambiental de la erosión eólica y sobre los cuales yace la responsabilidad de tomar acciones acordes a la magnitud del fenómeno. Nuevamente, se hace hincapié en la necesidad de planificar en pos de proseguir y modernizar la información de base existente, mediante trabajos que involucren mediciones de campo que puedan servir como insumo para técnicas más modernas de cálculo de la erosión eólica.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Aimar, S.; Méndez, M. y Buschiazzo, D. 2011. "Predicción de la Erosión Eólica Potencial con el Modelo EWEQ en Dos Suelos Loésicos; Efectos de las Condiciones Climáticas" en *Ciencia del Suelo (Argentina)* 29(2): 253-264.
- Andrade, L. 2003. "Sociología de la desertificación en la Patagonia Austral: Los productores ovinos en la meseta central de Santa Cruz" en *Theomai*, N°007, Buenos Aires, Universidad Nacional de Quilmes.
- Andrade, L. 2002. "Territorio y ganadería en la Patagonia Argentina: desertificación y rentabilidad en la Meseta Central de Santa Cruz" en *Economía, Sociedad y Territorio*, vol III, núm. 12, 675-706.
- Andrade, L.; Bedacarratx, V.; Alvarez, R. 2008. "La producción ovina extensiva y las prácticas asociativas: estudio de caso en la zona centro de Santa Cruz. Patagonia Argentina" en *3ras Jornadas de Historia de la Patagonia*, San Carlos de Bariloche.
- Apcarian, A.; Aruani, C.; Schmid, P.; Broquen, P. e Imbellone, P. 2002. "Prácticas de rehabilitación de Aridisoles y Entisoles del norte de la Patagonia afectados por la apertura de líneas sísmicas" en *Ciencia del Suelo* Vol. 20 N° 2. Revista de la Asociación Argentina del Suelo. Buenos Aires. Pp 88-97 URL: www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_20n2/apcarian_88-97.pdf
- Ares, J., Bertiller M. y Alejandro Bisigato 2003. "Modeling and Measurement of Structural Changes at a landscape scale as indicators of early desertification in dryland areas" en Abraham, E; Tomasini, D.; Maccagno, P. (comp.) *Desertificación. Indicadores y Puntos de Referencia en América Latina y el Caribe*, Zeta Editores, Mendoza, Argentina.
- Armbrust, D.; Chepil, W. y Siddoway, F. 1964. "Effects of ridges on erosion of soil by wind". *Soil Science Society of America Proceedings*. 28 (4):557-560.
- Arregui C., Carbone, O. & Martínez, R., 2011. "El Grupo Cuyo (Jurásico Temprano – Tardío) en la Cuenca Neuquina". 18º Congreso Geológico Argentino. Relatorio 29-36, Neuquén.
- Beinstein, J. 1994: "Patagonia: historia y crisis" en *Todo es Historia*, N°327, pp.74-83.
- Berry, J.K. 1987. "A mathematical structure for analyzing maps" *J. Environmental Management* 11:317-325.
- Black, A. L. & F. H. Siddoway. 1979. "Influence of tillage and wheat straw residue management on soil properties in the Great Plains" *Can. J. Soil Sci.* 69:835-847.
- Borrelli, P.; Anglesio, F.; Baetti, C.; Cheppi, C.; Iacomini, M.; Ramstrom, A. 1983. "Condición de pastizales en el sitio terraza de Río Gallegos" *Consejo Agrario de la Pcia. De Santa Cruz*.
- Borrelli, P.; Baetti, C.; Iacomini, M. 1990. "Una metodología para evaluación de pastizales en Santa Cruz" *INTA EEA Santa Cruz*.
- Buschiazzo, D. y Taylor, V. 1993. "Efectos de la erosión eólica sobre algunas propiedades de suelos de la Región Semiárida Pampeana Central" en *Ciencia del Suelo*, (10/11): 46-53.
- Buschiazzo, D. E. y Aimar, S. B. 2003. "Erosión Eólica: Procesos y predicción" en: *Viento, Suelo y Planta*. Golberg, Daniel A. y A.G. Kin. Eds. EEA Anguil, Ing. Agr. Guillermo Covas y Fac. De Agronomía, UNLPam. Ediciones INTA. Pp 23-34.

- Buschiazzo, D.E; J.E. Panebianco; G. Guevara; J. Rojas; J.J. Zurita; D. Bran; D. López; J. Gaitán y P. Hurtado. 2009. "Incidencia potencial de la erosión eólica sobre la degradación del suelo y la calidad del aire en distintas regiones de la Argentina" en *Ciencia del suelo (Argentina)*. Vol. 27(2): 255-260.
- Camacho, F.; Cernicharo, J.; Lacaze, R.; Baret, F.; Weiss, M. 2013. "GEOV1: LAI, FAPAR Essential Climate Variables and Fcover global time series capitalizing over existing products. Part 2: Validation and inter-comparison with reference products" *Remote Sensing of Environment*, 137, 310-329.
- Carbone, O., Franzese, J., Limeres, M., Delpino, D., & Martínez, R. (2011). "El Ciclo Precuyano (Triásico Tardío–Jurásico Temprano) en la Cuenca Neuquina" *Relatorio Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén*, pp. 63e76. Buenos Aires.
- Castro, J.M. 1983. "Manual para la recuperación de áreas erosionadas en la Patagonia" INTA, EEA Trelew, 101 pp.
- Chepil, W. S., F. H. Siddoway, and D. V. Armbrust. 1962. "Climatic Factor for Estimating Wind Erodibility of Fram Fields" *Journal of Soil and Water Conservation*, 17, 162-165.
- Chepil, W.S. and N.P. Woodruff. 1963. "The physics of wind erosion and its control" *Adv. Agron.* 15:211-302.
- Chepil, W., Siddoway, F. y Armbrust, D. 1964. "Wind erodibility of knolly terrain" *J. Soil Water Cons.* 19, 179-181.
- Chepil, W.S. 1950. "Properties of Soil which Influence Wind Erosion: Dry Aggregate Structure as an Index of Erodibility" *Soil Science* 69: 403 – 414.
- Chepil, W.S. 1956. "Influence of moisture on erodibility of soil by wind" *Soil Science Society Proceedings*, 20:288–291.
- Cingonali, A.; Noy-Meir, I.; Renison, D.; Cabido, M. 2008. "La ganadería extensiva, ¿es compatible con la conservación de la biodiversidad y de los suelos?" en *Ecología Austral*, 18:253-271.
- Colazo, J. 2012. "Selección de indicadores edáficos de sostenibilidad relacionados con la erosión eólica en la Región Semiárida Central Argentina" (RSCA).
- Conway, W. 2006. "Patagonia, su fauna y su gente", Washington, Ed. Island Press.
- Danieli, J.C., Coppolecchia, M. & Elissondo, M., 2011. "El Grupo Andacollo (Paleozoico Tardío)" 18º Congreso Geológico Argentino. Relatorio 49-52, Neuquén.
- DeCoursey, D.G. 1988. "A critical assessment of hydrologic modding" in *Proceeding of International Symposium on Modeling in Agriculture, Forest, and Rangdand Hydrobgy*, Chicago. ASAE, St. Joseph, MI.
- De Jong, G. 2007. "Desertificación en la P87atagonia: análisis para la acción" Neuquén, Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades de la Universidad Nacional de Comahue.
- Del Valle, M. y Coronato, F. 1984. "Evaluación de los procesos degradatorios de las cuencas hidrográficas de la provincia de Chubut. Aplicación de una metodología provisional de la F.A.O." en *seminario de la Metodología Regional del Proceso de Desertificación (Desertización en Patagonia)*. Univ. Nac. Del Comahue: 2- 66 pp.
- Del Valle, H. 2003. "Degradación de la tierra en la Patagonia extrandina: estrategias de la percepción remota" Centro Nacional Patagónico, CONICET.
- Dufilho, A. C.; Toth, A.; Valle, D., 2002. "Elaboración de Bases para el Ordenamiento territorial Ambiental de la Provincia del Neuquén" *Sistema de Información Geográfico (SIG-OTA)*. CFI, 3 Vol, 23 planos, base de datos en ArcView.

- “Encuesta Provincial Frutícola, 2016-2017” Dirección Provincial de Estadística y Censos de la Provincia del Neuquén. 23 pp.
- FAO, 1978. “La erosión eólica” Cuaderno de fomento agropecuario N° 71. 96 pp.
- FAO, 1980. “Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos” Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo de la agricultura y la alimentación (FAO). Roma, Italia. 86 pp.
- FAO, 2015. “Aspectos Ambientales de la Provincia del Neuquén” Proyecto UTF ARG 017. Desarrollo Institucional para la Inversión. Documento de Trabajo N° 9.
- FAO, 2015. “Infraestructura de Riego” Proyecto UTF ARG 017. Desarrollo Institucional para la Inversión. Provincia del Neuquén. DT N° 5.
- Ferrer J., Irisarri J., Medía M. 1984. “Degradación de los Suelos en la Alta Cuenca del Río Neuquén. Aplicación de la Metodología de F.A.O.” Seminario: Metodología Regional del Proceso de Desertificación (Desertización en Patagonia). Universidad Nacional del Comahue. Facultad de Ciencias Agrarias. 67-86 pp.
- Ferrer J. A., Irisarri J. A. y Mendia J. M., 1990. “Estudio Regional de Suelos de la Provincia del Neuquén” CFI-COPADEV-Prov. NQN., Buenos Aires.
- Ferrer J., Irisarri J., Medía M. 1990^a. “Cartografía de los Suelos” en Estudio Regional de Suelos de la Provincia del Neuquén. Volumen 1. Tomo 3. CFI-COPADEV-Prov. NQN. Buenos Aires, 232 pp.
- Ferrer J., Irisarri J., Medía M. 1990^b. “Descripción Morfológica de Perfiles de Suelos y Datos de Laboratorio” en Estudio Regional de Suelos de la Provincia del Neuquén. Volumen 2. Tomo 1. CFI-COPADEV-Prov. NQN. Buenos Aires, 268 pp.
- Fick, S.E. and R.J. Hijmans. 2017. “WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas” International Journal of Climatology 37 (12): 4302-4315.
- Folguera A., Rojas Vera. E., Spagnuolo M., García Morabito E, Zamora Valcarce G., Bottesi G., Zapata T., y Ramos V.A. 2011. “Depósitos sinorogénicos y tafrogénicos Neógenos a Cuaternarios” 18º Congreso Geológico Argentino. Relatorio 287-293p, Neuquén.
- Fryrear, D. W. 1990. “Wind erosion: mechanics, prediction, and control” Adv. Soil Sci. 13:187-199.
- Fryrear, D.W. et al. 1998. Revised Wind Erosion Equation. USDA-ARS. Southern Plains Area Cropping Systems Res. Lab. Techn. Bull N° 1.
- Garrido, A.C. 2010^a. “Estratigrafía del Grupo Neuquén, Cretácico Superior de la Cuenca Neuquina (República Argentina): Nueva propuesta de ordenamiento litoestratigráfico” en Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, Nueva Serie, 12 (2).
- Gatti, I.; Foot, R. H.; Stryjek, L. 2009. “Desertificación y ovinos en la Patagonia: estado de la cuestión”.
- Giberti, H. 1970. “Historia económica de la ganadería argentina” Ed. Hyspamericana.
- Gilliland, M.W. and W. Baxter-Potter. 1987. “A geographic information system to predict non-point source pollution potential” Water Resource Bulletin 23:281-291.
- Golluscio, R. y Jorge Mercau. 1994. “Cambios en la biodiversidad ante distintos grados de desertificación provocada por el pastoreo” en Oliva, G. y Montes, L. (comp.) Actas del Taller Internacional sobre Recursos Filogenéticos, Desertificación y Uso Sustentable, EEA Santa Cruz, Río Gallegos.
- Golluscio, R.; Bottaro, H.; Rodano, D.; Garbulsky, M.; Bobadilla, S.; Buratovich, O. y Villa, M. 2008. “Divergencias en la estimación de receptividad ganadera en el noroeste de la

- Patagonia: diferencias conceptuales y consecuencias prácticas” en *Ecología Austral*, 19:3-18.
- González Díaz E.F. y Ferrer, J.A., 1986. “Geomorfología de la Provincia del Neuquén” Consejo Federal de Inversiones, con mapa geomorfológico escala 1:500.000, 111p., Buenos Aires.
 - Gonzalez, L. 2000. “Consecuencias ambientales de la actividad ganadera: la desertificación” en García, A y Masón, E (comp.): *El gran libro de la provincia de Santa Cruz*, España: Milenio Ediciones/Alfo Centro Literario.
 - Hagen, L.J. 1991. A wind erosion prediction system to meet users’ needs. *J. Soil Water Conserv.* 46: 106-111.
 - Hernestrosa, G. 1983. “El desierto viene marchando” en *Rev. Vida Silvestre*.
 - “Inventario Nacional de Plantaciones Forestales bajo riego”. 2017. Ministerio de Agroindustria. Presidencia de la Nación.
 - “Inventario Nacional de Plantaciones Forestales en secano”. 2017. Ministerio de Agroindustria. Presidencia de la Nación.
 - Irisarri, J. et al. 1979. “Los suelos del Departamento Minas” Facultad de Ciencias Agrarias. Informe Inédito. Unco. Cinco Saltos.
 - Irisarri, J., 2006. “Suelos de la provincia del Neuquén” Escala 1:500.000. INTA-CFI-UN del Comahue, 224 pp. Buenos Aires.
 - Kimberlin, L.W., A.L. Hidlebaugh, y A.R. Grunewald. 1977. “The potential wind erosion problem in the United States” *Trans. ASAE*, 20:873-879 pp.
 - Kozue, Y., Mitsumasa, Anan. 2018. “Evaluation of the Effect of Wind Velocity and Soil Moisture Condition on Soil Erosion in Andosol Agricultural Fields (Model Experiment)” *Japan*. 11 pp.
 - La Manna, Ludmila & Buduba, Carlos & Irisarri, Jorge. 2020. “Suelos volcánicos de la provincia del Chubut” 29 pp.
 - Leanza, H.A. 2003. “Las sedimentitas huirinianas y rayosianas (Cretácico inferior) en el ámbito central y meridional de la cuenca Neuquina, Argentina” *Servicio Geológico Minero Argentino, Serie Contribuciones Técnicas – Geología 2: 1-31*. Buenos.
 - Leanza, H.A., Sattler, F., Martínez, R.S. y Carbone, O. 2011. “La Formación Vaca Muerta y Equivalentes (Jurásico Tardío-Cretácico Temprano) en la cuenca Neuquina” *Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino*. 113-129 pp.
 - Lewis, J. 1995. “La Biosfera y sus ecosistemas. Una introducción a la Ecología” *ECOSUR, Rosario, Cap. 1*.
 - López et al. 2007. Determination of the wind erodible fraction of soils using different methodologies. *Geoderma* 139: 407–411).
 - Lyles, L. 1975. “Possible effects of wind erosion on soil productivity” *Jour. Soil and Water Conserv.* 30(6):279-283 pp.
 - Lyles, L. 1977. “Wind erosion: processes and effect on soil productivity” *Trans. Amer. Soc. Agr. Engin.* 20(5): 880 - 884 pp.
 - Mare, Marcos Damián. 2009. “Uso de las tierras, fisiografía y degradación, en el noreste del departamento Aluminé, Neuquén” *Mundo Agrario*, vol. 9, nº 18, primer semestre de 2009. ISSN 1515-5994
 - Moncada, M., Lobo, D., y Lozano, Z. 2009. “Asociación entre indicadores de estabilidad estructural y la materia orgánica en suelos agrícolas de Venezuela” *Agrociencia* 43: 221-230.

- Movia C., Ower G, Perez C., 2007. "Estudio de la Vegetación Natural de la Provincia del Neuquén" Tomo I, II y III. Min.de Economía y Hacienda Prov. De Neuquén.
- Musto, J.C. 1979. "La degradación de los suelos en la República Argentina" Tirada Interna N 67 - CIRNINTA. Castelar. Buenos Aires. 12 pp.
- Oliva, G.; Rial, P.; Borrelli, P. 1994. "Desertificación y posibilidades de uso sustentable en la Provincia de Santa Cruz" en Oliva, G. y Montes, L. (comp.) Actas del Taller Internacional sobre Recursos Filogenéticos, Desertificación y Uso Sustentable, EEA Santa Cruz, Río Gallegos.
- Oliva, G. 2006. "Perspectivas de control de la desertificación en Patagonia, luego de 15 años de esfuerzos" en Oliva, G. La desertificación y el futuro de los pastizales patagónicos.
- Oslin, A.U., R.A. Westsmith, and D.S. Morgan. 1988. "Streams: A basin and soil erosion modal using CADD, remote sensing, and GIS to facilitate watershed management" in Proceeding of International Symposium on Modeling in Agriculture, Forest, and Rangeland Hydrology, Chicago. ASAE, St. Joseph, MI. pp 470-477.
- Panebianco & Buschiazzo. 2008. Wind erosion predictions with the Wind Erosion Equation (WEQ) using different climatic factors. Land Degrad. Develop. 19: 36-44.
- Paruelo, J.; Aguilar, M. 2003. "Impacto humano sobre los ecosistemas. El caso de la desertificación" en Ciencia Hoy, Vol. 13, N° 77.
- Paruelo, J., Oesterheld, M. y Gonzalo Grigera. 2005. "Evaluación de recursos forrajeros mediante sensores remotos" Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Peralta, C. .1995. "Evaluación del factor antropogéneo en el proceso de la desertificación" en proyecto INTA-GTZ Lucha contra la desertificación en la Patagonia a través de un Sistema de Monitoreo Ecológico, EEA Santa Cruz, EEA Chubut, EEA Bariloche, CENPAT (CONICET).
- Pereyra, F.X., Irisarri, J.A. y Ferrer, J.A., 2011. "Suelos: factores de formación, procesos pedogenéticos y distribución" 18º Congreso Geológico Argentino. Relatorio 871-880, Neuquén.
- Quirantes, J. (1987). "Erosión eólica. Valoración experimental" Papeles de Geografía (Física), (12): 11-18.
- Rivas, W. y Pastor Mogollón, J. 2018. "Erosión Eólica en la Península de Paraguaná, Estado Falcón, Venezuela" Revista Forestal Venezolana, Año LXII, Volumen 62, Número Único, pp. 9-28.
- Rimoldi, P. 2004. "Producción Ganadera Sustentable en el Árido Chubutense" en Revista IDIA XXI, N°7.
- Rodriguez M.F., 2011. "El Grupo Malargüe (Cretácico tardío-Paleógeno temprano) en la cuenca neuquina" 18º Congreso Geológico Argentino. Relatorio 245-260p, Neuquén.
- Rostagno, Cesar M.; Del Valle, Hector; Buschiazzo, Daniel E. 2004. Cap. 2.2 en González, M. A. y Bejerman, N. J. "Peligrisidad Geológica en Argentina" Buenos Aires, ASAGAI. CD-Rom, ISBN 987-21766-0-4. pp. 119 – 132.
- Salinas Acosta, A. 2007. "Estimación de los parámetros de la erosión eólica para nueve suelos de la provincia de Guanacaste, mediante un túnel portátil de viento" Costa Rica. 82 pp.
- Santanatoglia, O. J.; Navone, Stella M.; Massobrio, M. J. y Maggi, A. E. 1992. "Análisis de los grados de erosión eólica de la provincia de La Pampa aplicando la metodología de F.A.O." Rev. Facultad de Agronomía, 13(1): 77-90 pp.

- Savat, J. 1982. "Common and uncommon selectivity in the process of fluid transportation: field observations and laboratory experiments on bare surfaces" *Catena Supplement 1*: 139-160.
- Schwarz E., Spalletti L.A y Veiga G.D., 2011. "La Formación Mulichinco (Cretácico temprano) en la cuenca neuquina" 18º Congreso Geológico Argentino. Relatorio 131-141p, Neuquén.
- Skidmore, E.L. and N.P. Woodruff. 1968. "Wind erosion forces in the United States and their use in predicting soil loss. USDA ARS Agriculture" Handbook No 346, 42 pp, April, 1968.
- Skidmore, E. 1986. "Soil erosion by wind: An overview" in Farouk El-Baz (Ed.). *Physics of Desertification*. Martinus Nijoff publishers, Dordrecht/Boston/Lancaster, pp. 261-273.
- Skidmore, E. y Van Donk, S. 2001. "Soil erosion and conservation" in D.W. Benbi and R. Neider (eds.) *Handbook of Processes in the Soil-Plant Systems: Modeling concepts and Applications*. The Haworth Press, Inc., Binghamton, NY.
- Solé-Benet, Albert & Cantón, Y. 2021. "Mejora de suelos salinos y control de la erosión en zonas áridas".
- Soriano, A. 1948. "Algo más sobre las plantas del Chubut", *Argentina Austral*, N°201, Buenos Aires.
- Soriano, A y Movia, C .1986. "Erosión y Desertificación en la Patagonia" en *Interciencia*, Vol 12, N°2.
- Soriano, A. y Paruelo, J. 1990. "El pastoreo ovino. Principios para el manejo de los campos" en *Ciencia Hoy*, Vol. 2, N°7.
- Spalletti L.A., Veiga G.D y Schwarz E., 2011. "La Formación Agrio (Cretácico temprano) en la cuenca neuquina" 18º Congreso Geológico Argentino. Relatorio 145-160p, Neuquén.
- Tomlin, C.D., S.H. Benvick, and S.M. Tomlin. 1983. "Cartographic analysis of deer habitat utilization" in Teicholz, E. and B. Berry, eds. *Computer graphics and environmental planning*. Prentice Hall. pp. 141-150.
- Torres, B., et al. 2003. "Evaluación de la degradación de los suelos en la cuenca "El Josefino" Jesús María" *JaliscoTerra Latinoamericana*, vol. 21, núm. 1, enero-marzo, 2003, pp. 117-126.
- Trabucco, A., and Zomer, R.J. 2018. "Global Aridity Index and Potential Evapo-Transpiration (ET0) Climate Database v2" CGIAR Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI). Published online, available from the CGIAR-CSI GeoPortal at <https://cgiarcsi.community>.
- Verger, A.; Baret, F. and Weiss, M. Aug. 2014. "Near Real-Time Vegetation Monitoring at Global Scale" in *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 7, no. 8, pp. 3473-3481, doi: 10.1109/JSTARS.2014.2328632.
- Wilson, S.J. and R.U. Cooke, 1980. "Wind erosion" in Kirby, M.J. and R.P. Morgan (Eds.) *Soil Erosion*, Chapter 7, pp.217-251. J. Wiley & Sons, N.York.
- Zomer et al. 2007. "Carbon, Land and Water: A Global Analysis of the Hydrologic Dimensions of Climate Change Mitigation through Afforestation/Reforestation" *International Water Management Institute*. Colombo, Sri Lanka.
- Zomer et al. 2008. "Climate change mitigation: A spatial analysis of global land suitability for clean development mechanism afforestation and reforestation" *Agriculture, Ecosystems and Environment* 126 (2008) 67–80.

Vínculos web:

- <https://www.estadisticaneuquen.gob.ar>
- <https://www.worldclim.org/data/index.html#>
- <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.5086>
- <https://cgiarcsi.community/2019/01/24/global-aridity-index-and-potential-evapotranspiration-climate-database-v2/>
- <https://land.copernicus.eu/global/>
- www.fao.org
- <https://www.smn.gob.ar/noticias/2021-fue-uno-de-los-siete-a%C3%B1os-m%C3%A1s-c%C3%A1lidos-de-la-historia-nivel-mundial#:~:text=2021%20fue%20el%20quinto%20a%C3%B1o,%2B0%2C58%C2%B0C>

ANEXOS

ANEXO A – Datos edafológicos

Anexo A.1. Unidades Cartográficas según Ferrer et al. (1990), con sus respectivos valores de factor e

Nº Unidad Cartográfica	Nombre de la Unidad Cartográfica	Gran Grupo/Subgrupo Dominante	Factor e
1	Fase escarpada de Hapludandes vítricos / Fulvudandes típicos	Hapludandes vítricos	3,5
2	Ídem 1, con materiales volcánicos gruesos (lapilli)	Hapludandes vítricos con lapilli	1,75
3	Fase escarpada de Udivitrandes típicos / Udivitrandes tápticos // Hapludandes vítricos	Udivitrandes típicos	3,5
4	Fase ligeramente inclinada de la unidad 3; materiales volcánicos gruesos (lapilli)	Udivitrandes típicos con lapilli	3,5
5	Fase plana de Udivitrandes tápticos / Udivitrandes típicos // Medifibrístes típicos	Udivitrandes tápticos	3,5
6	Fase suavemente ondulada de Udivitrandes tápticos / Udivitrandes típicos	Udivitrandes tápticos	3,5
7	Ídem 6, con materiales volcánicos gruesos (lapilli)	Udivitrandes tápticos	3,5
8	Cubierta detrítica y asomos rocosos / Hapludandes líticos y típicos // Criortentes típicos	Hapludandes líticos y típicos	1,75
9	Vitrixerandes típicos / Vitrixerandes mólicos	Vitrixerandes típicos	3,5
10	Ídem 9, con materiales volcánicos gruesos (lapilli)	Vitrixerandes típicos con lapilli	3,5
11	Vitrixerandes mólicos / Vitrixerandes típicos // Humacueptes típicos	Vitrixerandes mólicos	3,5
12	Haploxerandes típicos y Haploxeroles vitrándicos // Humacueptes típicos y Haplacuoles énticos	Haploxerandes típicos y Haploxeroles vitrándicos	1,75
13	Haploxerandes típicos / Vitrixerandes mólicos // Haplacuoles énticos y Haploxeroles énticos	Haploxerandes típicos	1,75
14	Xerotentes típicos y Xeropsamentes típicos // Haplacuoles énticos y Haploxeroles énticos	Xerotentes típicos y Xeropsamentes típicos	3,5

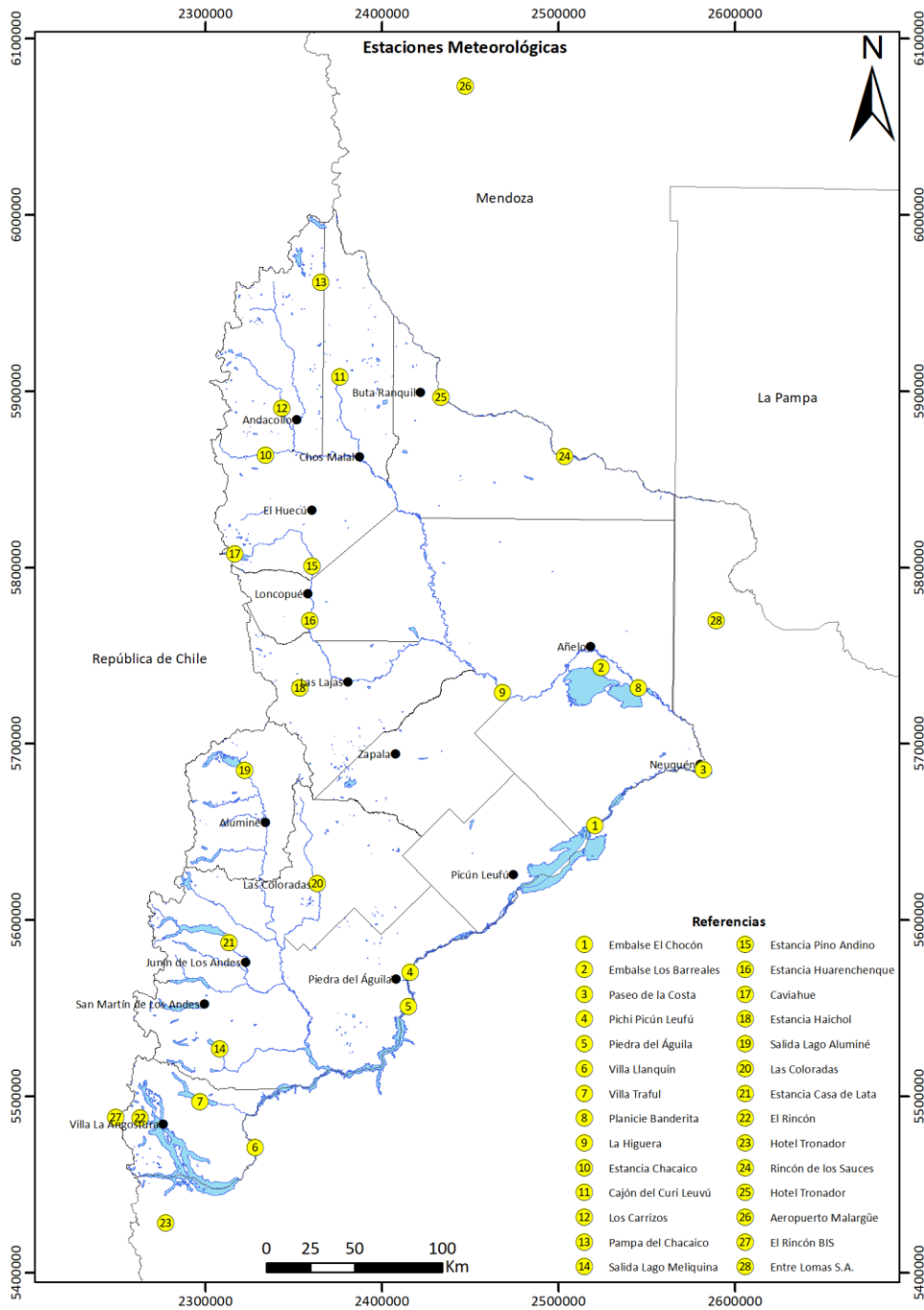
15	Fase plana y somera de la unidad 14	Xerotentes típicos y Xeropsamientos típicos	2,625
16	Fase disectada de Haploxeroles vitrándicos / Xerotentes típicos // Haplacuoles énticos	Haploxeroles vitrándicos	1,75
17	Fase severamente erosionada de Vitrixerandes mólicos esqueléticos // Vitrixerandes típicos y Haplacuoles énticos	Vitrixerandes mólicos esqueléticos	3,5
18	Fase escarpada de Haploxeroles vitrándicos / Vitrixerandes mólicos y Argixeroles vérticos // asomos rocosos	Haploxeroles vitrándicos	0,62
19	Fase muy severamente disectada de Haploxeroles énticos / Argixeroles típicos // asomos rocosos	Haploxeroles énticos	1,75
20	Fase fuertemente inclinada Vitrixerandes mólicos y Haploxeroles vitrándicos // Argixeroles vérticos	Vitrixerandes mólicos y Haploxeroles vitrándicos	1,185
21	Fase fuertemente inclinada de Argixeroles vérticos y Haploxeroles énticos / Haploxerertes típicos // Haplacuoles énticos	Argixeroles vérticos y Haploxeroles énticos	1,75
22	Fase escarpada de Xerotentes típicos / Argixeroles cálcicos arídicos // Argialboles xéricos	Xerotentes típicos	1,75
23	Fase fuertemente inclinada de Haploxerertes típicos y Argixeroles vérticos // Haploxeroles énticos	Haploxerertes típicos y Argixeroles vérticos	1,85
24	Fase ligera y fuertemente inclinada de Xerotentes típicos / Argixeroles cálcicos arídicos // Haplacuentes típicos	Xerotentes típicos	3,5
25	Fase escarpada de Xerotentes típicos y Haploxeralfes cálcicos // Criortentes típicos	Xerotentes típicos y Haploxeralfes cálcicos	2,625
26	Xeropsamientos típicos y Xerotentes típicos // Haplacuentes típicos	Xeropsamientos típicos y Xerotentes típicos	3,5
27	Fase plana de Argixeroles cálcicos arídicos // Haplacuentes típicos	Argixeroles cálcicos arídicos	3,5
28	Fase plana de Haploxeralfes típicos / Xeropsamientos típicos y mólicos	Haploxeralfes típicos	0,62
29	Fase disectada de la unidad 28	Haploxeralfes típicos	0,62

30	Fase ligera y moderadamente inclinada de Palexeralfes mólicos y Xerortentes típicos // Albacualfes típicos y Haplacuentes típicos	Palexeralfes mólicos y Xerortentes típicos	2,625
31	Fase fuertemente inclinada de Argixeroles cálcicos arídicos / Xerortentes típicos // Haplacuentes típicos	Argixeroles cálcicos arídicos	3,5
32	Fase fuertemente inclinada de Xerortentes típicos / Argixeroles cálcicos arídicos // Haplacuentes típicos	Xerortentes típicos	1,75
33	Fase severamente disectada de Xerortentes típicos / afloramientos rocosos // Argixeroles cálcicos arídicos	Xerortentes típicos	3,5
34	Cubierta detrítica y asomos rocosos / Vitriixerandes típicos y Haploxeroles énticos	Vitriixerandes típicos y Haploxeroles énticos	0,525
35	Coladas de lavas basálticas y andesíticas; excepcionalmente Torriortentes xéricos líticos	Torriortentes xéricos líticos	0,175
36	Fase plana de Torriortentes líticos / Petrocalcides típicos	Torriortentes líticos	1,75
37	Fase pedregosa de Torriortentes típicos, someros / Haplacuentes típicos y asomos rocosos (zona de asentamiento)	Torriortentes típicos, someros	0,87
38	Fase plana de Torriortentes típicos y Petrogypsides típicos // Haplogypsides típicos	Torriortentes típicos y Petrogypsides típicos	0,87
39	Fase ligera y moderadamente inclinada de Haplogypsides típicos y Petrocalcides típicos // Torriortentes líticos	Haplogypsides típicos y Petrocalcides típicos	1,31
40	Fase ligeramente inclinada de Torriortentes típicos / Petrocalcides típicos	Torriortentes típicos	1,25
41	Torriortentes típicos, someros / Petrocalcides típicos y Haplargides xéricos	Torriortentes típicos, someros	0,87
42	Fase plana de Petrocalcides típicos y Petroargides típicos // Torriortentes típicos	Petrocalcides típicos y Petroargides típicos	3,5
43	Fase ligeramente inclinada de Petrocalcides típicos / Torriortentes típicos // Haplocalcides típicos	Petrocalcides típicos	3,5

44	Fase severamente disectada de Haplocalcides típicos y Torriortentes típicos // asomos de sedimentos	Haplocalcides típicos y Torriortentes típicos	3,5
45	Fase ligeramente inclinada de Haplocalcides típicos / Haplogypsides típicos // Torripsamentos típicos	Haplocalcides típicos	2,625
46	Fase moderadamente inclinada de Haplocalcides típicos y Haplogypsides típicos // Torripsamentos típicos	Haplocalcides típicos y Haplogypsides típicos	2,185
47	Fase ligeramente inclinada de Torriortentes típicos, moderadamente gruesos / Torripsamentos típicos	Torriortentes típicos, moderadamente gruesos	1,75
48	Fase disectada de Torriortentes típicos y Torriortentes líticos / asomos rocosos // Petrocalcides típicos	Torriortentes típicos y Torriortentes líticos	2,625
49	Petrocalcides típicos y Haplocalcides típicos / Petroargides típicos y Torriortentes típicos, fase somera	Petrocalcides típicos y Haplocalcides típicos	3,5
50	Fase disectada de Petrocalcides típicos / Torriortentes típicos y Haplocalcides típicos // asomos rocosos	Petrocalcides típicos	3,5
51	Haplargides típicos y Petroargides típicos, fase alcalina con B nátrico / Torriortentes típicos	Haplargides típicos y Petroargides típicos, fase alcalina con B nátrico	1,75
52	Torriortentes vérticos y Torrifluentes típicos / Natrargides típicos y Haplosalides típicos	Torriortentes vérticos y Torrifluentes típicos	1,85
53	Fase plana de Petroargides xéricos y Torripsamentos xéricos // Argidurides xéricos	Petroargides xéricos y Torripsamentos xéricos	2,185
54	Fase plana de Petrocalcides típicos / Petroargides típicos // Torripsamentos típicos	Petrocalcides típicos	3,5
55	Fase plana de Petroargides típicos / Petrocalcides típicos	Petroargides típicos	1,75
56	Fase plana de Haplogypsides cálcicos / Petrogypsides típicos	Haplogypsides cálcicos	0,87

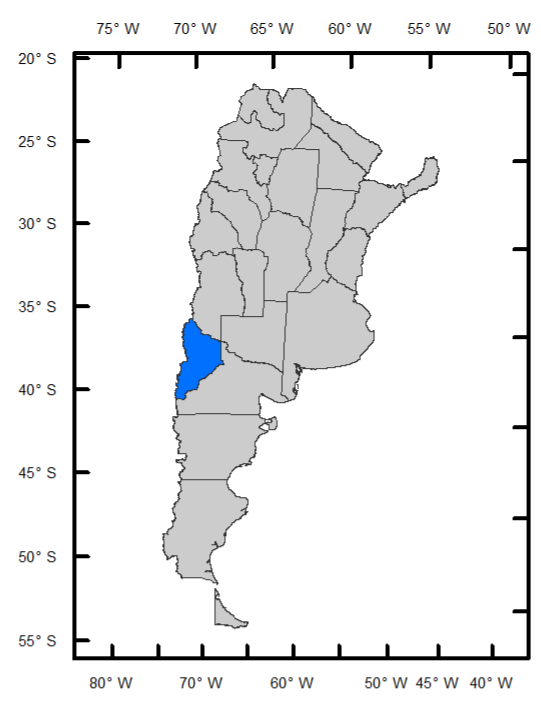
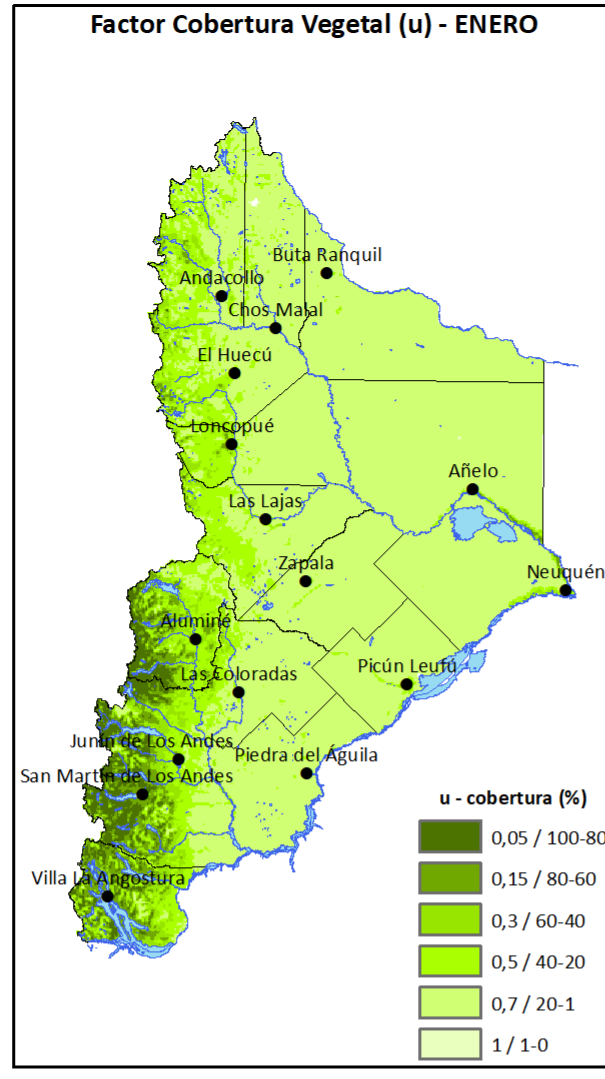
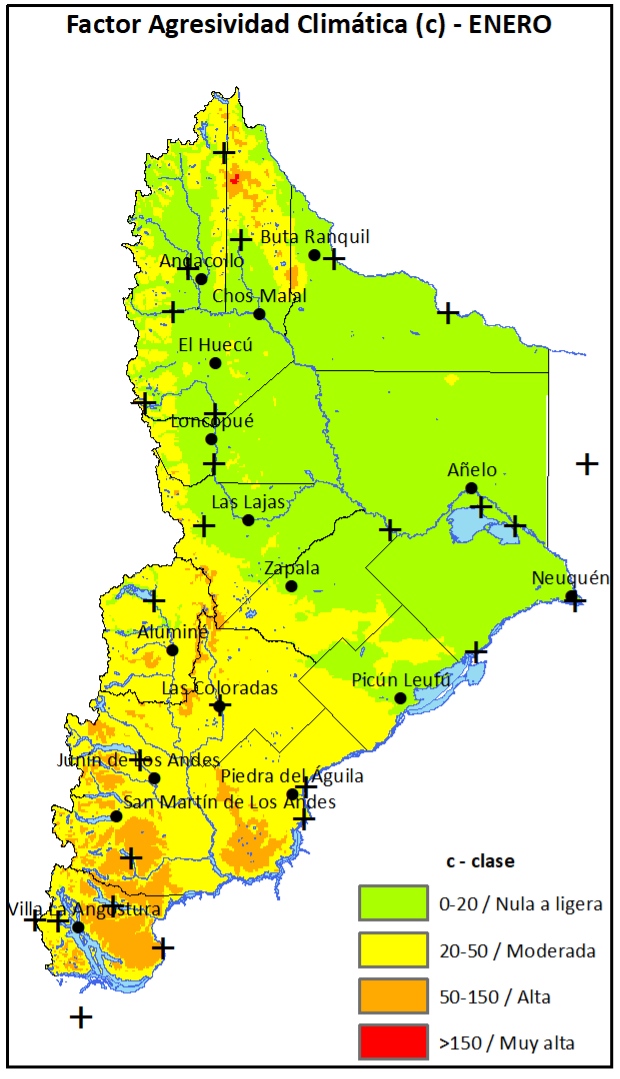
57	Torriortentes típicos, texturas medias a moderadamente finas / Torripsamientos típicos // Fase salina de Torriortentes típicos	Torriortentes típicos, texturas medias a moderadamente finas	3,5
58	Torriortentes típicos y Haplocalcides típicos / Fase salina de Torrifluventes típicos	Torriortentes típicos y Haplocalcides típicos	2,375
59	Torriortentes típicos, moderadamente gruesos / Torripsamientos típicos // Fase salina de Torriortentes típicos	Torriortentes típicos, moderadamente gruesos	1,75
60	Torriortentes típicos, gravillosos y franco gruesos / Fase salino - sódica de los mismos suelos	Torriortentes típicos, gravillosos y franco gruesos	0,87
61	Torriortentes típicos y Torrifluventes típicos, franco gruesos // Torripsamientos típicos	Torriortentes típicos y Torrifluventes típicos, franco gruesos	1,55
62	Fase salina de Torrifluventes típicos / Haplosalides típicos // Torriortentes vérticos	Fase salina de Torrifluventes típicos	1,85
63	Torripsamientos típicos / Fase ligeramente salina de Torriortentes típicos	Torripsamientos típicos	3,5
64	Asomos de sedimentitas / Torriortentes líticos y típicos, fase somera // Haplocalcides típicos	Torriortentes líticos y típicos, fase somera	0,875
65	Fase fuertemente inclinada de Torriortentes típicos // Haplargides xéricos y Haploxeralfes cálcicos	Torriortentes típicos	0,62
66	Fase ligeramente inclinada de Torriortentes típicos, pedregosos y Torripsamientos típicos, someros / asomos rocosos	Torriortentes típicos, pedregosos y Torripsamientos típicos, someros	2,185
67	Asomos de sedimentitas / Fase plana de Torripsamientos típicos y someros	Fase plana de Torripsamientos típicos y someros	1,75
68	Sedimentitas expuestas en forma escalonada	Virtual ausencia de suelos	0
69	Sedimentos finos muy severamente disectados	Virtual ausencia de suelos	0
70	Sedimentos yesosos	Virtual ausencia de suelos	0

ANEXO B – Ubicación de estaciones meteorológicas



Anexo B.1. Distribución de las estaciones meteorológicas utilizadas

ANEXO C – Mapas temáticos mensuales y anual



Erosión Eólica Potencial (EEP) =
 $c \times e$

Erosión Eólica Actual (EEA) =
 $c \times e \times u$

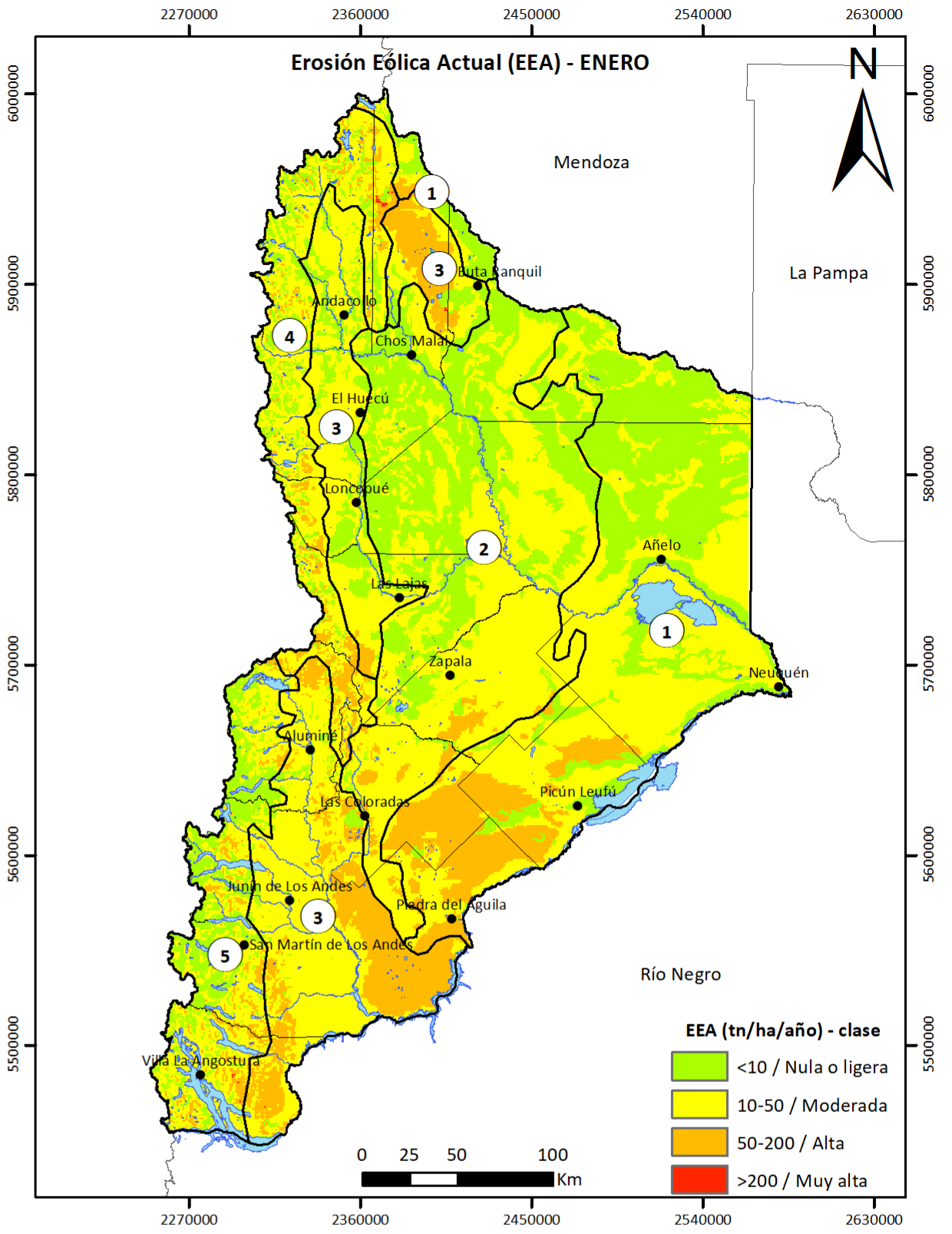
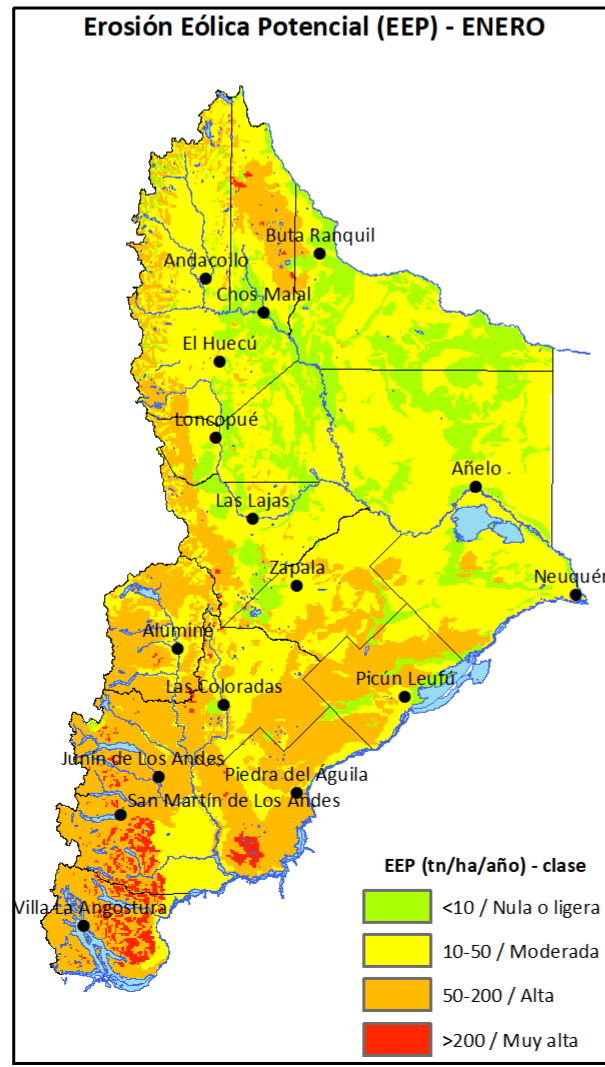
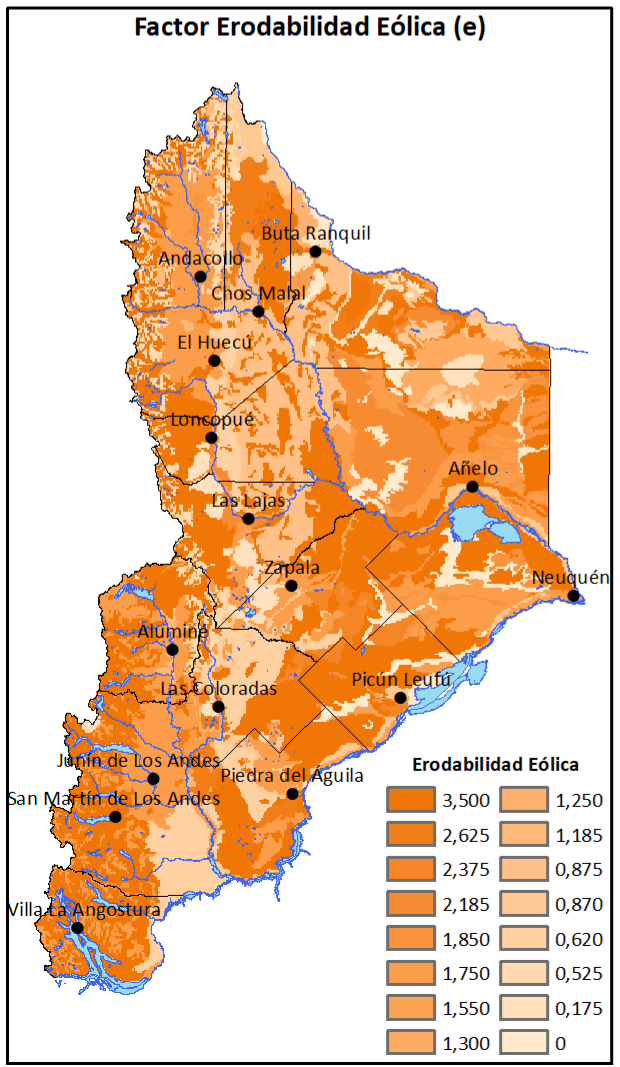
- ### Referencias
- + Estaciones Meteorológicas
 - Localidades
 - Ríos y Lagos
 - Departamentos
- Regiones y Subregiones Naturales**
- ① Árida mesetiforme
 - ② Árida serrana
 - ③ Subhúmeda de planicies, colinas y serranías
 - ④ Andina subhúmeda montañosa
 - ⑤ Andina húmeda montañosa

Factor c - Obtenido a partir de la forma modificada por la F.A.O. (1979) del índice de erodabilidad eólica de Chepil et al. (1962).

Factor e - Generado a partir de los "grupos de erodabilidad eólica" definidos por Lyles (1975, 1977) y Kimberlin et al. (1977).

Factor u - Producido a partir de productos ráster del sitio web del Programa Copérnico, específicamente los de FCover (v2.0).

Sistema de coordenadas: POSGAR 1994 Arg. Zone 2
Proyección: Transverse Mercator
Datum: WGS1984
Unidad: Metros



Maestría en Intervención Ambiental con Orientación en Ingeniería Ambiental
Facultad de Ingeniería (FAIN)
Universidad Nacional del Comahue (UNComa)

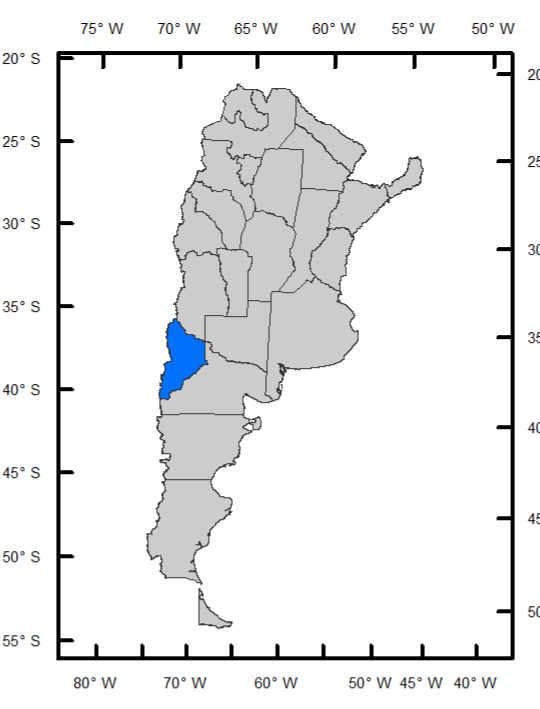
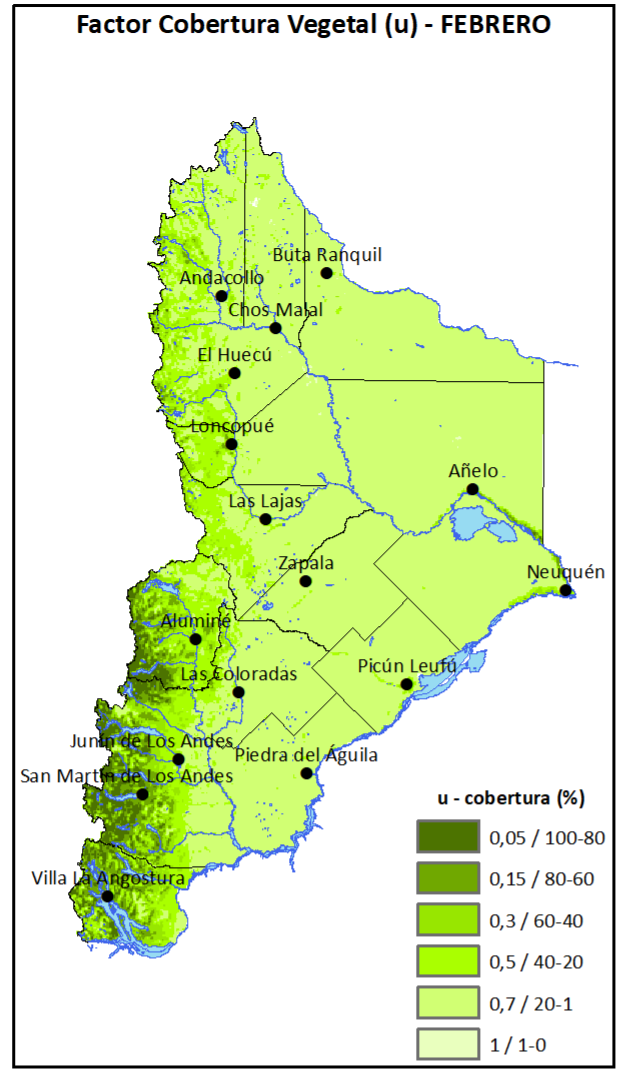
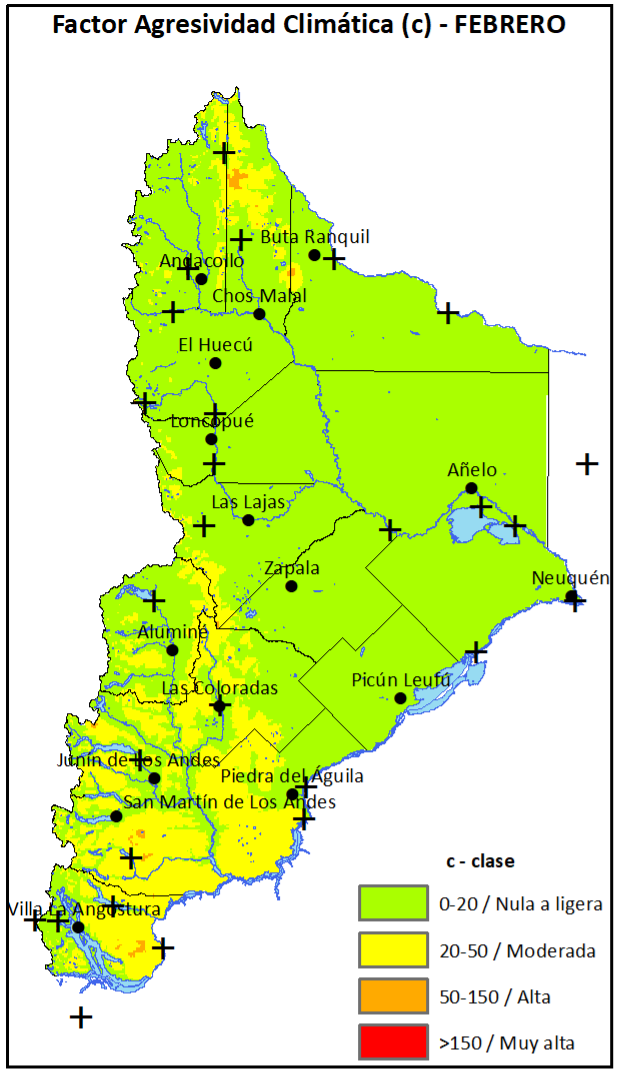


Tesis para optar por el título de Magíster en Intervención Ambiental: Estimación de la Erosión Eólica Actual y Potencial de los Suelos de la Provincia de Neuquén utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG - GIS)

Erosión Eólica Actual - ENERO

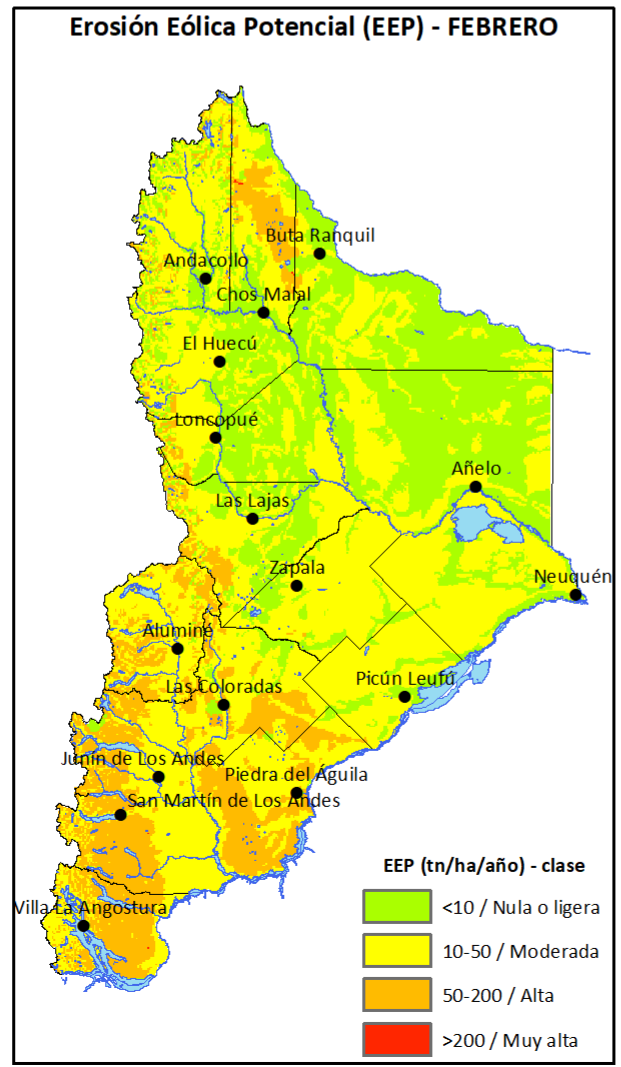
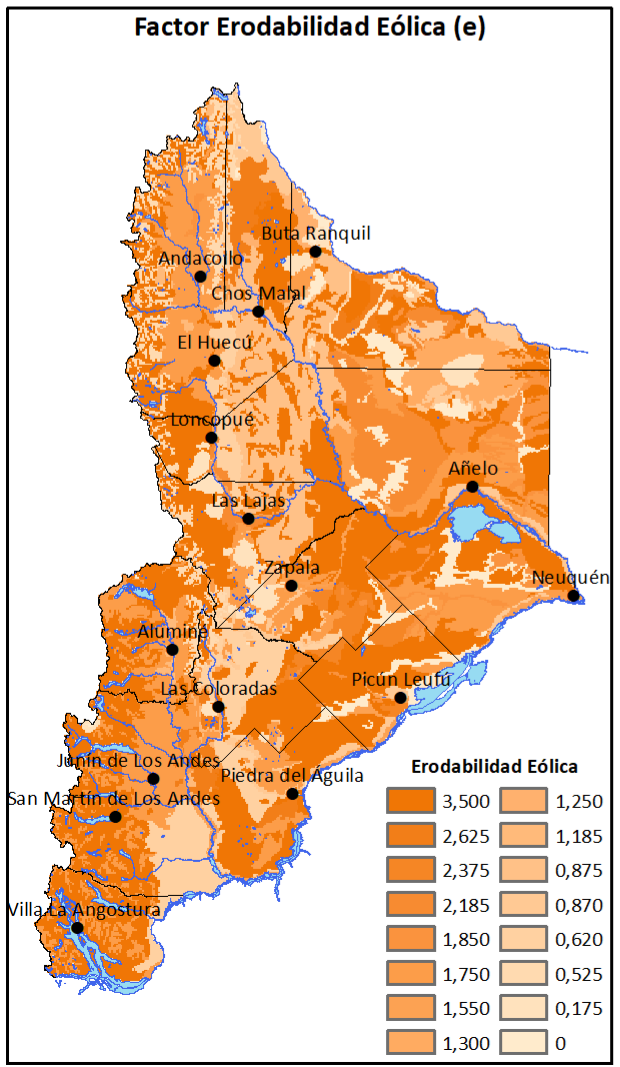
Maestrando: Bocci, Hugo R.
Director: Dufilho, Ana C.
Co-Director: Irisarri, Jorge A.

Fecha: Junio 2022



Erosión Eólica Potencial (EEP) = c x e

Erosión Eólica Actual (EEA) = c x e x u



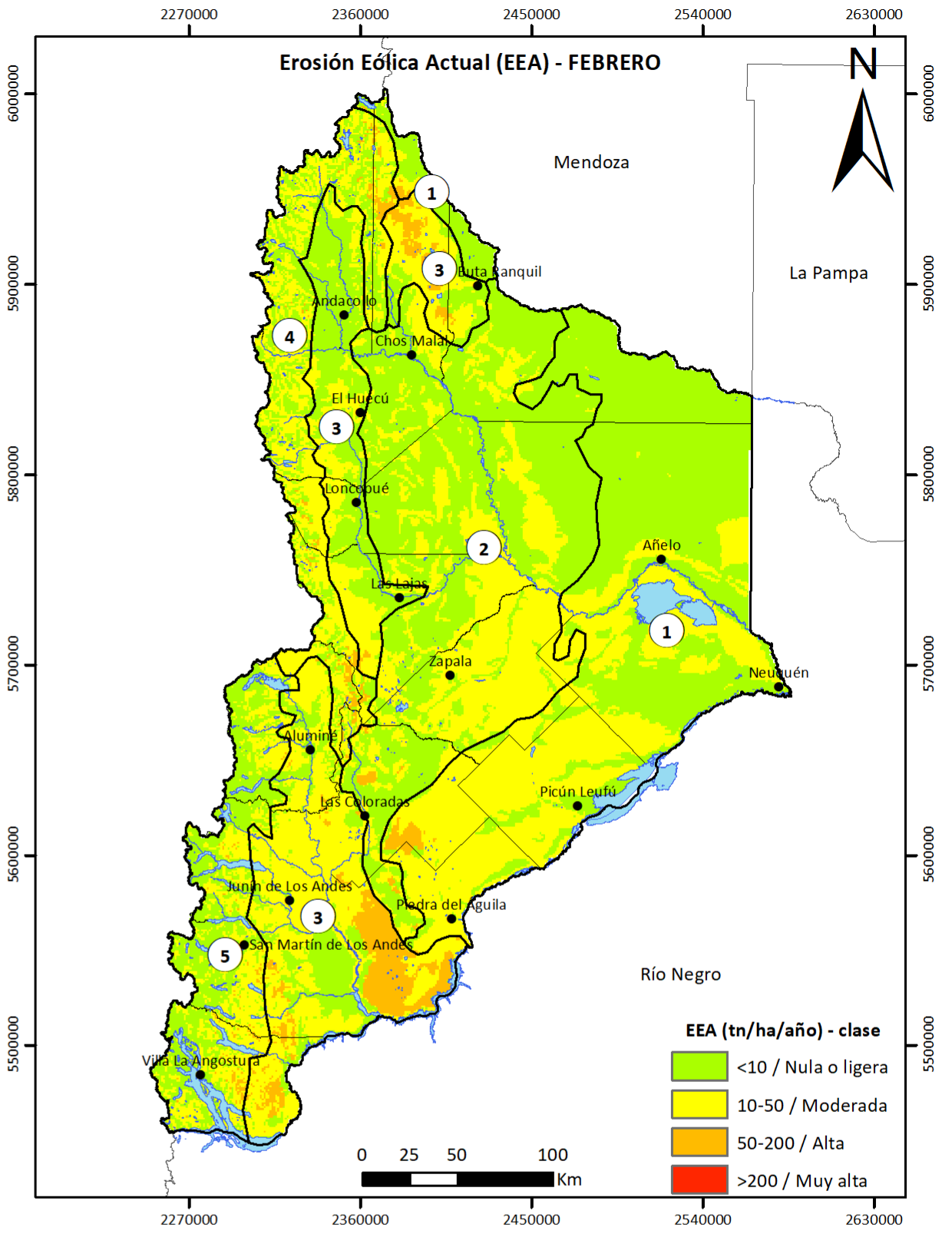
- ### Referencias
- + Estaciones Meteorológicas
 - Localidades
 - Ríos y Lagos
 - Departamentos
- ### Regiones y Subregiones Naturales
- 1) Árida mesetiforme
 - 2) Árida serrana
 - 3) Subhúmeda de planicies, colinas y serranías
 - 4) Andina subhúmeda montañosa
 - 5) Andina húmeda montañosa

Factor c - Obtenido a partir de la forma modificada por la F.A.O. (1979) del índice de erodabilidad eólica de Chepil et al. (1962).

Factor e - Generado a partir de los "grupos de erodabilidad eólica" definidos por Lyles (1975, 1977) y Kimberlin et al. (1977).

Factor u - Producido a partir de productos ráster del sitio web del Programa Copérnico, específicamente los de FCover (v2.0).

Sistema de coordenadas: POSGAR 1994 Arg. Zone 2
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS1984
 Unidad: Metros



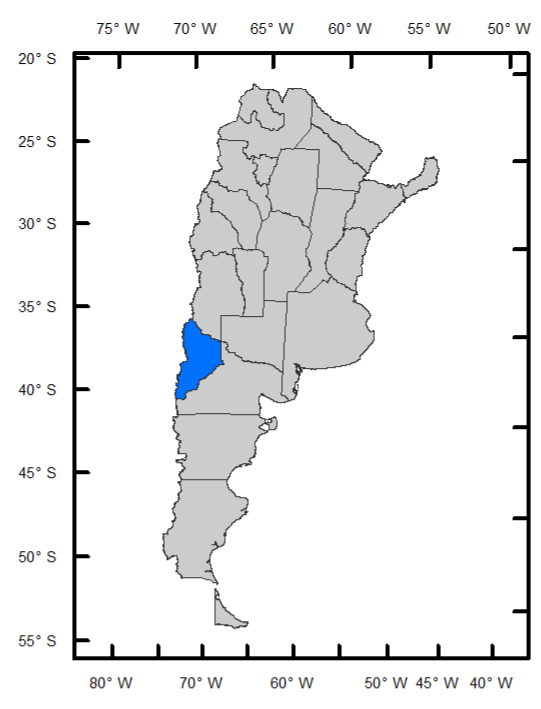
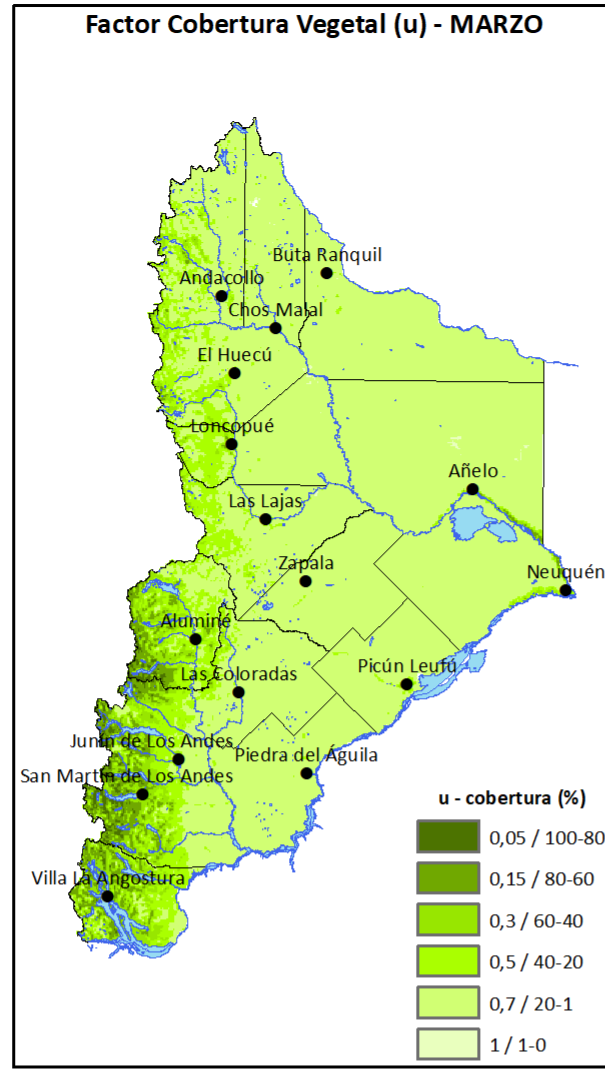
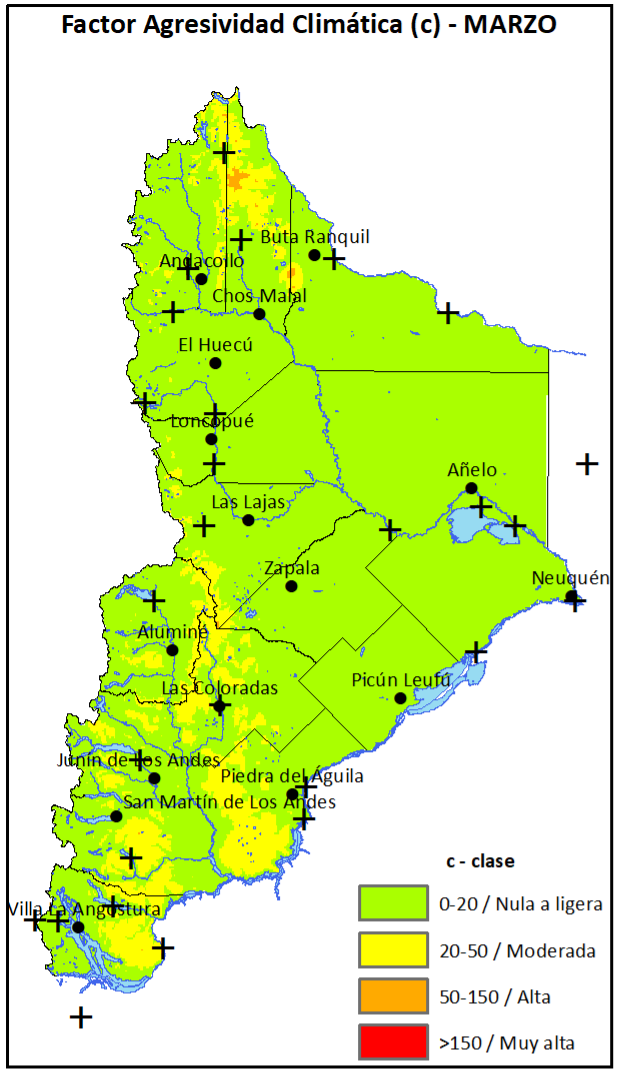
Maestría en Intervención Ambiental con Orientación en Ingeniería Ambiental
 Facultad de Ingeniería (FAIN)
 Universidad Nacional del Comahue (UNComa)

Tesis para optar por el título de Magíster en Intervención Ambiental: Estimación de la Erosión Eólica Actual y Potencial de los Suelos de la Provincia de Neuquén utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG - GIS)

Erosión Eólica Actual - FEBRERO

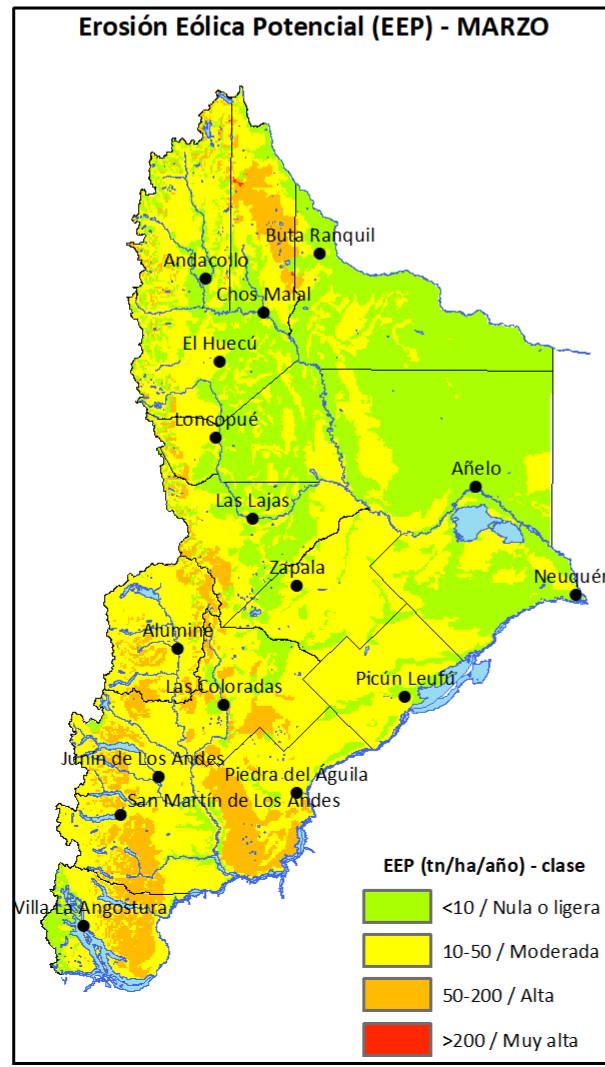
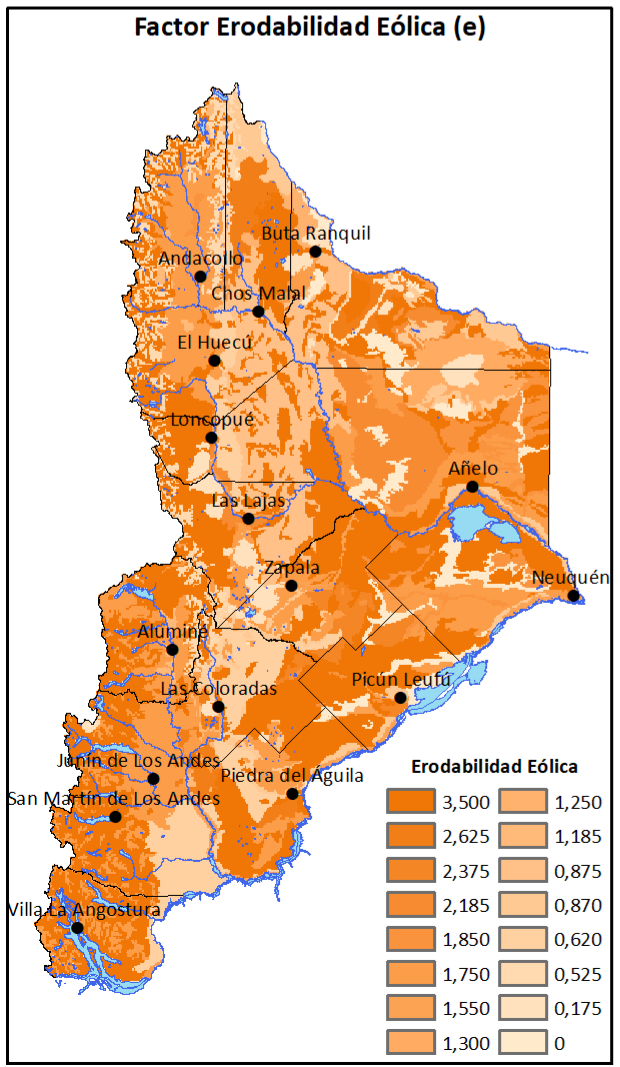
Maestrando: Bocci, Hugo R.
 Director: Dufilho, Ana C.
 Co-Director: Irisarri, Jorge A.

Fecha: Junio 2022



Erosión Eólica Potencial (EEP) =
 $c \times e$

Erosión Eólica Actual (EEA) =
 $c \times e \times u$



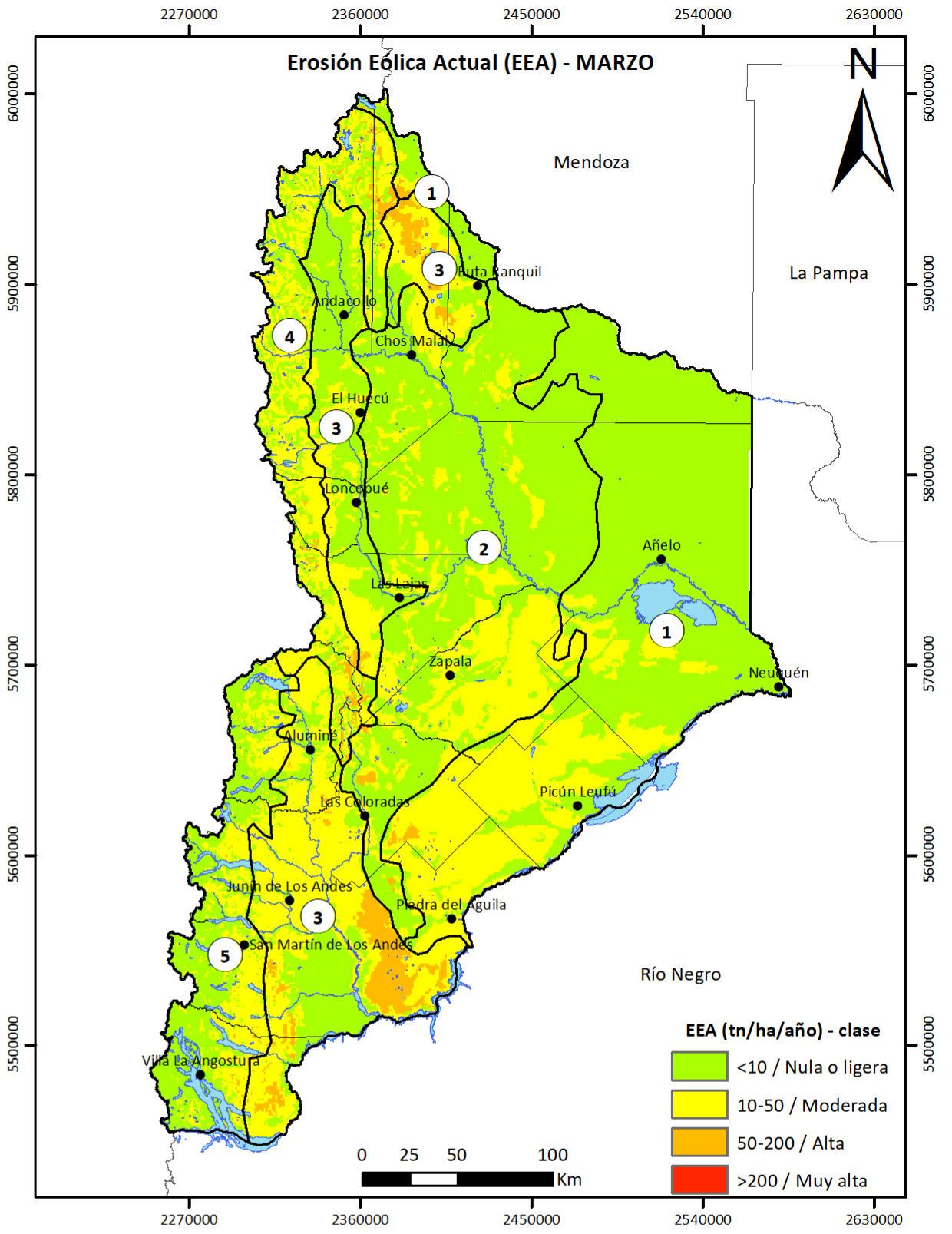
- ### Referencias
- + Estaciones Meteorológicas
 - Localidades
 - Ríos y Lagos
 - Departamentos
- ### Regiones y Subregiones Naturales
- 1) Árida mesetiforme
 - 2) Árida serrana
 - 3) Subhúmeda de planicies, colinas y serranías
 - 4) Andina subhúmeda montañosa
 - 5) Andina húmeda montañosa

Factor c - Obtenido a partir de la forma modificada por la F.A.O. (1979) del índice de erodabilidad eólica de Chepil et al. (1962).

Factor e - Generado a partir de los "grupos de erodabilidad eólica" definidos por Lyles (1975, 1977) y Kimberlin et al. (1977).

Factor u - Producido a partir de productos ráster del sitio web del Programa Copérnico, específicamente los de FCover (v2.0).

Sistema de coordenadas: POSGAR 1994 Arg. Zone 2
Proyección: Transverse Mercator
Datum: WGS1984
Unidad: Metros



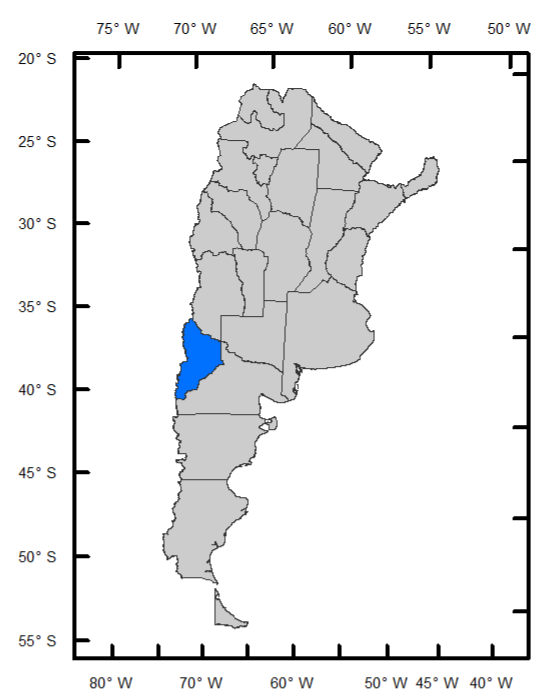
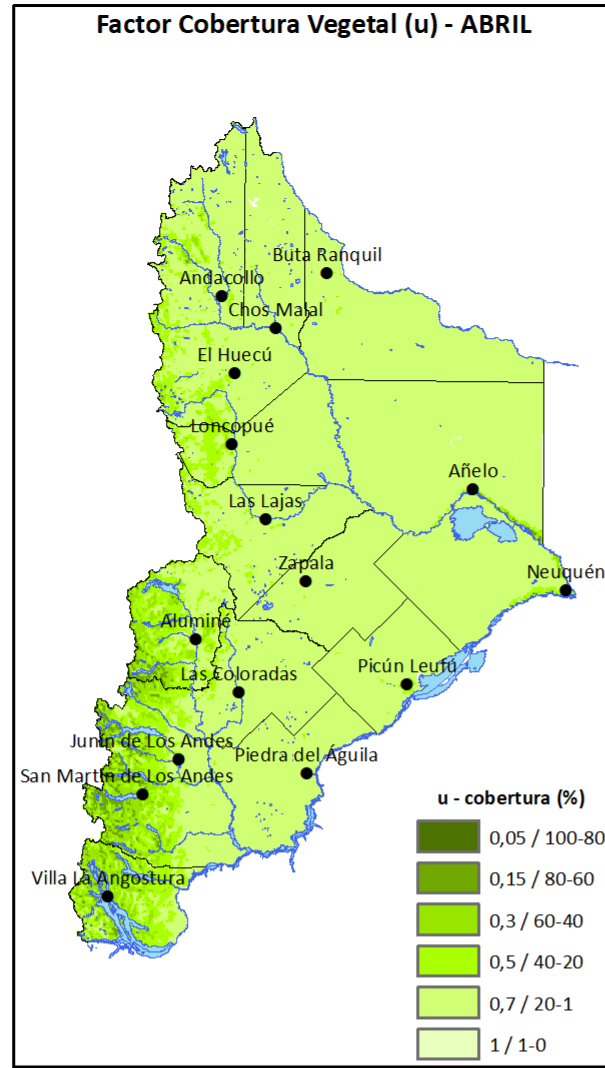
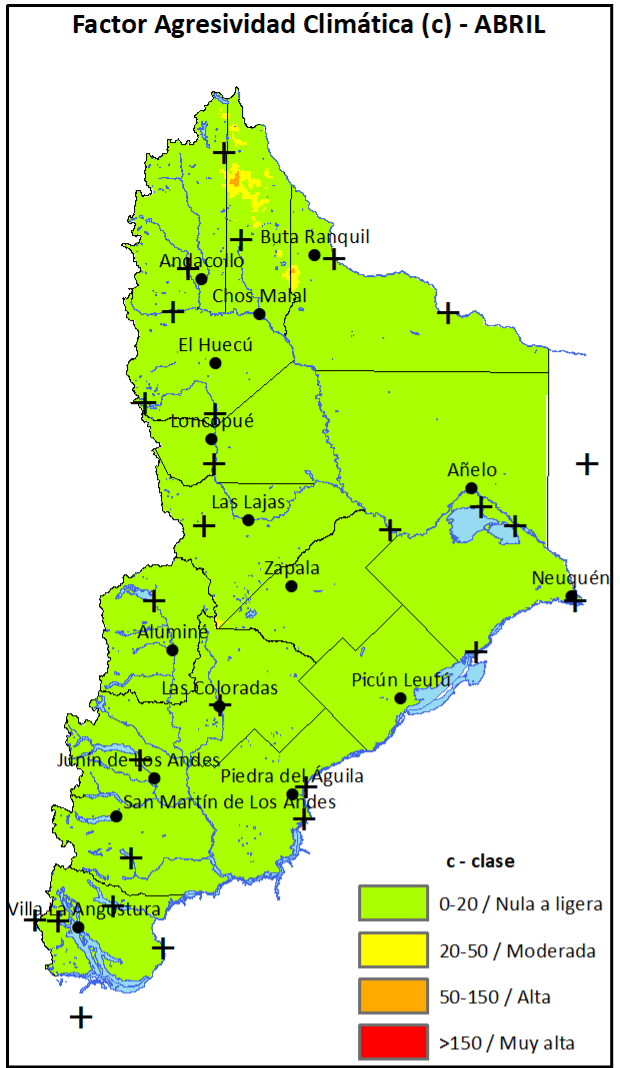
Maestría en Intervención Ambiental con Orientación en Ingeniería Ambiental
Facultad de Ingeniería (FAIN)
Universidad Nacional del Comahue (UNComa)

Tesis para optar por el título de Magíster en Intervención Ambiental: Estimación de la Erosión Eólica Actual y Potencial de los Suelos de la Provincia de Neuquén utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG - GIS)

Erosión Eólica Actual - MARZO

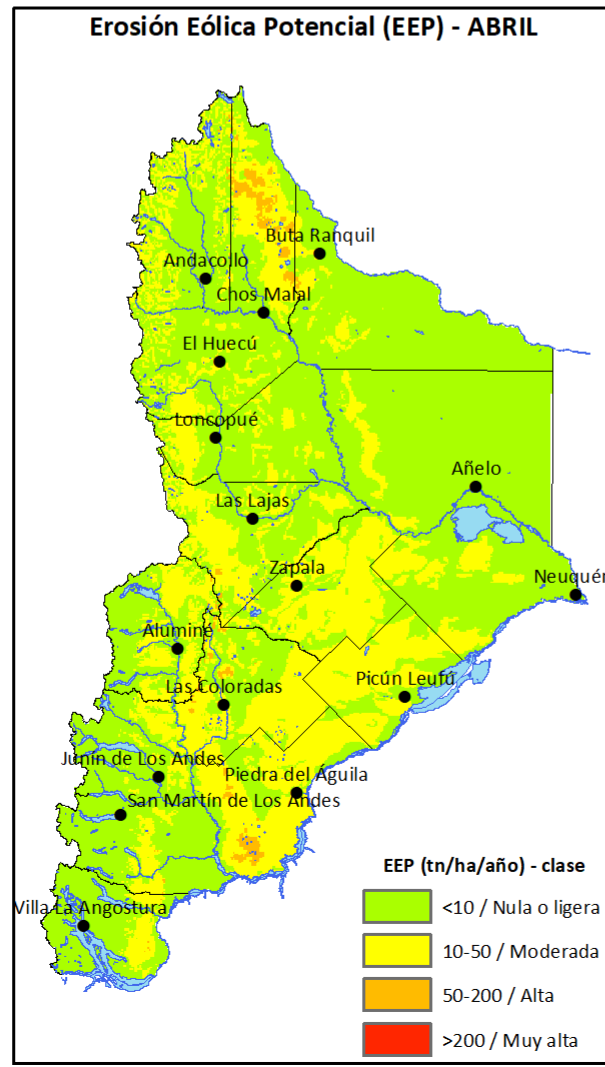
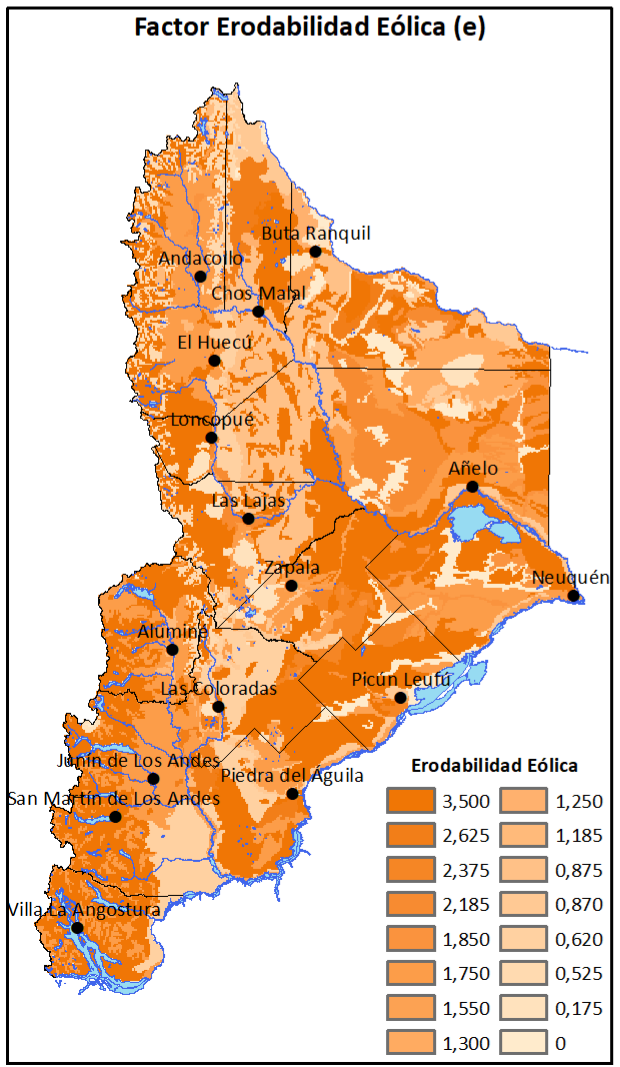
Maestrando: Bocci, Hugo R.
Director: Dufilho, Ana C.
Co-Director: Irisarri, Jorge A.

Fecha: Junio 2022



Erosión Eólica Potencial (EEP) =
 $c \times e$

Erosión Eólica Actual (EEA) =
 $c \times e \times u$



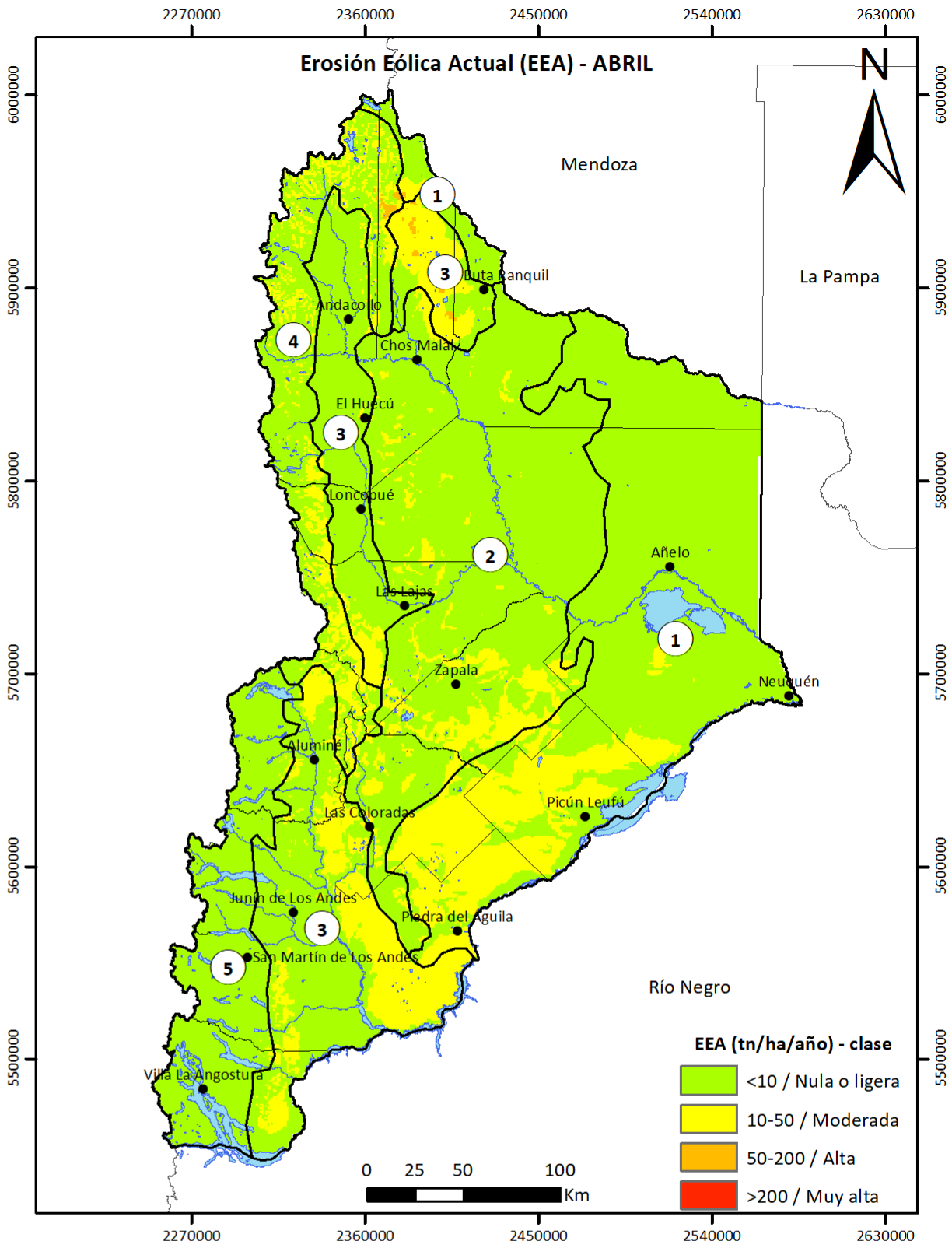
- ### Referencias
- + Estaciones Meteorológicas
 - Localidades
 - Ríos y Lagos
 - Departamentos
- ### Regiones y Subregiones Naturales
- 1) Árida mesetiforme
 - 2) Árida serrana
 - 3) Subhúmeda de planicies, colinas y serranías
 - 4) Andina subhúmeda montañosa
 - 5) Andina húmeda montañosa

Factor c - Obtenido a partir de la forma modificada por la F.A.O. (1979) del índice de erodabilidad eólica de Chepil et al. (1962).

Factor e - Generado a partir de los "grupos de erodabilidad eólica" definidos por Lyles (1975, 1977) y Kimberlin et al. (1977).

Factor u - Producido a partir de productos ráster del sitio web del Programa Copérnico, específicamente los de FCover (v2.0).

Sistema de coordenadas: POSGAR 1994 Arg. Zone 2
Proyección: Transverse Mercator
Datum: WGS1984
Unidad: Metros



Maestría en Intervención Ambiental con Orientación en Ingeniería Ambiental
Facultad de Ingeniería (FAIN)
Universidad Nacional del Comahue (UNComa)

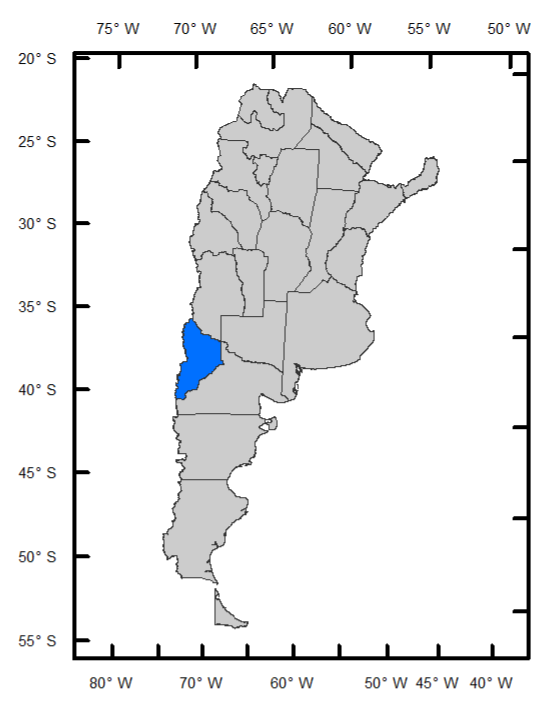
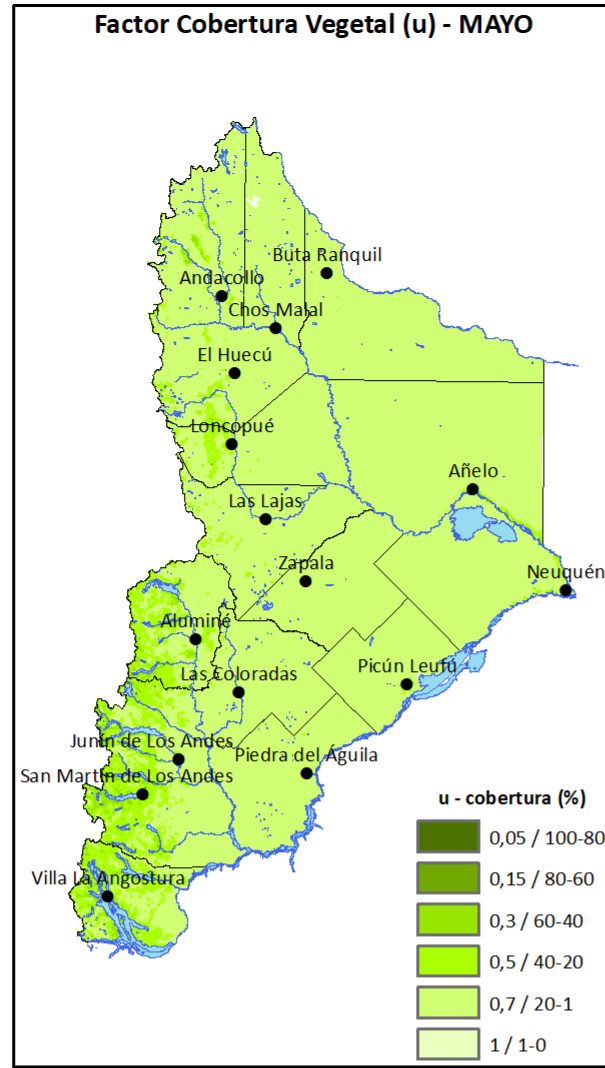
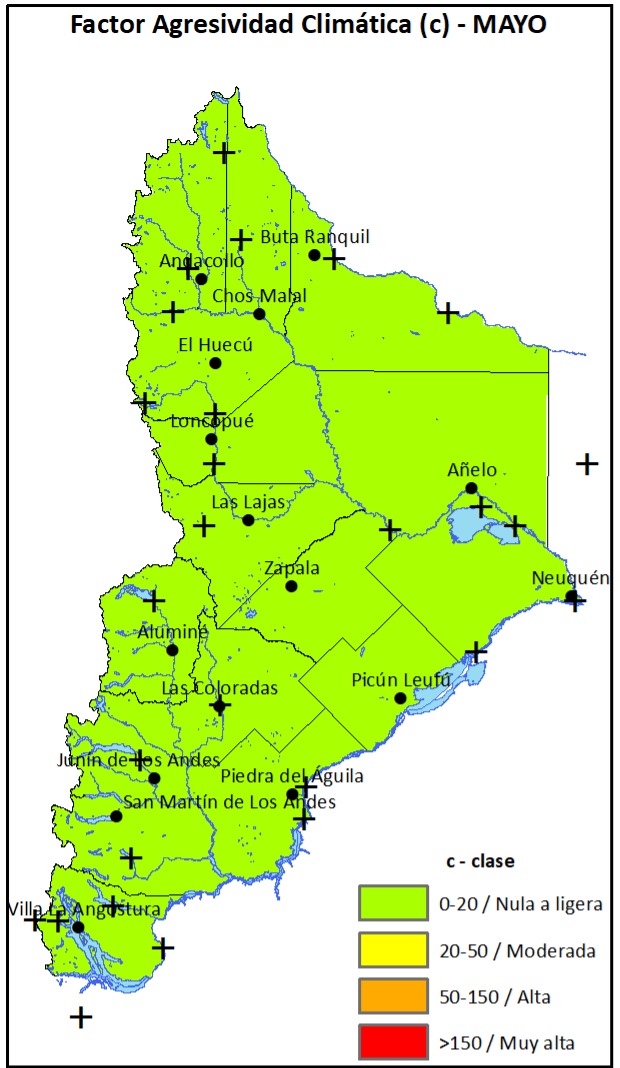


Tesis para optar por el título de Magíster en Intervención Ambiental: Estimación de la Erosión Eólica Actual y Potencial de los Suelos de la Provincia de Neuquén utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG - GIS)

Erosión Eólica Actual - ABRIL

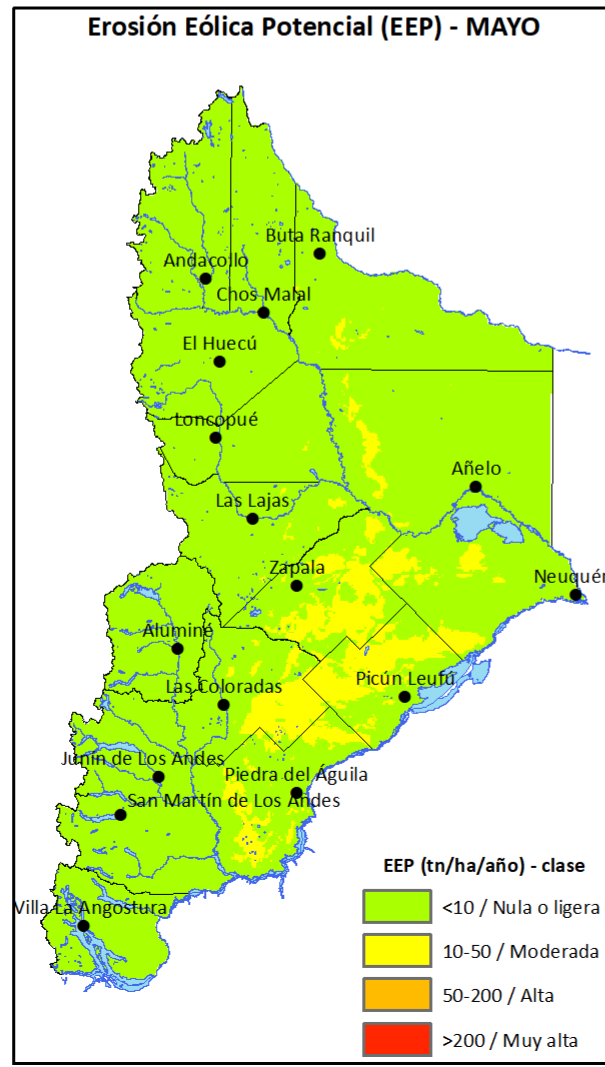
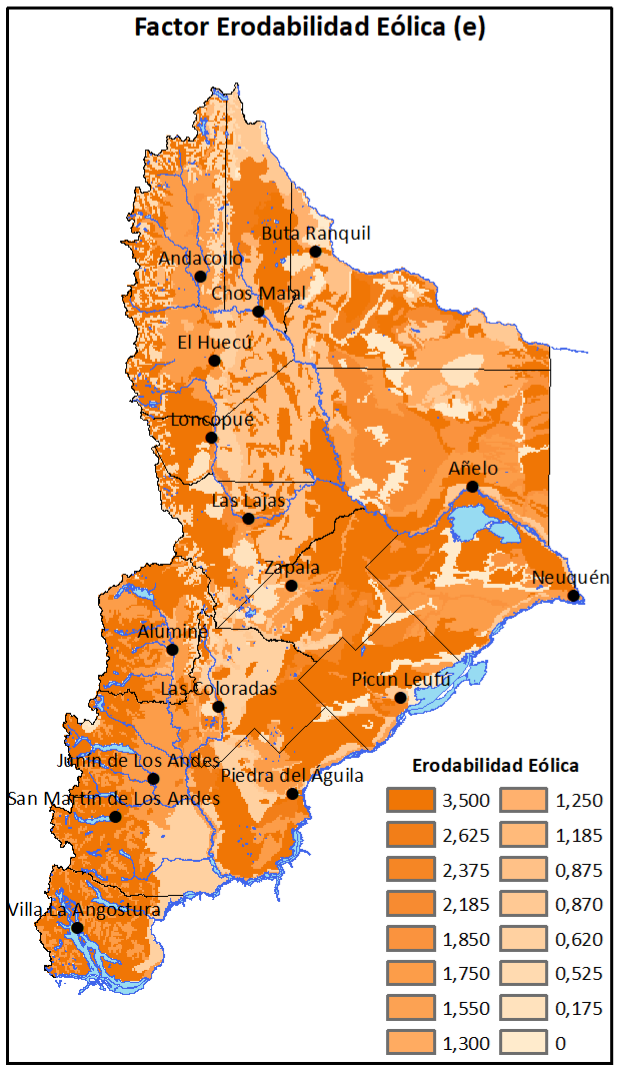
Maestrando: Bocci, Hugo R.
Director: Dufilho, Ana C.
Co-Director: Irisarri, Jorge A.

Fecha: Junio 2022



Erosión Eólica Potencial (EEP) = $c \times e$

Erosión Eólica Actual (EEA) = $c \times e \times u$



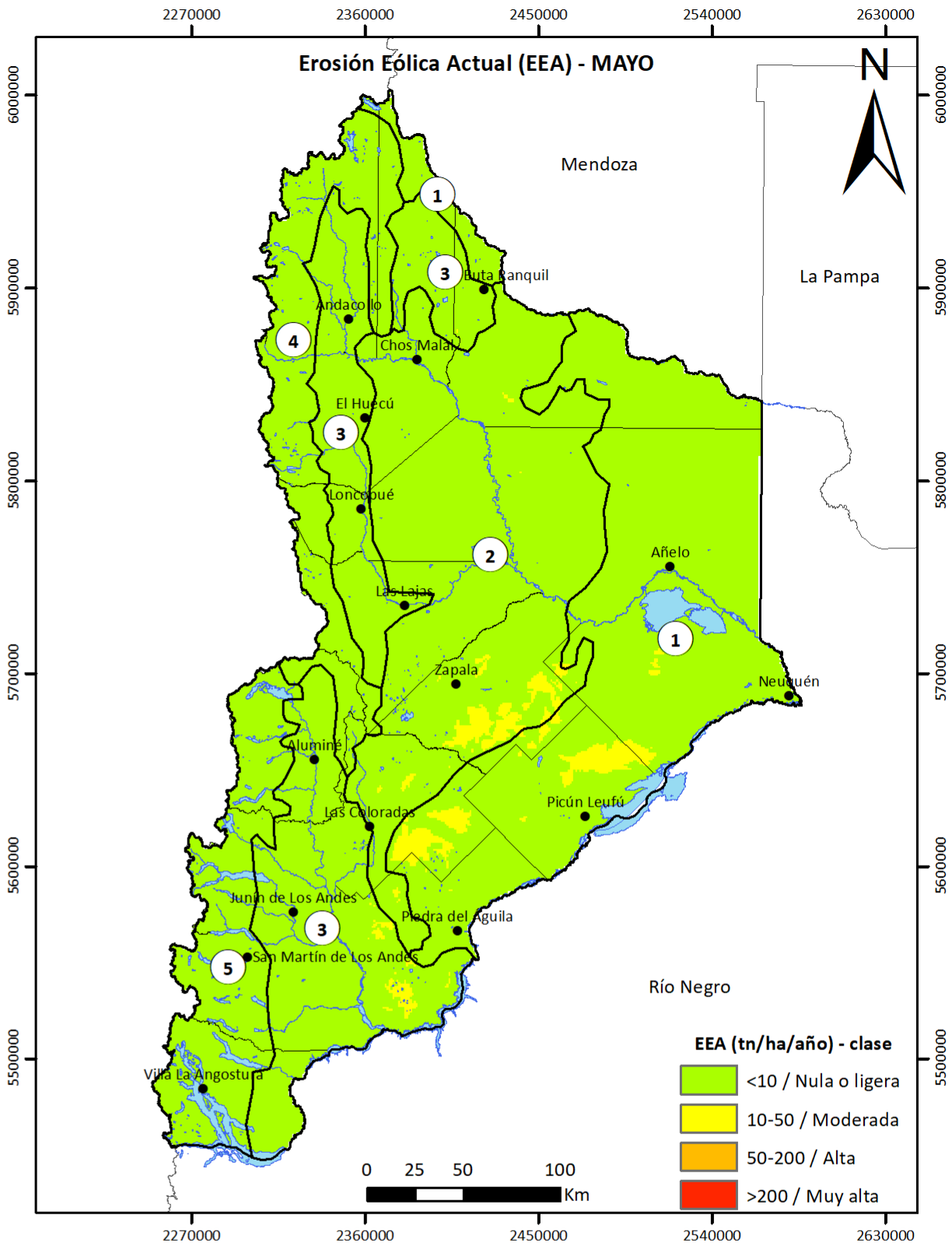
- ### Referencias
- + Estaciones Meteorológicas
 - Localidades
 - Ríos y Lagos
 - Departamentos
- ### Regiones y Subregiones Naturales
- 1) Árida mesetiforme
 - 2) Árida serrana
 - 3) Subhúmeda de planicies, colinas y serranías
 - 4) Andina subhúmeda montañosa
 - 5) Andina húmeda montañosa

Factor c - Obtenido a partir de la forma modificada por la F.A.O. (1979) del índice de erodabilidad eólica de Chepil et al. (1962).

Factor e - Generado a partir de los "grupos de erodabilidad eólica" definidos por Lyles (1975, 1977) y Kimberlin et al. (1977).

Factor u - Producido a partir de productos ráster del sitio web del Programa Copérnico, específicamente los de FCover (v2.0).

Sistema de coordenadas: POSGAR 1994 Arg. Zone 2
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS1984
 Unidad: Metros



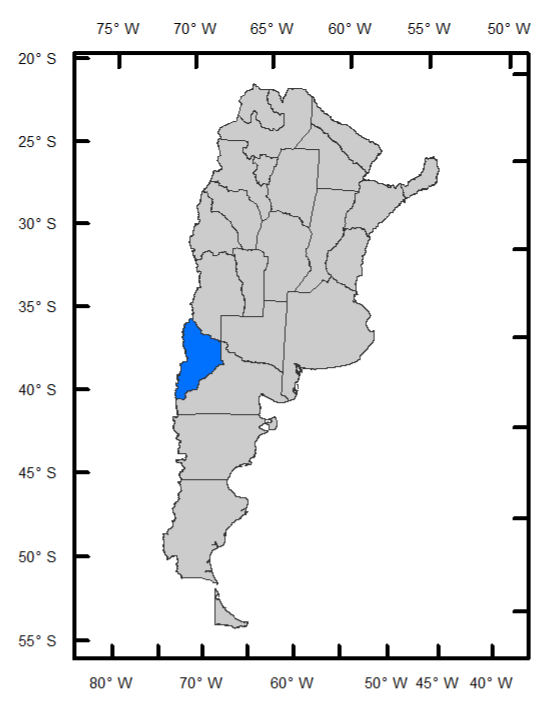
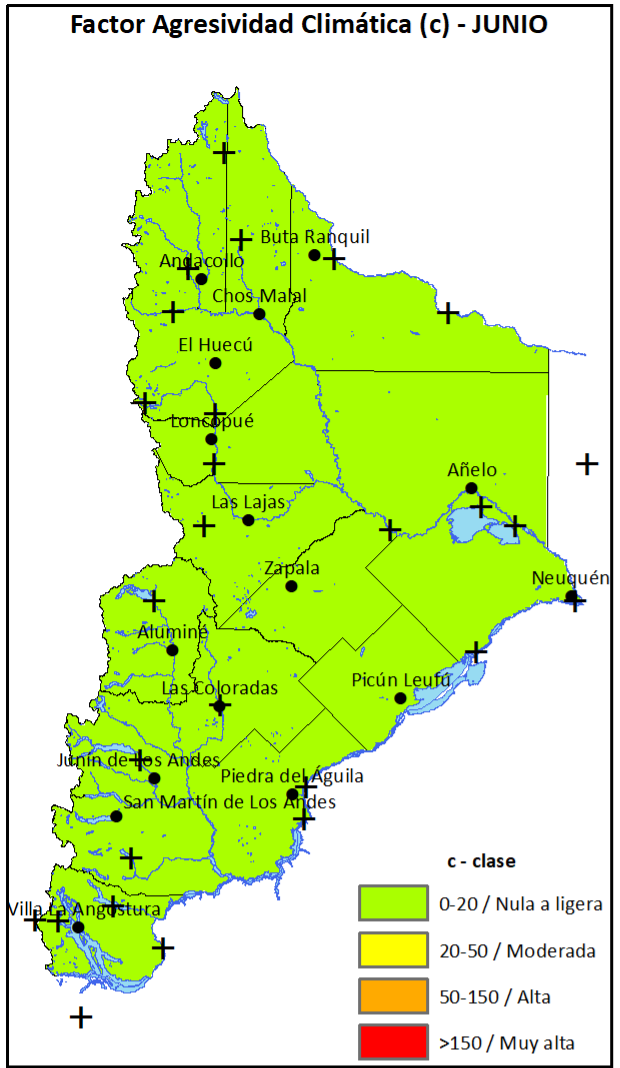
Maestría en Intervención Ambiental con Orientación en Ingeniería Ambiental
Facultad de Ingeniería (FAIN)
Universidad Nacional del Comahue (UNComa)

Tesis para optar por el título de Magíster en Intervención Ambiental: Estimación de la Erosión Eólica Actual y Potencial de los Suelos de la Provincia de Neuquén utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG - GIS)

Erosión Eólica Actual - MAYO

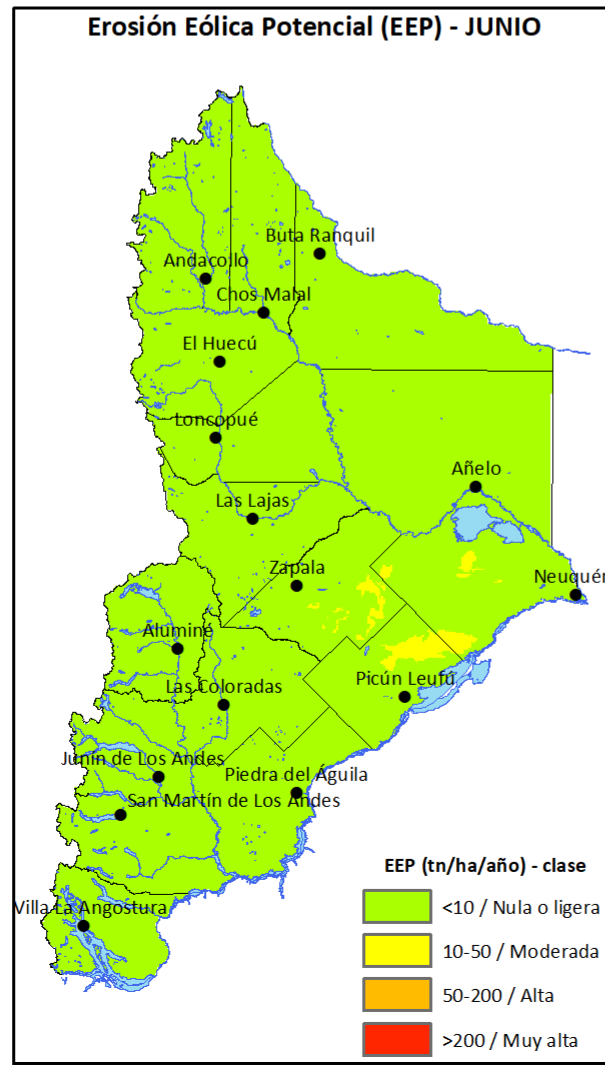
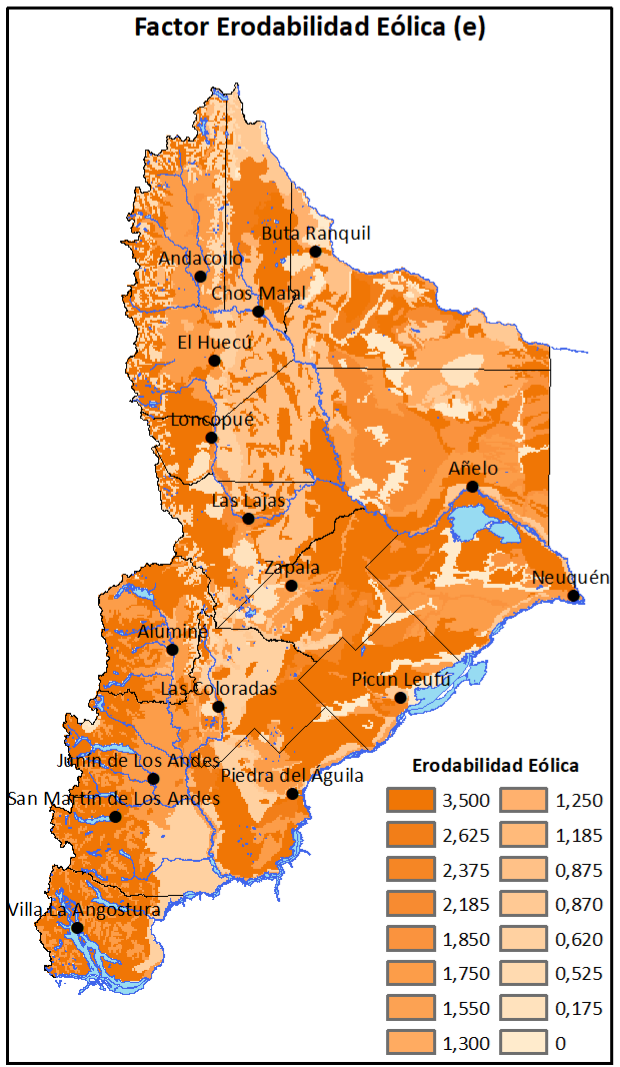
Maestrando: Bocci, Hugo R.
Director: Dufilho, Ana C.
Co-Director: Irisarri, Jorge A.

Fecha: Junio 2022



Erosión Eólica Potencial (EEP) = $c \times e$

Erosión Eólica Actual (EEA) = $c \times e \times u$



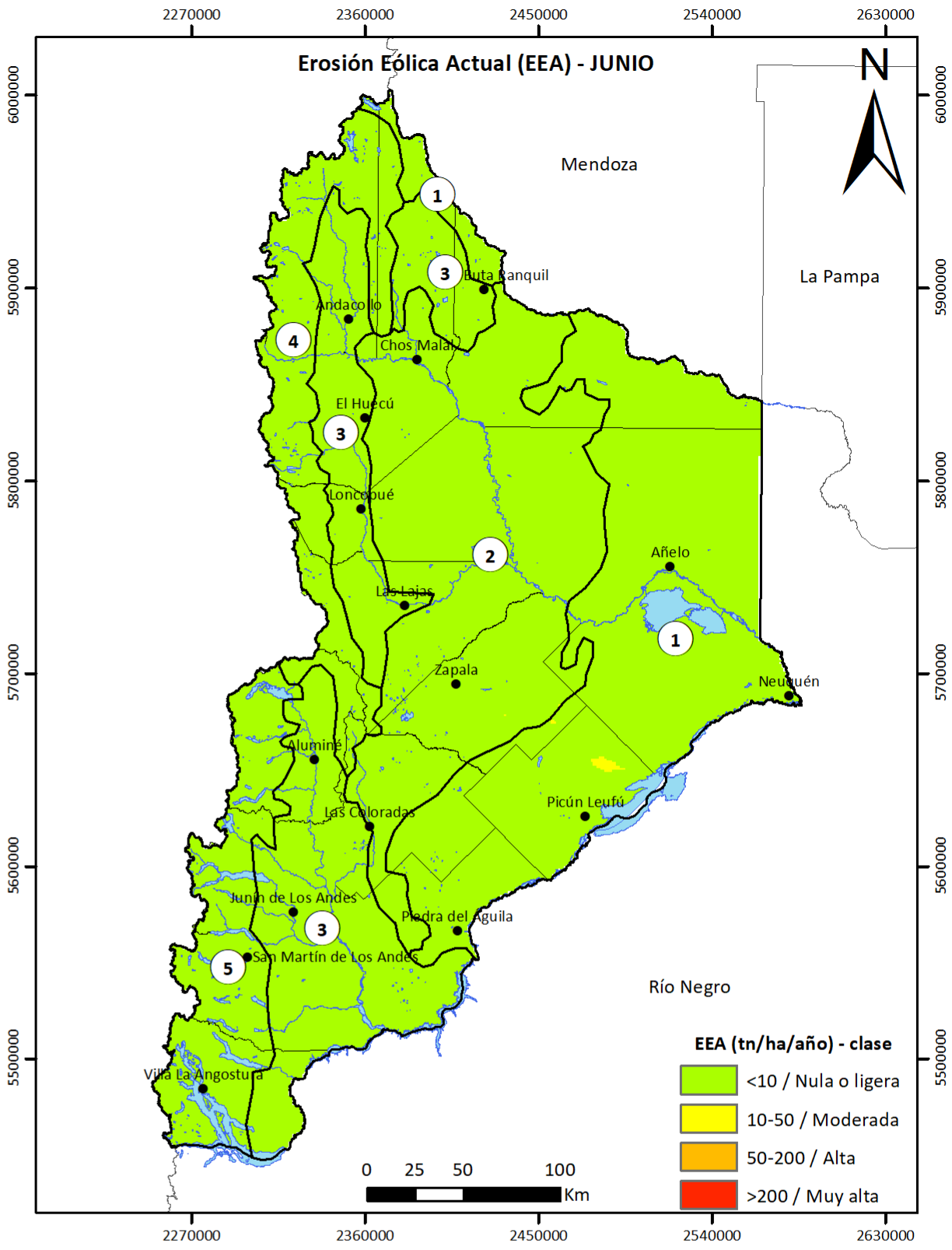
- ### Referencias
- + Estaciones Meteorológicas
 - Localidades
 - Ríos y Lagos
 - Departamentos
- ### Regiones y Subregiones Naturales
- 1) Árida Mesetiforme
 - 2) Árida Serrana
 - 3) Subhúmeda de Planicies Colinas y Serranías
 - 4) Andina Subhúmeda Montañosa
 - 5) Andina Húmeda Montañosa

Factor c - Obtenido a partir de la forma modificada por la F.A.O. (1979) del índice de erodabilidad eólica de Chepil et al. (1962).

Factor e - Generado a partir de los "grupos de erodabilidad eólica" definidos por Lyles (1975, 1977) y Kimberlin et al. (1977).

Factor u - Producido a partir de productos ráster del sitio web del Programa Copérnico, específicamente los de FCover (v2.0).

Sistema de coordenadas: POSGAR 1994 Arg. Zone 2
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS1984
 Unidad: Metros



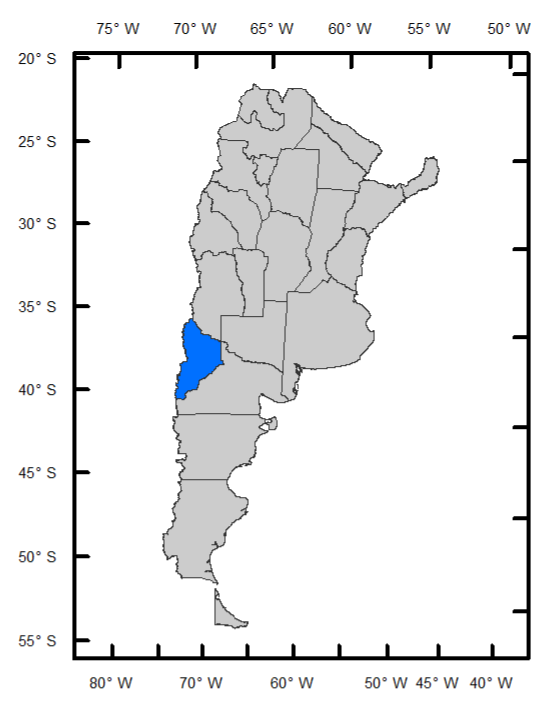
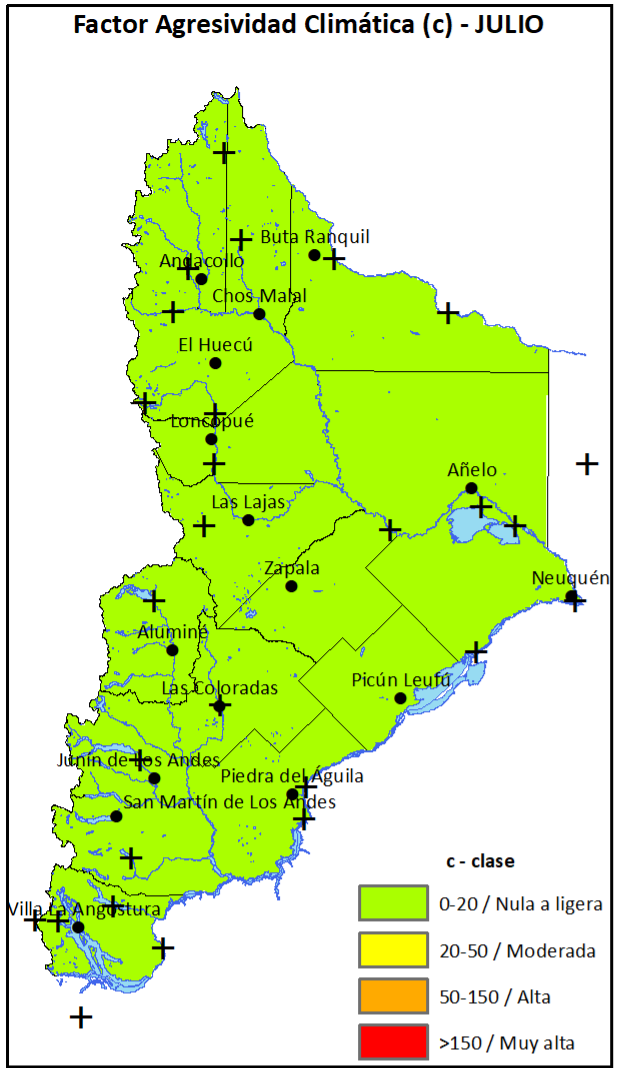
Maestría en Intervención Ambiental con Orientación en Ingeniería Ambiental
 Facultad de Ingeniería (FAIN)
 Universidad Nacional del Comahue (UNComa)

Tesis para optar por el título de Magíster en Intervención Ambiental: Estimación de la Erosión Eólica Actual y Potencial de los Suelos de la Provincia de Neuquén utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG - GIS)

Erosión Eólica Actual - JUNIO

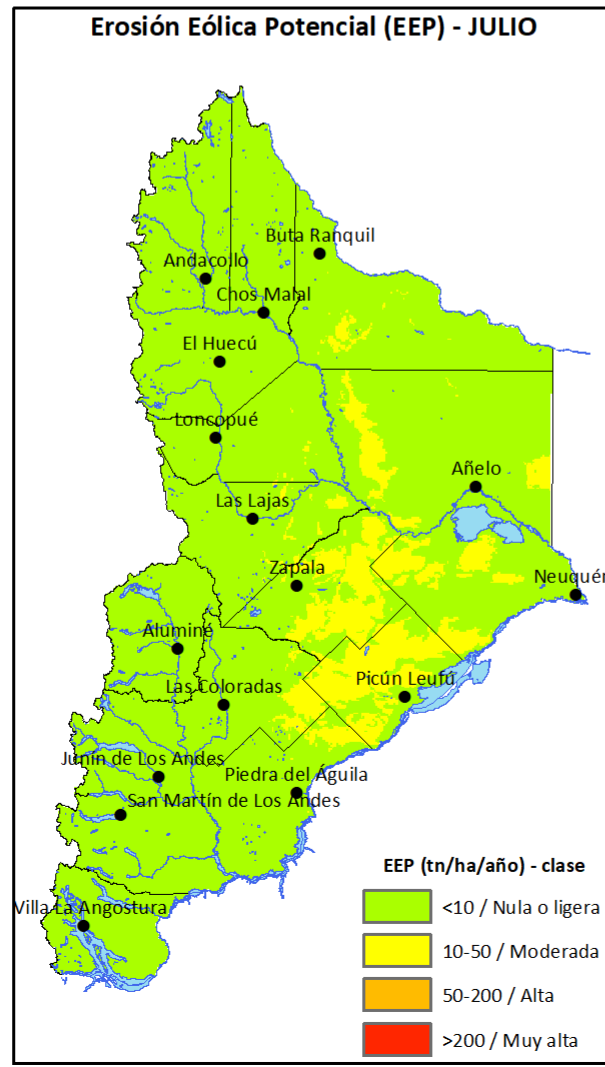
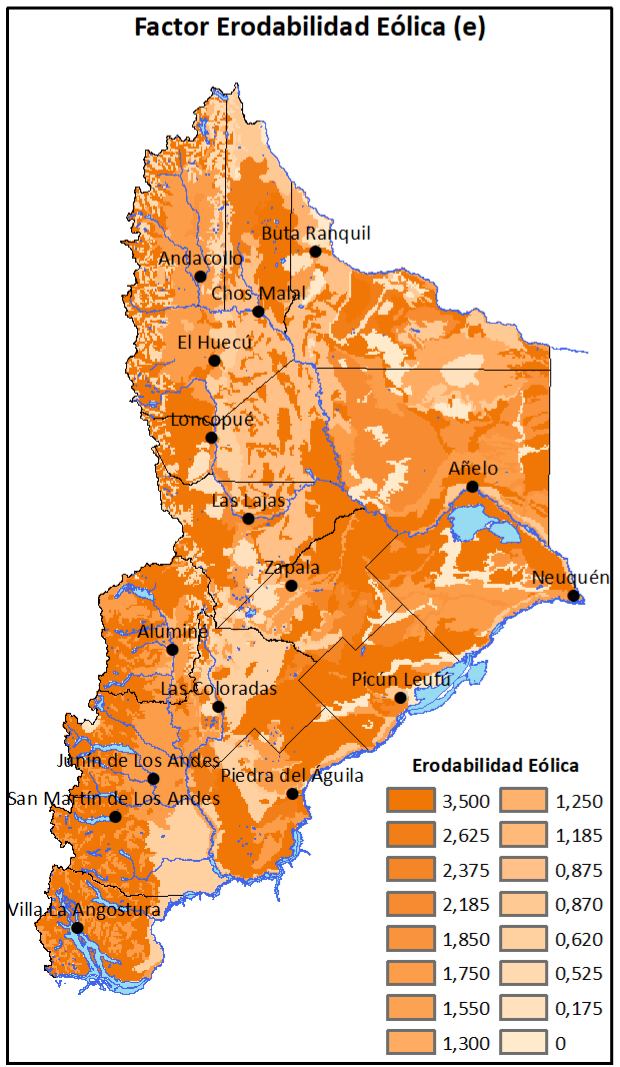
Maestrando: Bocci, Hugo R.
 Director: Dufilho, Ana C.
 Co-Director: Irisarri, Jorge A.

Fecha: Junio 2022



Erosión Eólica Potencial (EEP) =
 $c \times e$

Erosión Eólica Actual (EEA) =
 $c \times e \times u$



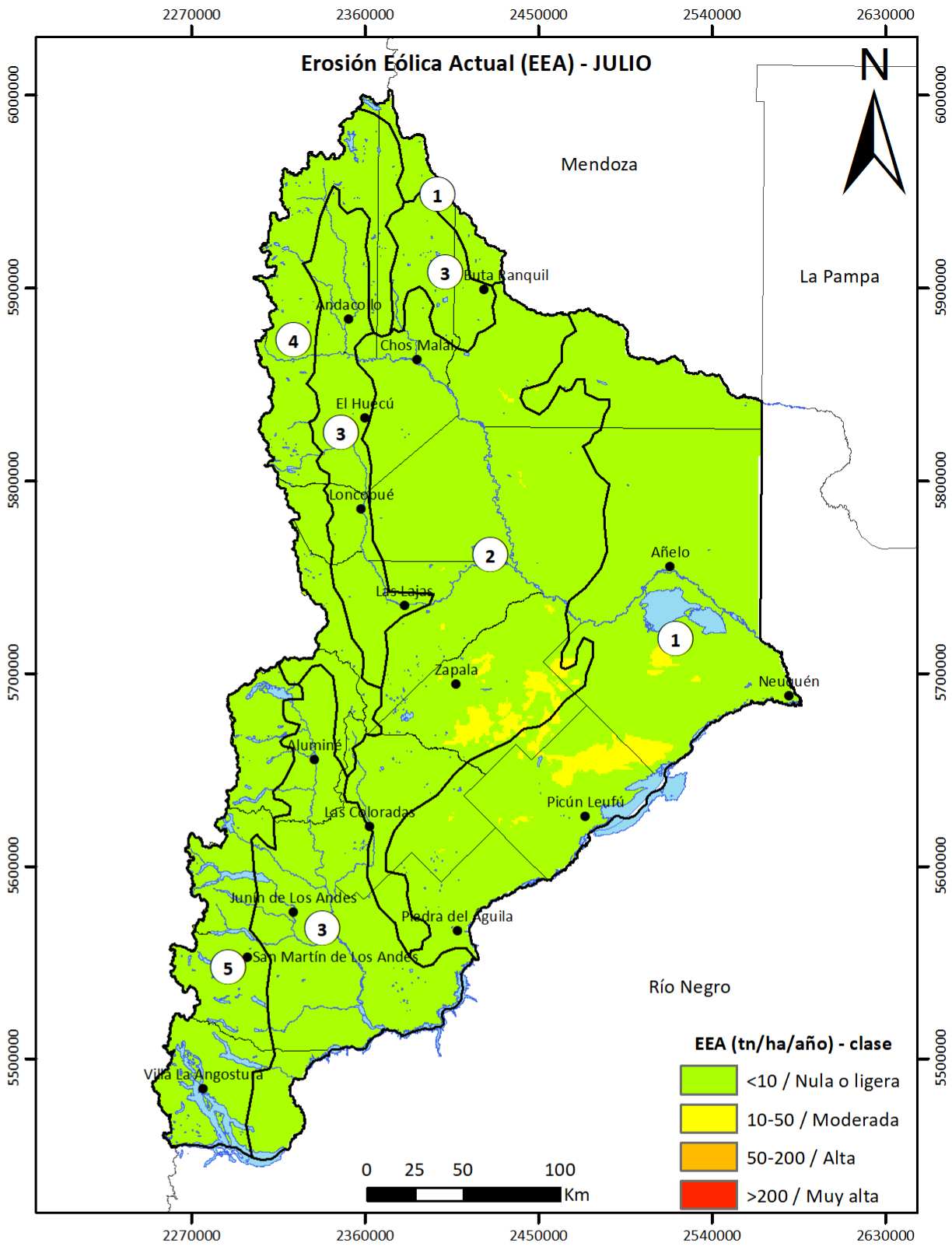
- ### Referencias
- + Estaciones Meteorológicas
 - Localidades
 - Ríos y Lagos
 - Departamentos
- ### Regiones y Subregiones Naturales
- 1) Árida mesetiforme
 - 2) Árida serrana
 - 3) Subhúmeda de planicies, colinas y serranías
 - 4) Andina subhúmeda montañosa
 - 5) Andina húmeda montañosa

Factor c - Obtenido a partir de la forma modificada por la F.A.O. (1979) del índice de erodabilidad eólica de Chepil et al. (1962).

Factor e - Generado a partir de los "grupos de erodabilidad eólica" definidos por Lyles (1975, 1977) y Kimberlin et al. (1977).

Factor u - Producido a partir de productos ráster del sitio web del Programa Copérnico, específicamente los de FCover (v2.0).

Sistema de coordenadas: POSGAR 1994 Arg. Zone 2
Proyección: Transverse Mercator
Datum: WGS1984
Unidad: Metros



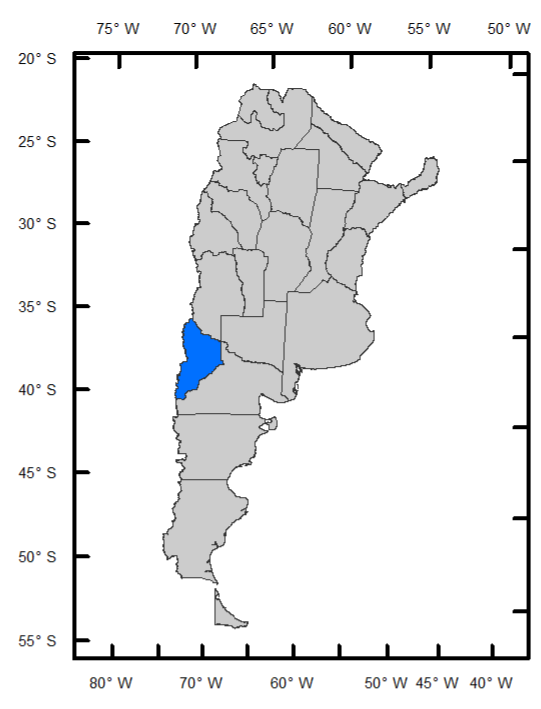
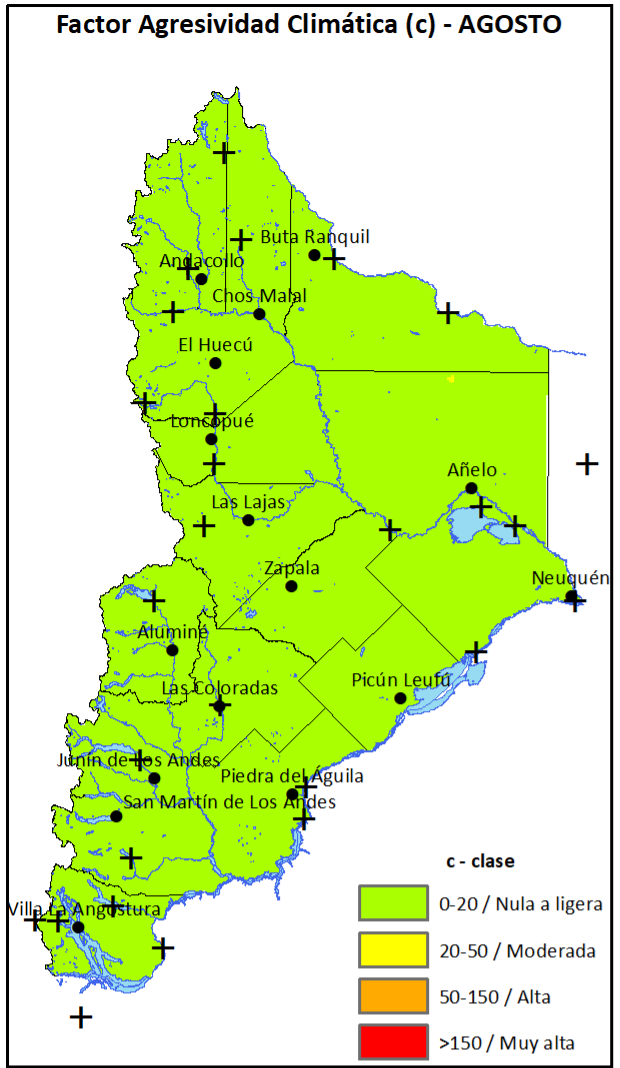
Maestría en Intervención Ambiental con Orientación en Ingeniería Ambiental
Facultad de Ingeniería (FAIN)
Universidad Nacional del Comahue (UNComa)

Tesis para optar por el título de Magíster en Intervención Ambiental: Estimación de la Erosión Eólica Actual y Potencial de los Suelos de la Provincia de Neuquén utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG - GIS)

Erosión Eólica Actual - JULIO

Maestrando: Bocci, Hugo R.
Director: Dufilho, Ana C.
Co-Director: Irisarri, Jorge A.

Fecha: Junio 2022



Erosión Eólica Potencial (EEP) =
 $c \times e$

Erosión Eólica Actual (EEA) =
 $c \times e \times u$

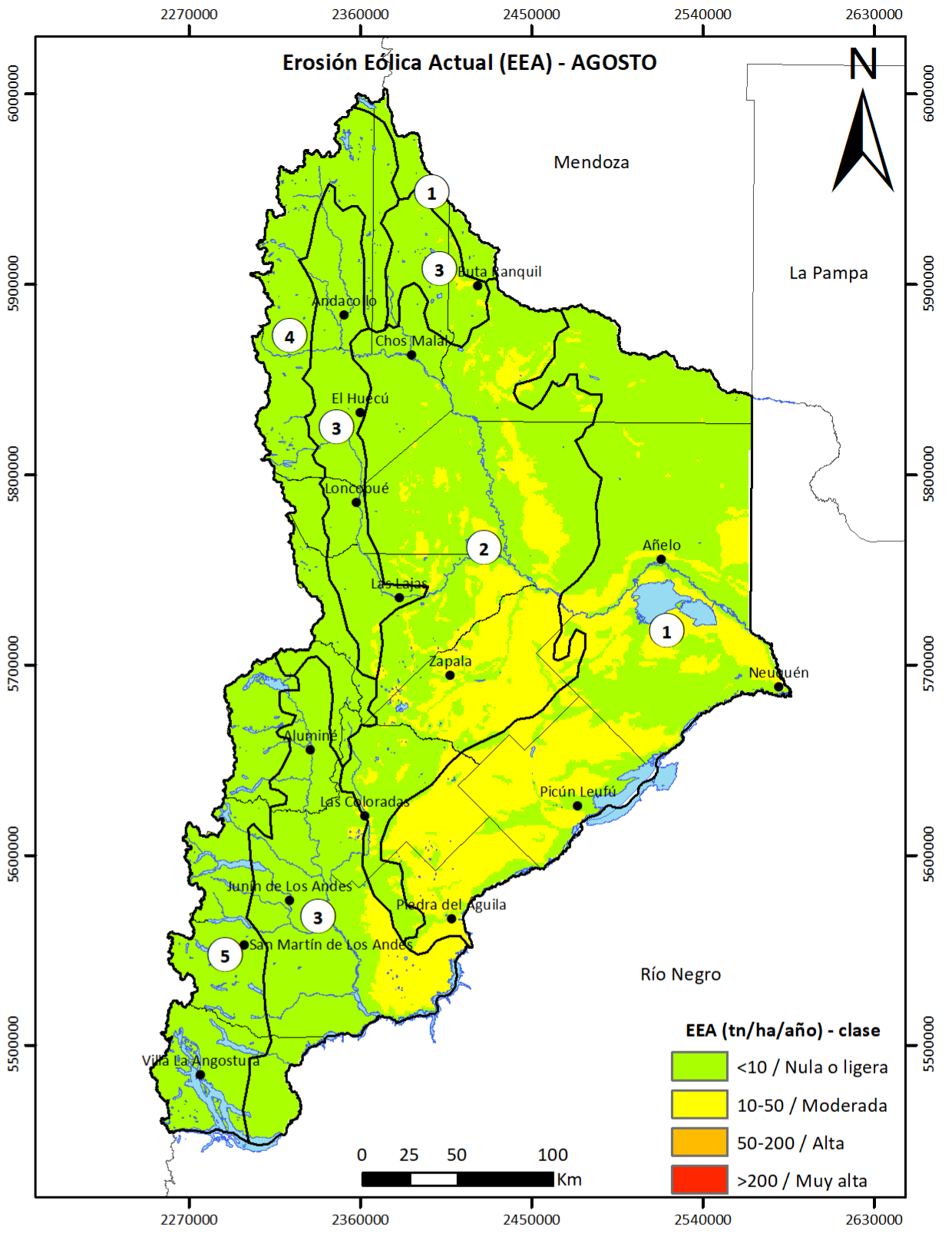
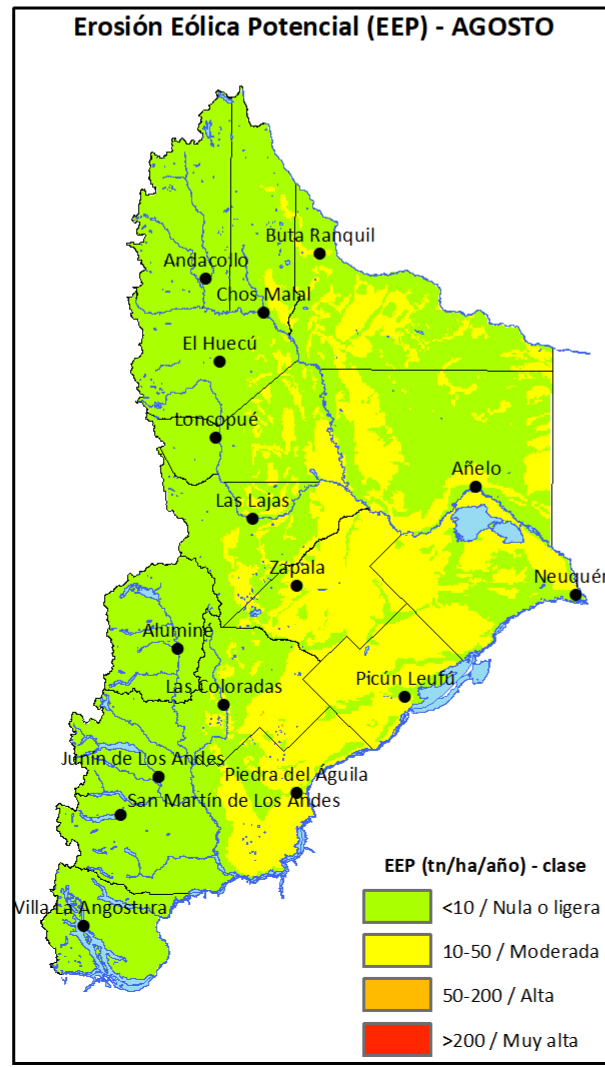
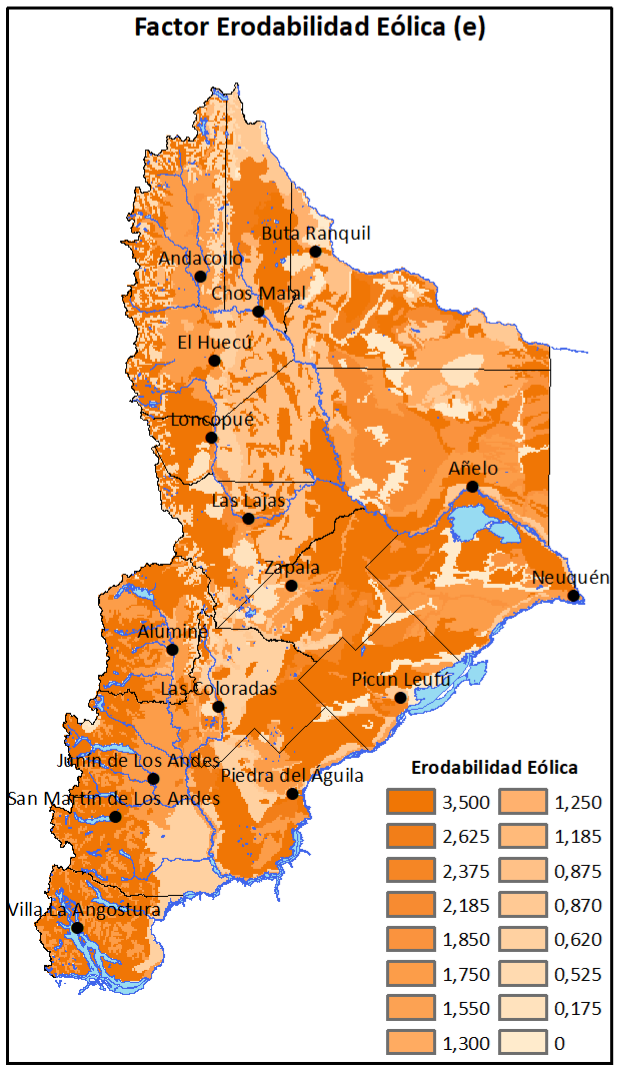
- #### Referencias
- + Estaciones Meteorológicas
 - Localidades
 - Ríos y Lagos
 - Departamentos
- #### Regiones y Subregiones Naturales
- 1) Árida mesetiforme
 - 2) Árida serrana
 - 3) Subhúmeda de planicies, colinas y serranías
 - 4) Andina subhúmeda montañosa
 - 5) Andina húmeda montañosa

Factor c - Obtenido a partir de la forma modificada por la F.A.O. (1979) del índice de erodabilidad eólica de Chepil et al. (1962).

Factor e - Generado a partir de los "grupos de erodabilidad eólica" definidos por Lyles (1975, 1977) y Kimberlin et al. (1977).

Factor u - Producido a partir de productos ráster del sitio web del Programa Copérnico, específicamente los de FCover (v2.0).

Sistema de coordenadas: POSGAR 1994 Arg. Zone 2
Proyección: Transverse Mercator
Datum: WGS1984
Unidad: Metros



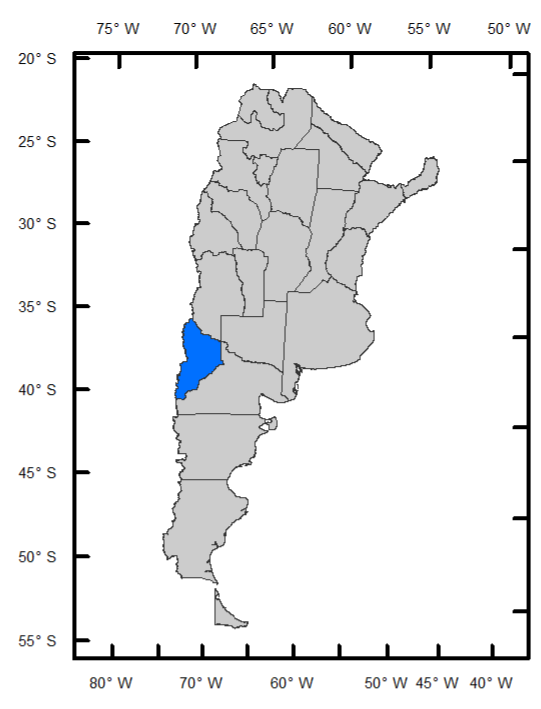
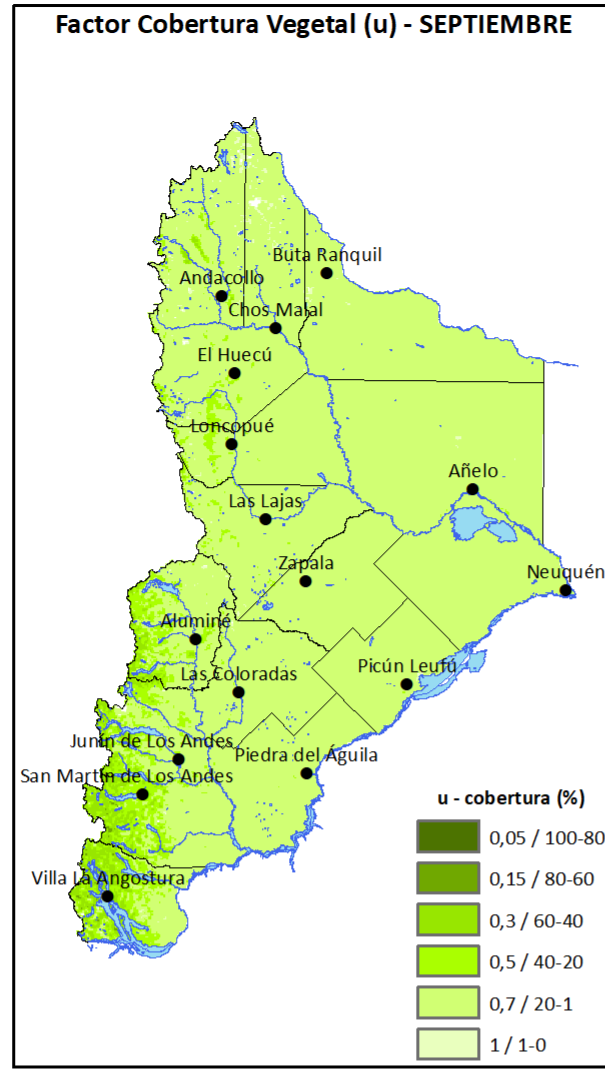
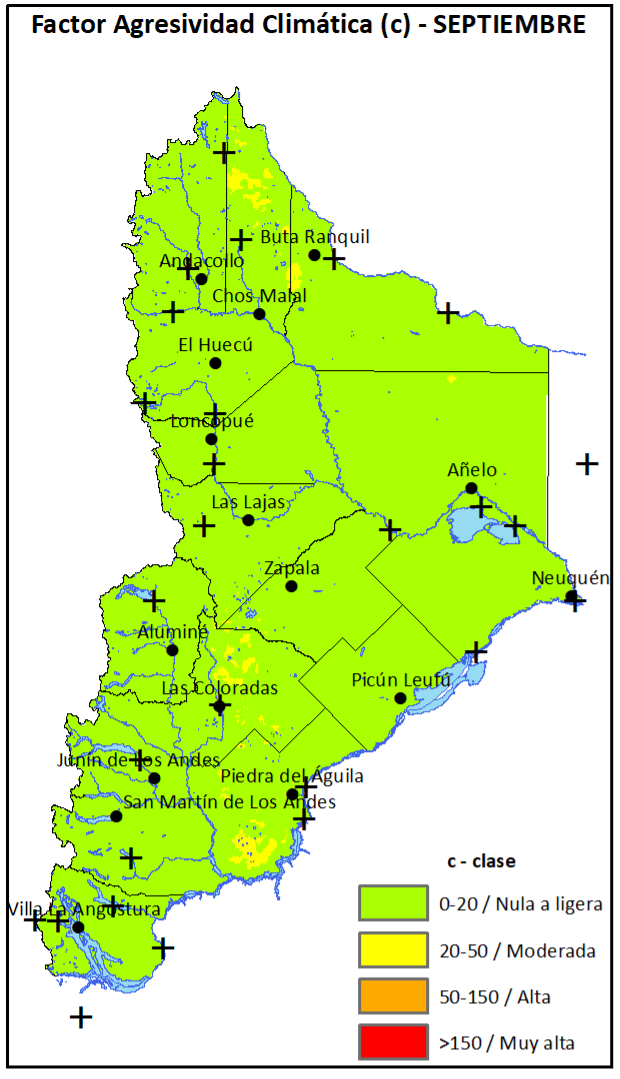
Maestría en Intervención Ambiental con Orientación en Ingeniería Ambiental
Facultad de Ingeniería (FAIN)
Universidad Nacional del Comahue (UNComa)

Tesis para optar por el título de Magíster en Intervención Ambiental: Estimación de la Erosión Eólica Actual y Potencial de los Suelos de la Provincia de Neuquén utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG - GIS)

Erosión Eólica Actual - AGOSTO

Maestrando: Bocci, Hugo R.
Director: Dufilho, Ana C.
Co-Director: Irisarri, Jorge A.

Fecha: Junio 2022



Erosión Eólica Potencial (EEP) = $c \times e$

Erosión Eólica Actual (EEA) = $c \times e \times u$

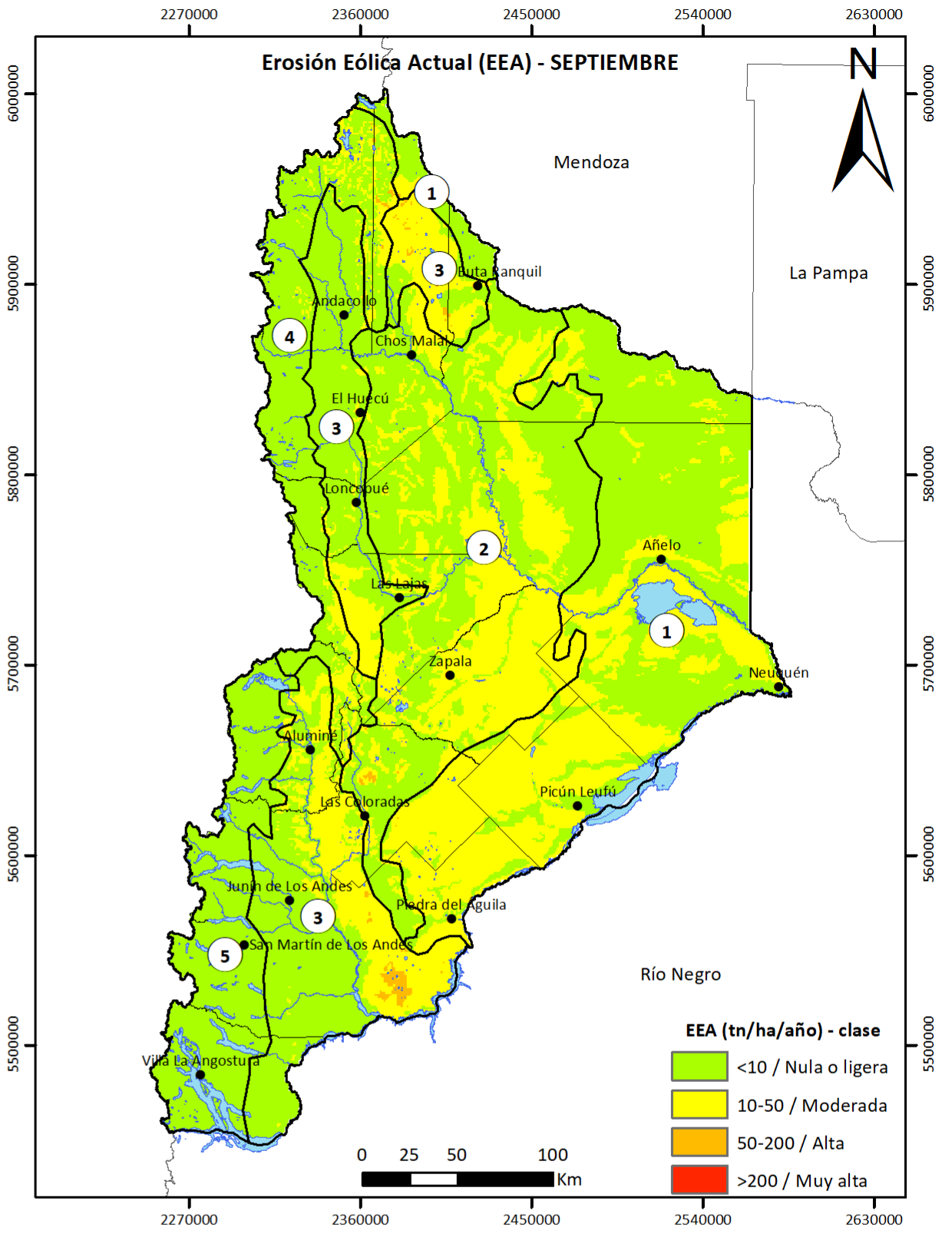
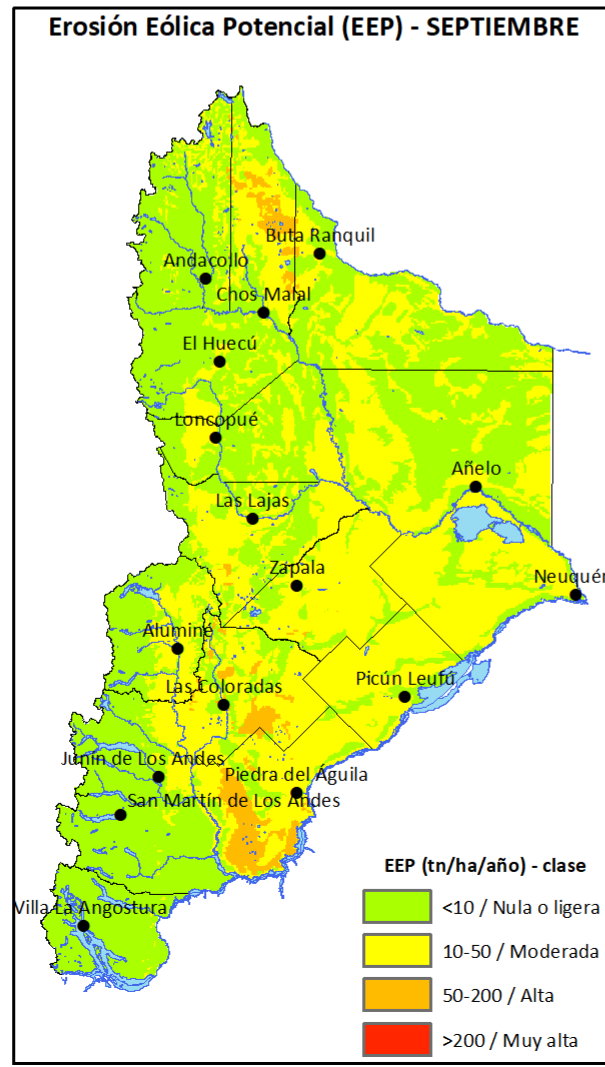
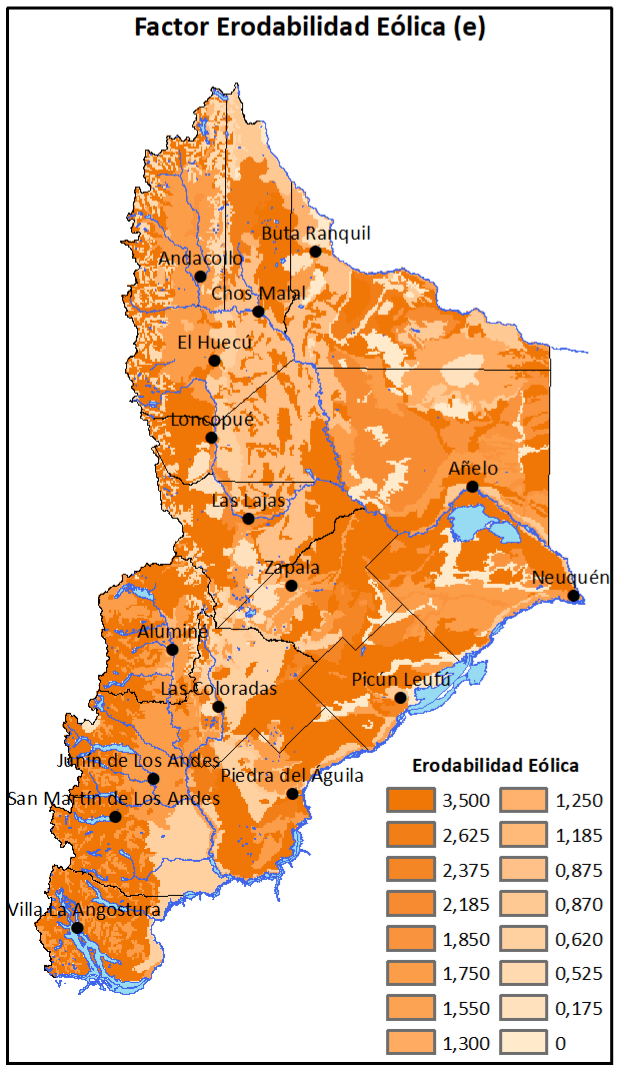
- #### Referencias
- + Estaciones Meteorológicas
 - Localidades
 - Ríos y Lagos
 - Departamentos
- Regiones y Subregiones Naturales**
- ① Árida mesetiforme
 - ② Árida serrana
 - ③ Subhúmeda de planicies, colinas y serranías
 - ④ Andina subhúmeda montañosa
 - ⑤ Andina húmeda montañosa

Factor c - Obtenido a partir de la forma modificada por la F.A.O. (1979) del índice de erodabilidad eólica de Chepil et al. (1962).

Factor e - Generado a partir de los "grupos de erodabilidad eólica" definidos por Lyles (1975, 1977) y Kimberlin et al. (1977).

Factor u - Producido a partir de productos ráster del sitio web del Programa Copérnico, específicamente los de FCover (v2.0).

Sistema de coordenadas: POSGAR 1994 Arg. Zone 2
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS1984
 Unidad: Metros



Maestría en Intervención Ambiental con Orientación en Ingeniería Ambiental
 Facultad de Ingeniería (FAIN)
 Universidad Nacional del Comahue (UNComa)

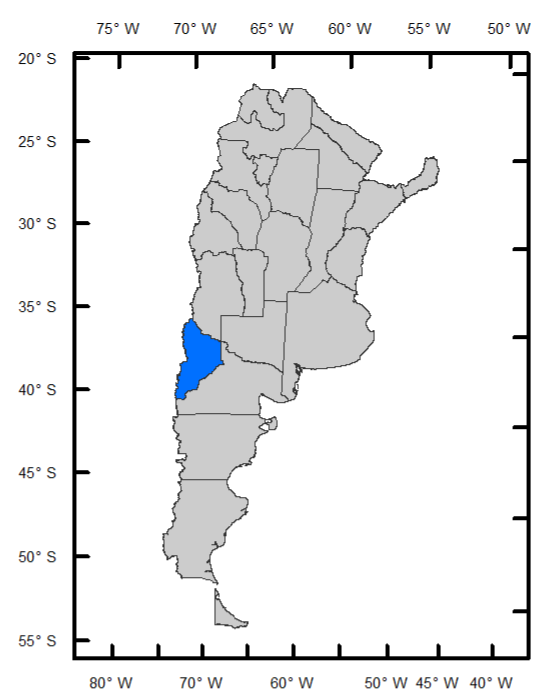
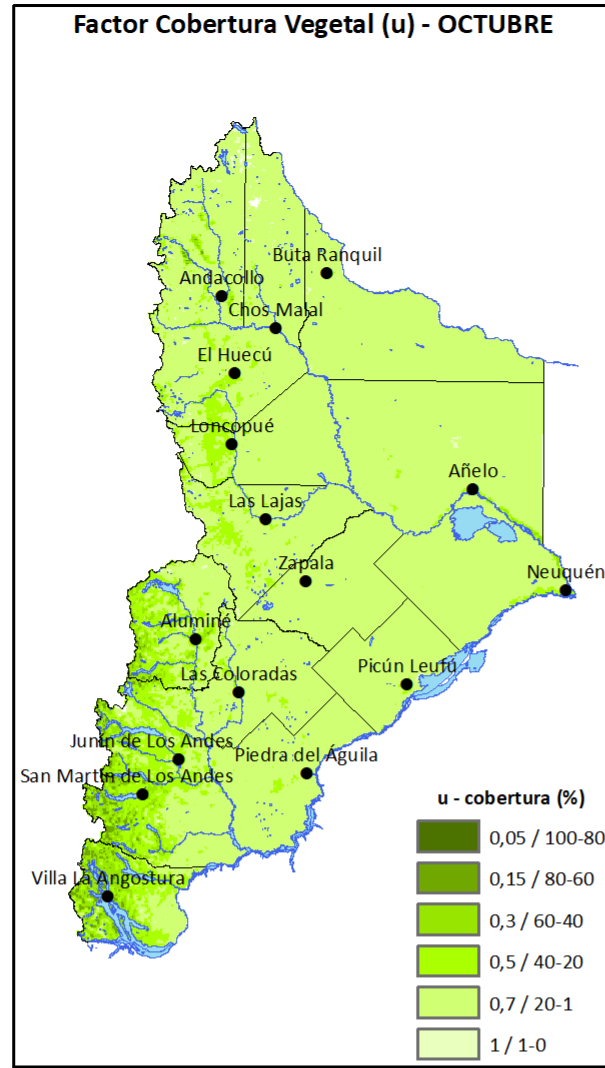
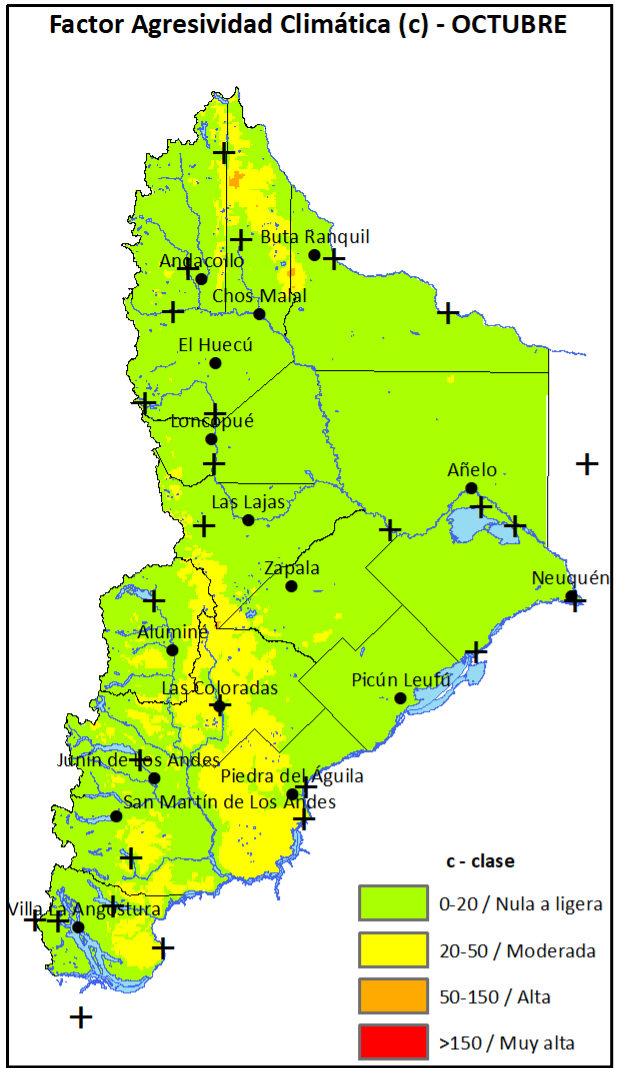


Tesis para optar por el título de Magíster en Intervención Ambiental: Estimación de la Erosión Eólica Actual y Potencial de los Suelos de la Provincia de Neuquén utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG - GIS)

Erosión Eólica Actual - SEPTIEMBRE

Maestrando: Bocci, Hugo R.
 Director: Dufilho, Ana C.
 Co-Director: Irisarri, Jorge A.

Fecha: Junio 2022



Erosión Eólica Potencial (EEP) =
 $c \times e$

Erosión Eólica Actual (EEA) =
 $c \times e \times u$

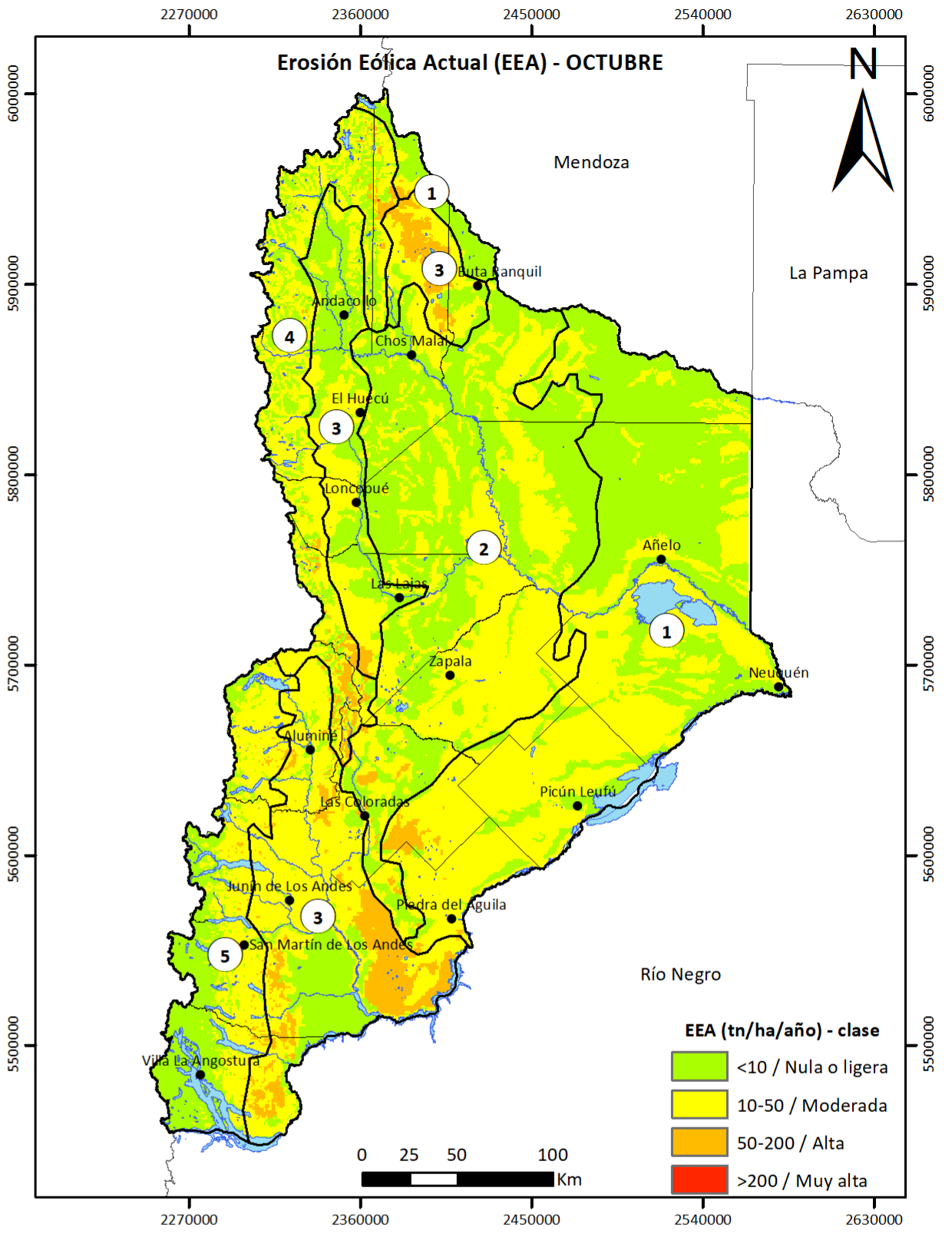
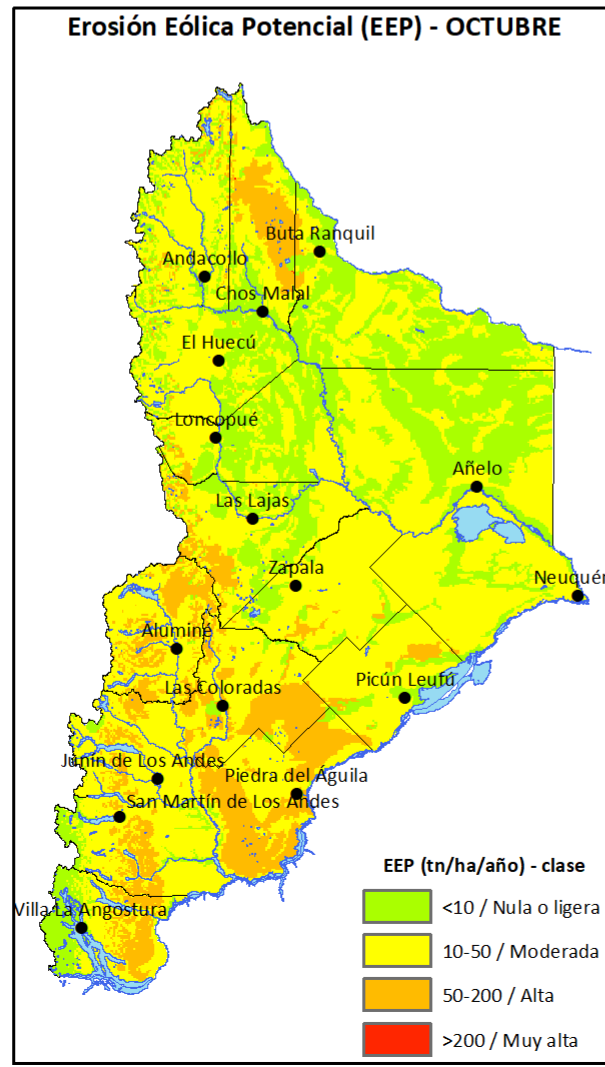
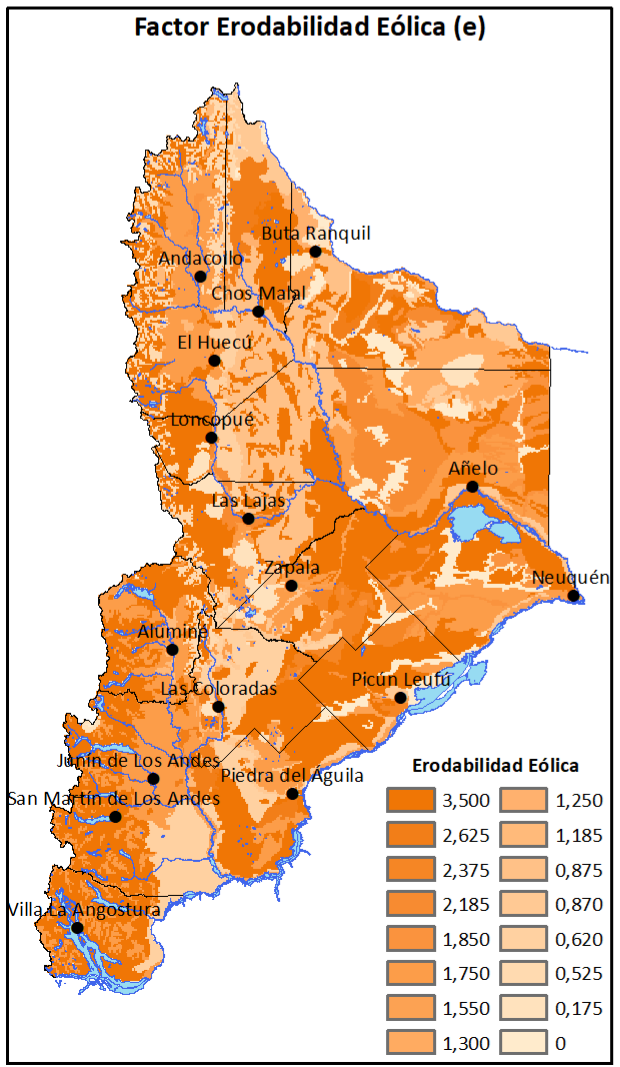
- ### Referencias
- + Estaciones Meteorológicas
 - Localidades
 - Ríos y Lagos
 - Departamentos
- Regiones y Subregiones Naturales**
- ① Árida mesetiforme
 - ② Árida serrana
 - ③ Subhúmeda de planicies, colinas y serranías
 - ④ Andina subhúmeda montañosa
 - ⑤ Andina húmeda montañosa

Factor c - Obtenido a partir de la forma modificada por la F.A.O. (1979) del índice de erodabilidad eólica de Chepil et al. (1962).

Factor e - Generado a partir de los "grupos de erodabilidad eólica" definidos por Lyles (1975, 1977) y Kimberlin et al. (1977).

Factor u - Producido a partir de productos ráster del sitio web del Programa Copérnico, específicamente los de FCover (v2.0).

Sistema de coordenadas: POSGAR 1994 Arg. Zone 2
Proyección: Transverse Mercator
Datum: WGS1984
Unidad: Metros



Maestría en Intervención Ambiental con Orientación en Ingeniería Ambiental
Facultad de Ingeniería (FAIN)
Universidad Nacional del Comahue (UNComa)

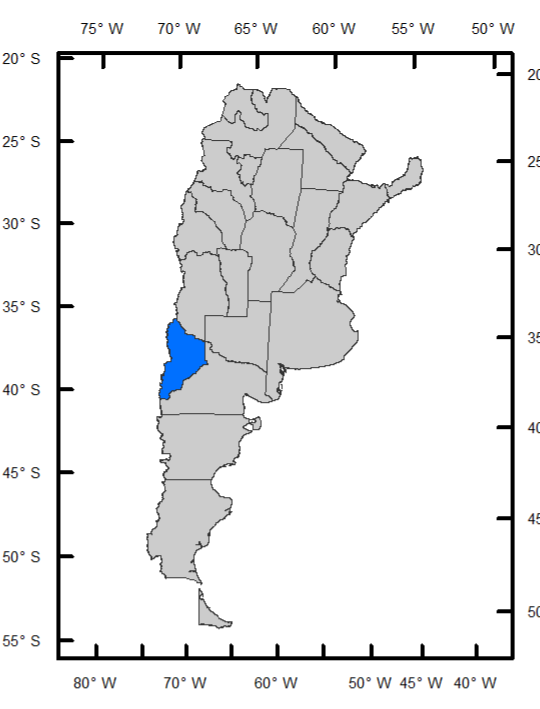
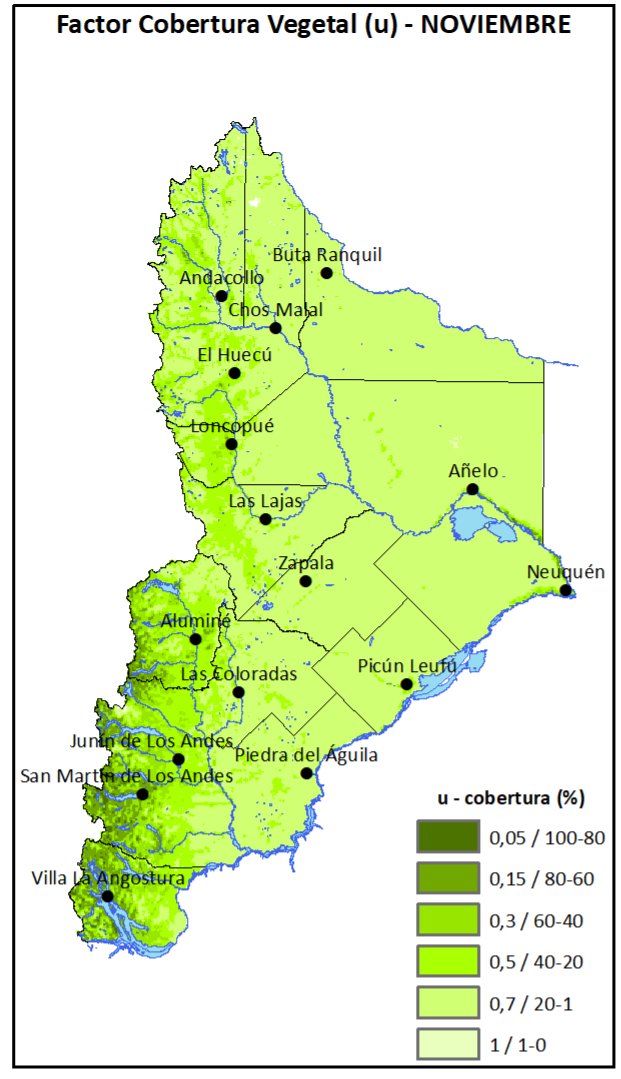
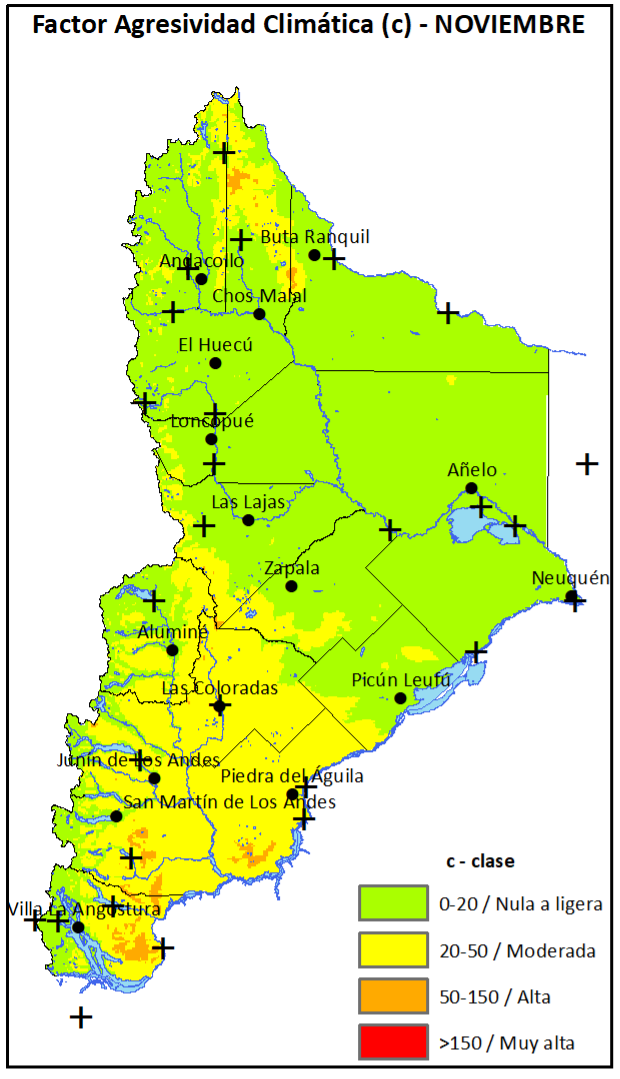


Tesis para optar por el título de Magíster en Intervención Ambiental: Estimación de la Erosión Eólica Actual y Potencial de los Suelos de la Provincia de Neuquén utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG - GIS)

Erosión Eólica Actual - OCTUBRE

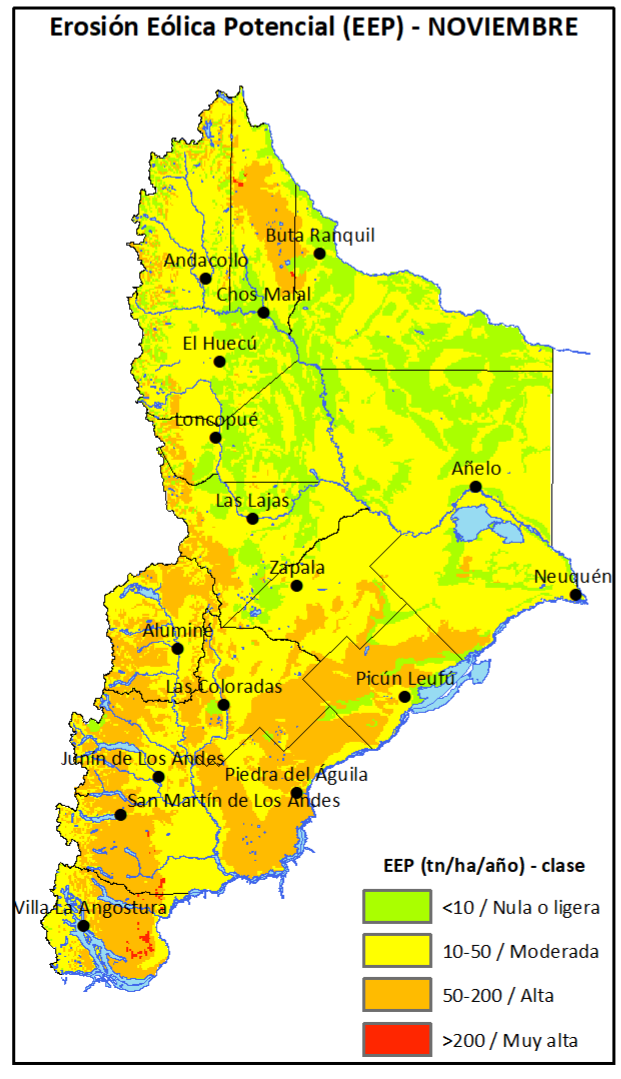
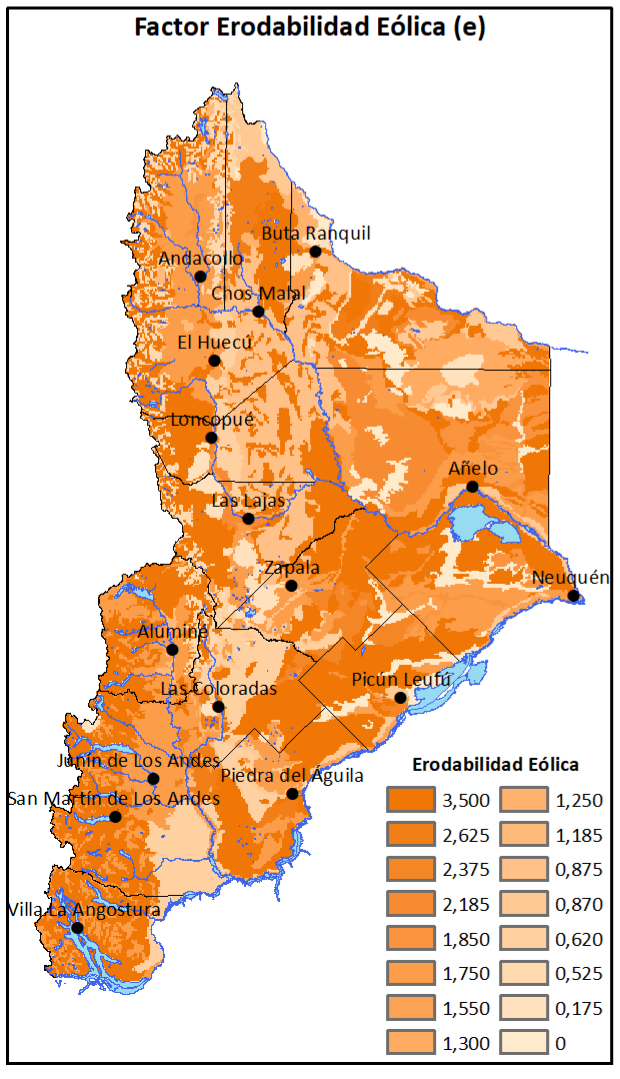
Maestrando: Bocci, Hugo R.
Director: Dufilho, Ana C.
Co-Director: Irisarri, Jorge A.

Fecha: Junio 2022



Erosión Eólica Potencial (EEP) = $c \times e$

Erosión Eólica Actual (EEA) = $c \times e \times u$



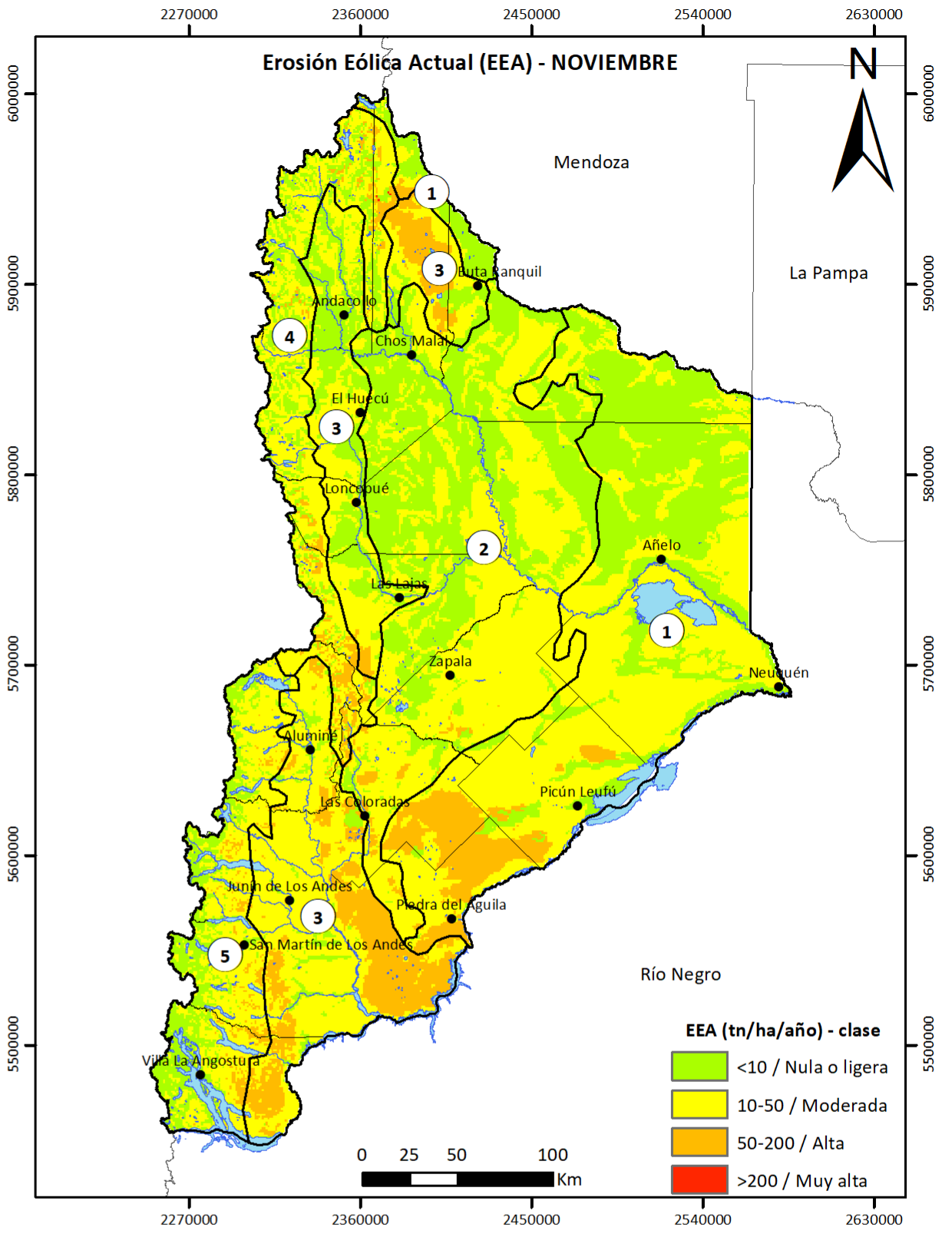
- ### Referencias
- + Estaciones Meteorológicas
 - Localidades
 - Ríos y Lagos
 - Departamentos
- Regiones y Subregiones Naturales**
- ① Árida mesetiforme
 - ② Árida serrana
 - ③ Subhúmeda de planicies, colinas y serranías
 - ④ Andina subhúmeda montañosa
 - ⑤ Andina húmeda montañosa

Factor c - Obtenido a partir de la forma modificada por la F.A.O. (1979) del índice de erodabilidad eólica de Chepil et al. (1962).

Factor e - Generado a partir de los "grupos de erodabilidad eólica" definidos por Lyles (1975, 1977) y Kimberlin et al. (1977).

Factor u - Producido a partir de productos ráster del sitio web del Programa Copérnico, específicamente los de FCover (v2.0).

Sistema de coordenadas: POSGAR 1994 Arg. Zone 2
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS1984
 Unidad: Metros



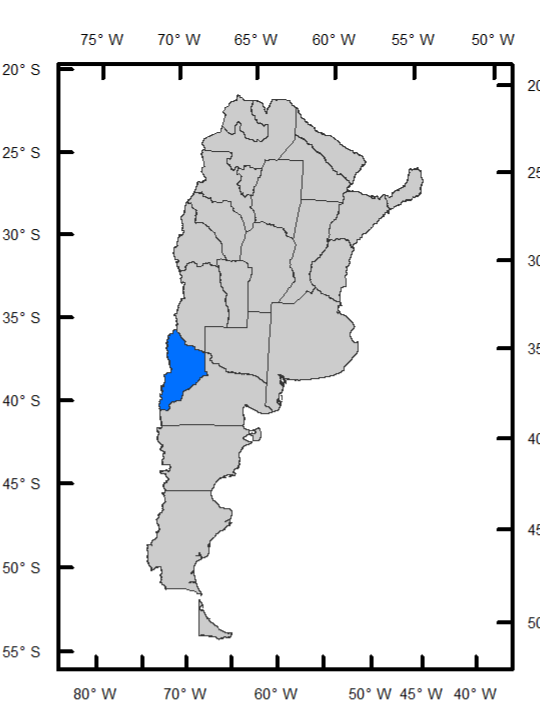
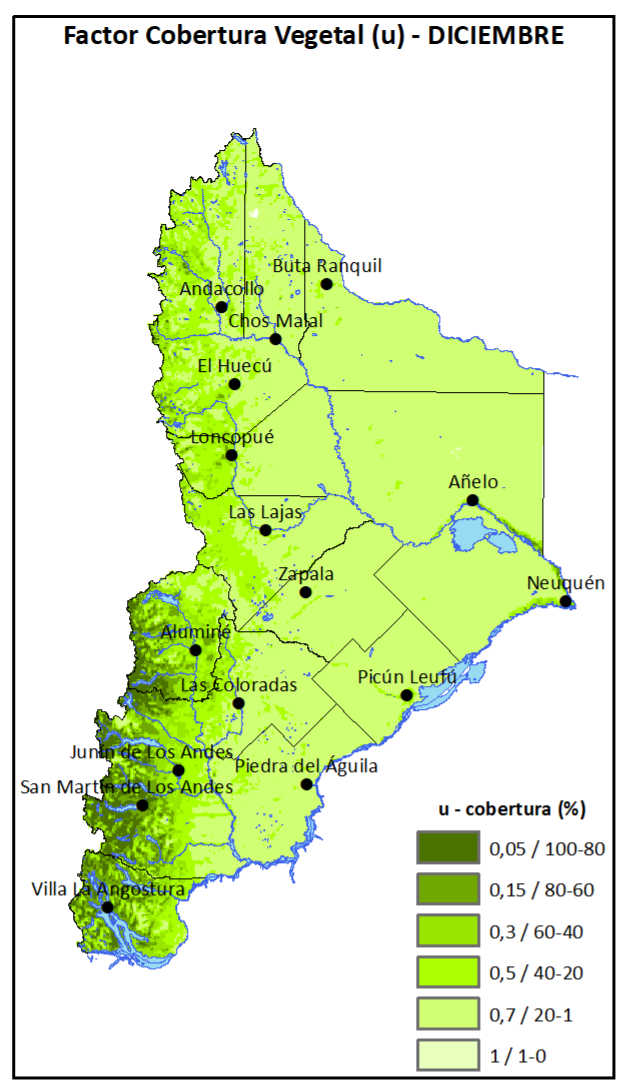
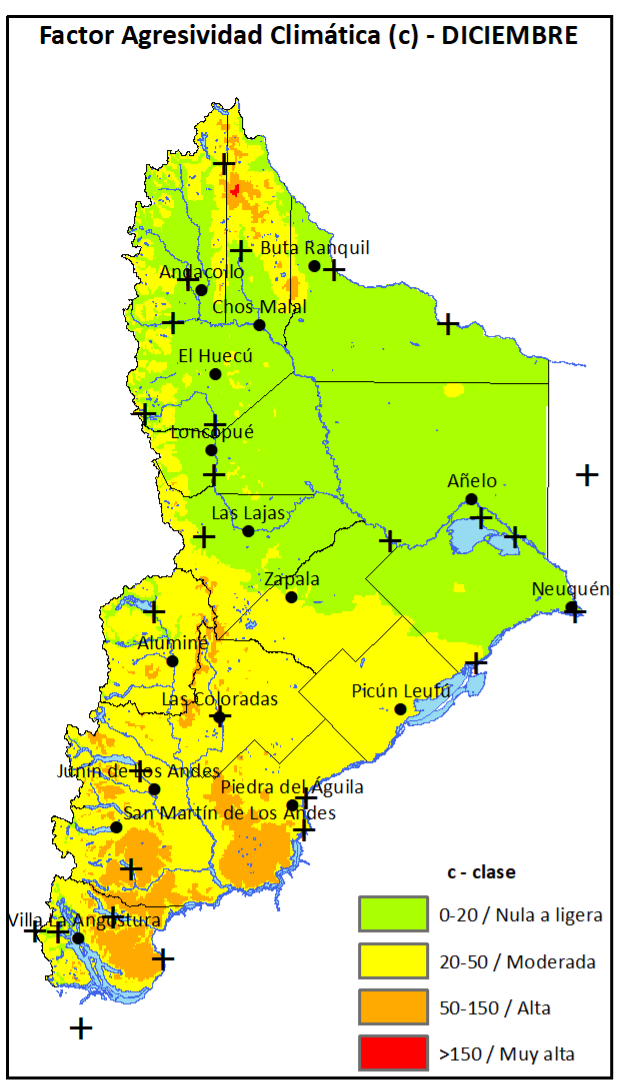
Maestría en Intervención Ambiental con Orientación en Ingeniería Ambiental
 Facultad de Ingeniería (FAIN)
 Universidad Nacional del Comahue (UNComa)

Tesis para optar por el título de Magíster en Intervención Ambiental: Estimación de la Erosión Eólica Actual y Potencial de los Suelos de la Provincia de Neuquén utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG - GIS)

Erosión Eólica Actual - NOVIEMBRE

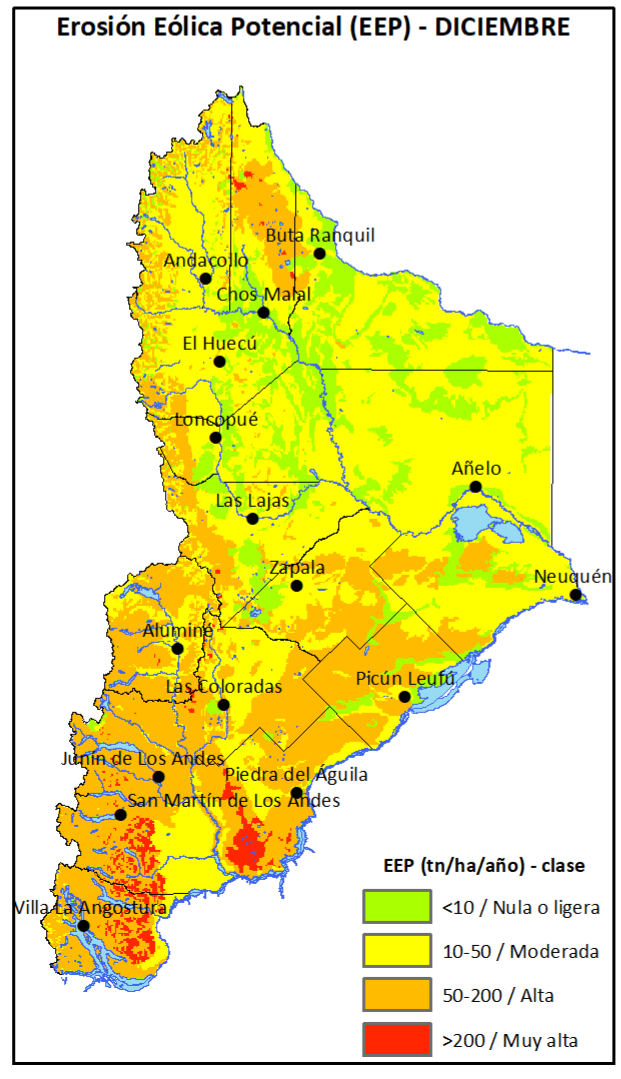
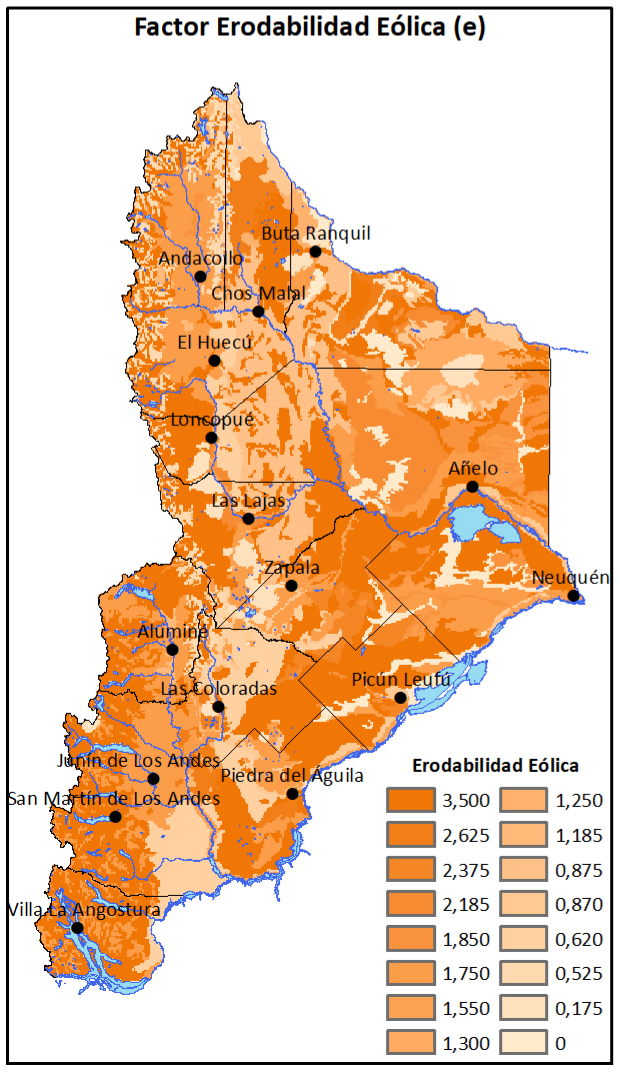
Maestrando: Bocci, Hugo R.
 Director: Dufilho, Ana C.
 Co-Director: Irisarri, Jorge A.

Fecha: Junio 2022



Erosión Eólica Potencial (EEP) =
 $c \times e$

Erosión Eólica Actual (EEA) =
 $c \times e \times u$



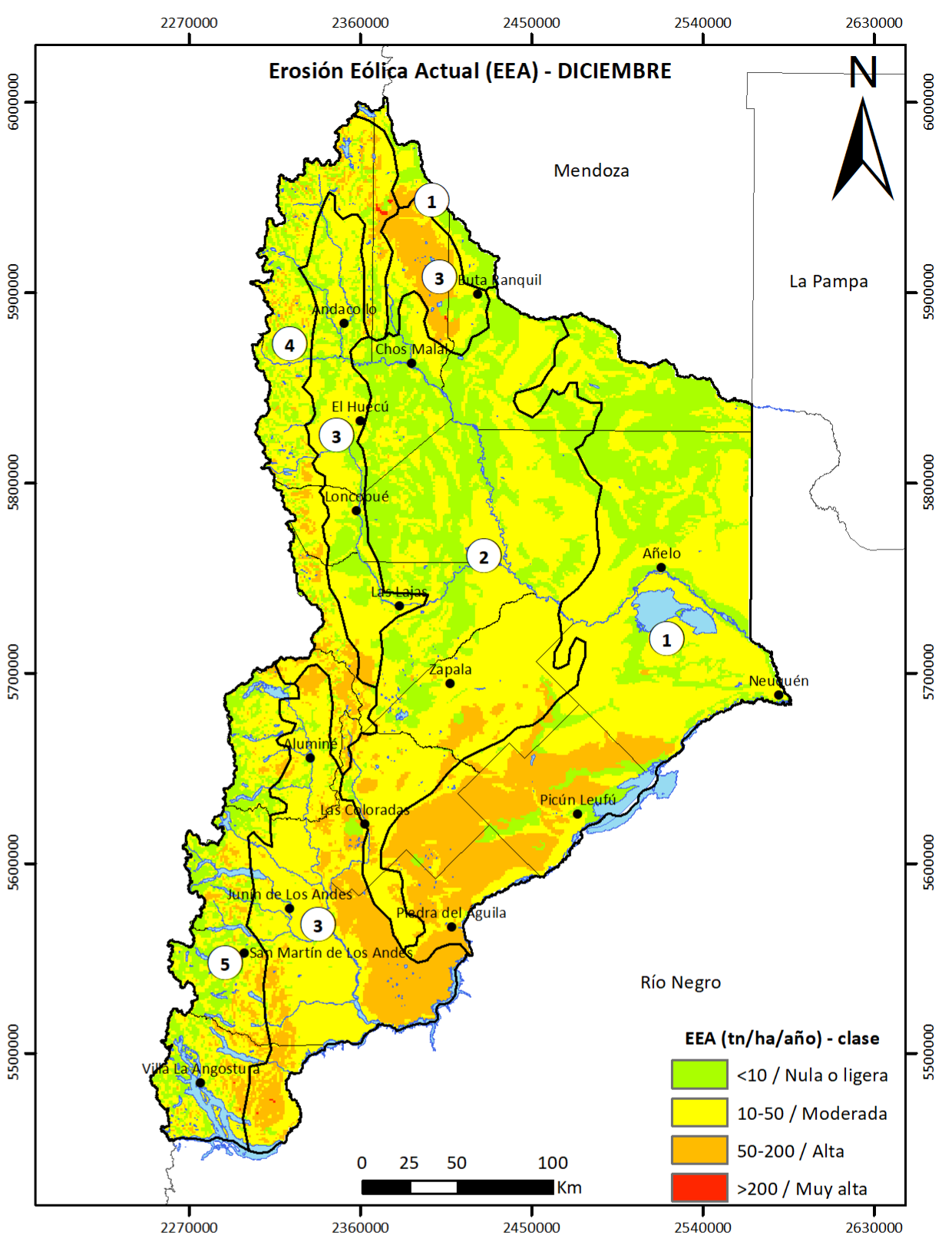
- #### Referencias
- + Estaciones Meteorológicas
 - Localidades
 - Ríos y Lagos
 - Departamentos
- #### Regiones y Subregiones Naturales
- 1) Árida mesetiforme
 - 2) Árida serrana
 - 3) Subhúmeda de planicies, colinas y serranías
 - 4) Andina subhúmeda montañosa
 - 5) Andina húmeda montañosa

Factor c - Obtenido a partir de la forma modificada por la F.A.O. (1979) del índice de erodabilidad eólica de Chepil et al. (1962).

Factor e - Generado a partir de los "grupos de erodabilidad eólica" definidos por Lyles (1975, 1977) y Kimberlin et al. (1977).

Factor u - Producido a partir de productos ráster del sitio web del Programa Copérnico, específicamente los de FCover (v2.0).

Sistema de coordenadas: POSGAR 1994 Arg. Zone 2
Proyección: Transverse Mercator
Datum: WGS1984
Unidad: Metros



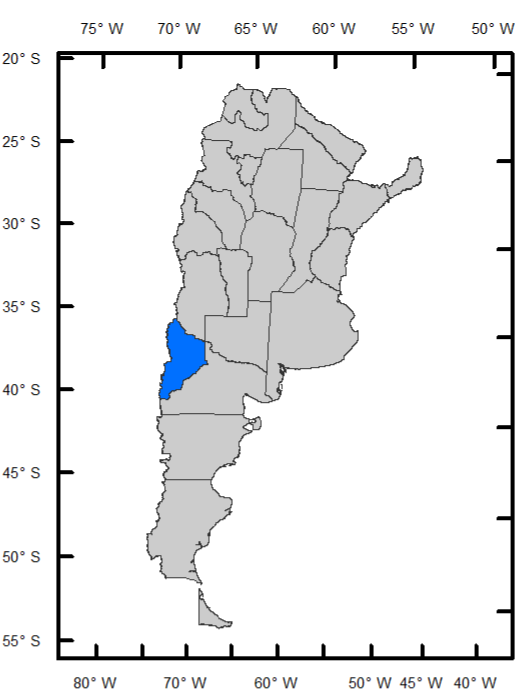
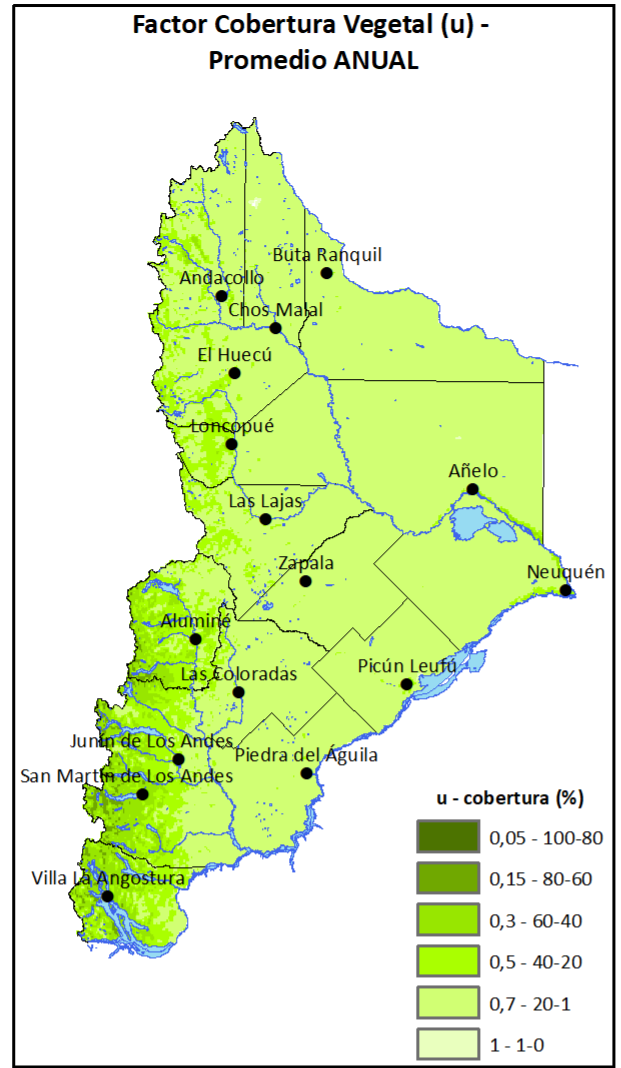
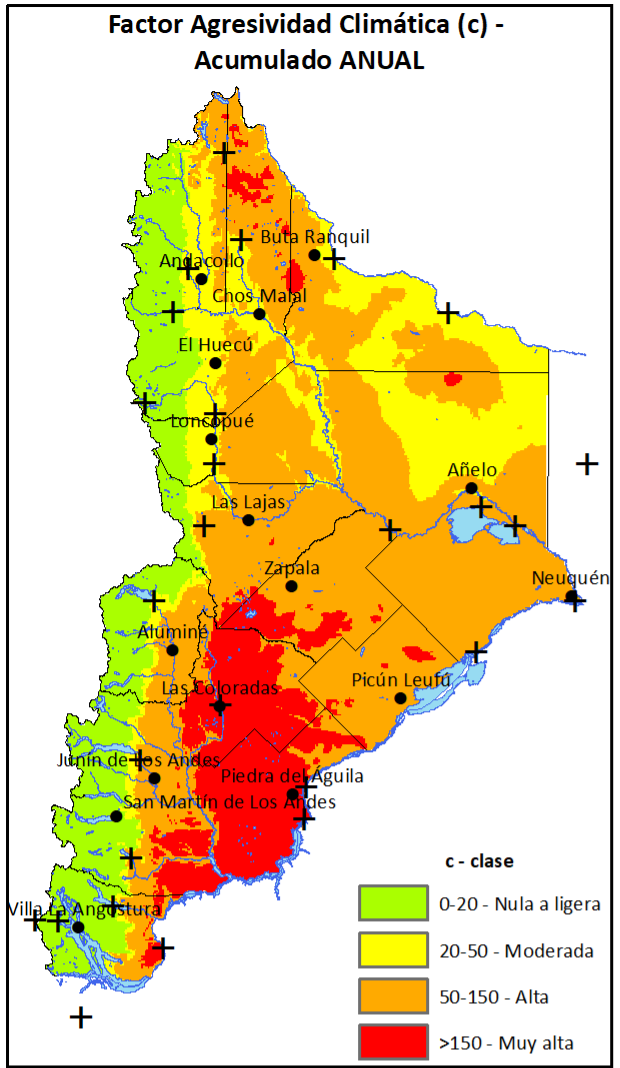
Maestría en Intervención Ambiental con Orientación en Ingeniería Ambiental
Facultad de Ingeniería (FAIN)
Universidad Nacional del Comahue (UNComa)

Tesis para optar por el título de Magíster en Intervención Ambiental: Estimación de la Erosión Eólica Actual y Potencial de los Suelos de la Provincia de Neuquén utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG - GIS)

Erosión Eólica Actual - DICIEMBRE

Maestrando: Bocci, Hugo R.
Director: Dufilho, Ana C.
Co-Director: Irisarri, Jorge A.

Fecha: Junio 2022



Erosión Eólica Potencial (EEP) =
 $\Sigma c x e$

Erosión Eólica Actual (EEA) =
 $\Sigma c x e x u$

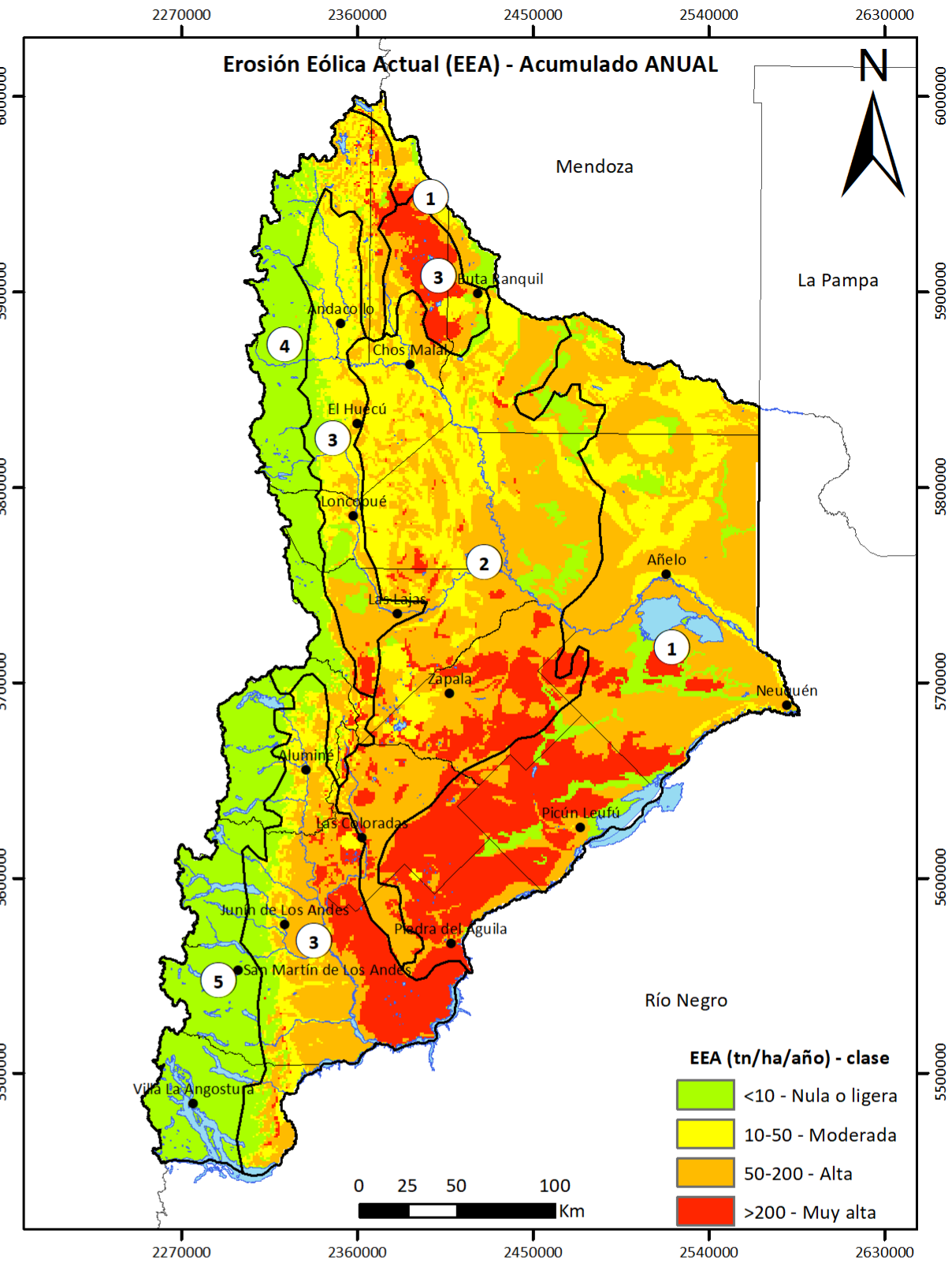
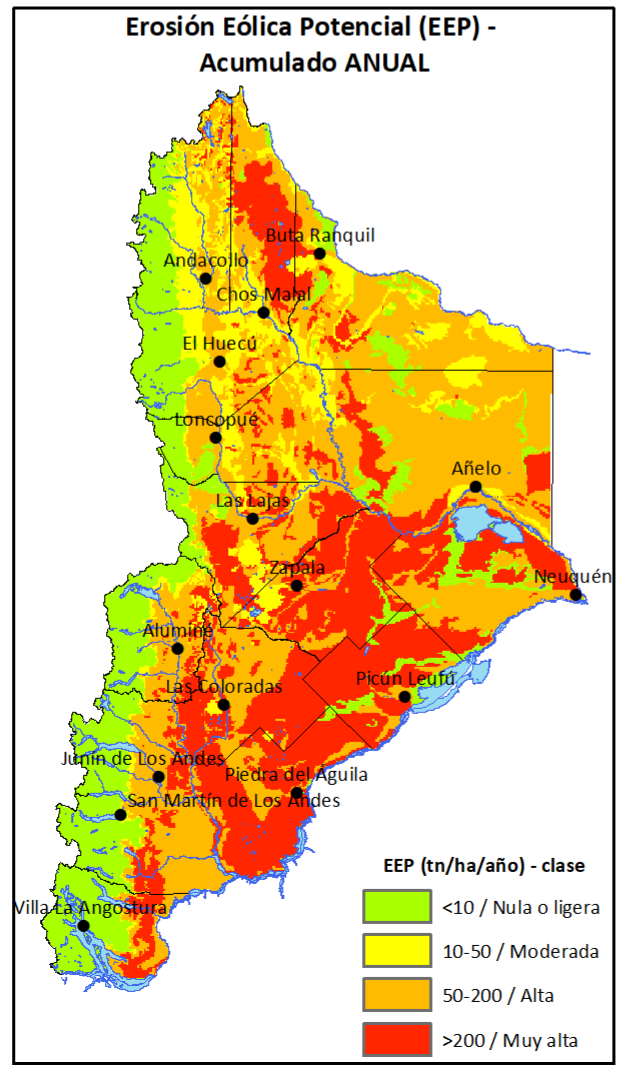
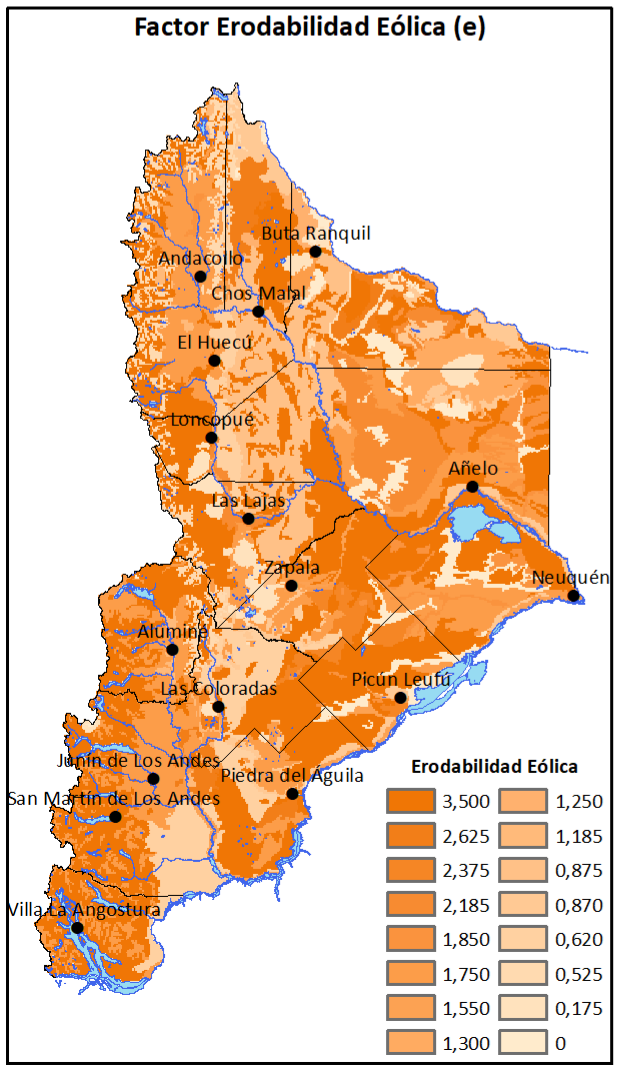
- #### Referencias
- + Estaciones Meteorológicas
 - Localidades
 - Ríos y Lagos
 - Departamentos
- Regiones y Subregiones Naturales**
- 1) Árida mesetiforme
 - 2) Árida serrana
 - 3) Subhúmeda de planicies, colinas y serranías
 - 4) Andina subhúmeda montañosa
 - 5) Andina húmeda montañosa

Factor c - Obtenido a partir de la forma modificada por la F.A.O. (1979) del índice de erodabilidad eólica de Chepil et al. (1962).

Factor e - Generado a partir de los "grupos de erodabilidad eólica" definidos por Lyles (1975, 1977) y Kimberlin et al. (1977).

Factor u - Producido a partir de productos ráster del sitio web del Programa Copérnico, específicamente los de FCover (v2.0).

Sistema de coordenadas: POSGAR 1994 Arg. Zone 2
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS1984
 Unidad: Metros



Maestría en Intervención Ambiental con Orientación en Ingeniería Ambiental
Facultad de Ingeniería (FAIN)
Universidad Nacional del Comahue (UNCma)

Tesis para optar por el título de Magíster en Intervención Ambiental: Estimación de la Erosión Eólica Actual y Potencial de los Suelos de la Provincia de Neuquén utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG - GIS)

Erosión Eólica Actual - ANUAL

Maestrando: Bocci, Hugo R.
Director: Dufilho, Ana C.
Co-Director: Irisarri, Jorge A.

Fecha: Junio 2022